

Návrh vstřikovací formy včetně optimalizace umístění vtoku

Bc. Vojtěch ŠENKERŮK

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením vstřikovací formy pro zadaný plastový díl, kterým je nosný rámek pro světelný modul do světlometu automobilu pro firmu HELLA AUTOTECHNIK s.r.o.

V teoretické části byla popsána problematika vstřikování, návrhu výstřiku a možnost konstrukčního řešení vstřikovacích forem.

V praktické části byl analyzován vtok a jeho dopad na deformaci dílce. Následně zkonstruována vstřikovací forma s několika verzemi chlazení, které byly podrobeny kompletním tokovým analýzám vstřikovacího procesu v programu Autodesk Moldflow Insight 2010. Konstrukce byla provedena v programu CATIA V5 R18 s využitím normálí HASCO.

Klíčová slova: vstřikovací forma, vstřikování, tokové analýzy, plasty

ABSTRACT

This master thesis deals with constructional solution of injection mold for engaged plastic part. This part is supporting headlight case rim in the car lights made by company HELLA AUTOTECHNIK Ltd.

First part of my work deals with theory of injection molding, parts design and possibility of construction of injection molds.

Second part deals with practical construction of injection mold. Firstly, the gate and its impact on design deformation were analyzed. Next part describes construction of injection mold with multiple versions of cooling system. All versions were subjected to flow analyses injection molding process by Autodesk Moldflow Insight 2010. Injection mold was constructed in CATIA V5 R18 using the HASCO parts.

Keywords: injection mold, injection molding, flow analyses, plastics

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za poskytnuté rady, pozornost a čas strávený při odborném vedení této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Tomáši Drgovi, Ph.D. za odborné vedení a praktické rady.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

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

Ve Zlíně

.....

Podpis

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

.....

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 nevydělečně 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 přihlíádně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

OBSAH

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ	13
1.1 VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	13
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	15
2.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE	16
2.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	16
2.3 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	18
2.4 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	19
3 POLYMERY	20
3.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	20
3.1.1 Termoplasty.....	20
3.1.2 Reaktoplasty	22
3.1.3 Kaučuky, pryže a elastomery.....	22
3.2 TOK TAVENINY	22
3.3 PŘÍPRAVA PLASTŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	24
3.3.1 Vstupní kontrola plastu	24
3.3.2 Sušení termoplastů.....	25
3.3.3 Barvení granulovaných plastů.....	25
3.3.4 Recyklace plastů	25
3.4 SMRŠTĚNÍ PLASTU	26
3.4.1 Výrobní smrštění.....	26
3.4.2 Dodatečné smrštění.....	27
3.4.3 Fyzikální příčiny smrštění a dodatečného smrštění	27
3.5 PŘÍSADY	28
4 KONSTRUKCE FOREM.....	30
4.1 CAD/CAM.....	30
4.2 NÁSOBNOST FORMY	31
4.3 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	31
4.4 TEMPERACE FOREM.....	32
4.4.1 Zásady pro určení systému temperančních kanálů	33
4.4.2 Temperační prostředky.....	35
4.5 STUDENÉ VTKOVÉ SYSTÉMY (SVS).....	37
4.5.1 Průřez rozvodných kanálů	38
4.5.2 Přidržovače vtoku.....	38
4.5.3 Plný kuželový vtok.....	39

4.5.4	Bodový vtok	39
4.5.5	Tunelový vtok	39
4.5.6	Srpkovitý vtok	39
4.5.7	Boční vtok	39
4.5.8	Filmový vtok	40
4.6	VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY (VVS)	40
4.6.1	Vyhřívání trysky	41
4.6.2	Vyhřívání rozvodné bloky	42
4.7	VYHAZOVÁNÍ VÝSTRÍKŮ Z FORMY	43
4.7.1	Vyhazování pomocí kolíků	44
4.7.2	Šikmé kolíky	44
4.7.3	Pneumatické vyhazování	45
4.7.4	Hydraulické vyhazování	45
4.7.5	Dvoustupňové vyhazování	46
4.7.6	Stírací deska	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
5	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	49
6	SPECIFIKACE VÝROBKU	50
6.1	MATERIÁLY	51
7	TOKOVÉ ANALÝZY VČETNĚ DEFORMACÍ	52
7.1	ANALÝZY PLNĚNÍ DUTINY VSTRÍKOVACÍ FORMY VČETNĚ DEFORMACÍ	52
7.2	VÝSLEDKY DEFORMACÍ JEDNOTLIVÝCH VTOKŮ	55
7.3	POLOHA VTOKU	57
7.1	VYHODNOCENÍ ANALÝZY DEFORMACE	59
8	KONSTRUKCE VSTRÍKOVACÍ FORMY	60
8.1	NÁSOBNOST FORMY	60
8.2	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	61
8.3	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU	62
8.4	ODFORMOVÁNÍ BOČNÍ DÍRY	64
8.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	64
8.6	VTOKOVÝ SYSTÉM	65
8.7	TEMPERACE FORMY	67
8.8	BEZPEČNOSTNÍ PRVKY FORMY	70
8.9	SESTAVA	71
9	ANALÝZY	73
9.1	VÝSLEDKY Z ANALÝZY PLNĚNÍ	73
9.1.1	Příprava modelu	73
9.1.2	Čas plnění	73
9.1.3	Rychlost smykové deformace	74

9.1.4	Teplota čela taveniny	75
9.1.5	Vstřikovací tlak.....	76
9.1.6	Uzavírací síla	77
9.1.7	Studené spoje.....	79
9.1.8	Orientace plniva	80
9.2	VÝSLEDKY Z ANALÝZY CHLAZENÍ.....	82
9.2.1	Teplota chladicího okruhu	82
9.2.2	Efektivita odvodu tepla	84
9.2.3	Reynoldsovo číslo	86
9.2.4	Čas k dosažení vyhazovací teploty.....	86
9.3	VÝSLEDKY Z ANALÝZY DEFORMACÍ.....	89
DISKUZE VÝSLEDKŮ		91
ZÁVĚR		93
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		94
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		97
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		98
SEZNAM TABULEK		101
SEZNAM PŘÍLOH		102

ÚVOD

Polymery jsou v dnešní době nepostradatelným materiálem. V některých odvětvích dokonce nenahraditelným materiálem. Nahrazují tradiční materiály jako je dřevo, kov, sklo keramika svou cenou, relativně lehkou zpracovatelností, ale hlavně svými vlastnostmi. Plasty napřed byly využívány jako spotřební zboží díky estetickému vzhledu, lehkosti, korozivzdornosti a nízkým nárokům na funkční vlastnosti. Následně se začali využívat hojně v elektrotechnice, kdy jsou využívány pro své velmi dobré elektrické a dielektrické vlastnosti jako izolační součásti složitých tvarů. V dnešní době je využívá ve velkém množství i automobilový průmysl. Plasty dále pronikly do stavebnictví, telekomunikační a spotřební techniky.

V průmyslovém odvětví bylo dlouho dobu obtížné použití plastů, protože součásti byly vystaveny velkému tepelnému a mechanickému zatěžování. To vyžadovalo poměrně vysoké hodnoty pevnosti a pružnosti. Prorazily výrazněji až po objevu konstrukčních plastů s lepšími mechanickými, tepelnými či speciálními vlastnostmi. Úpravou těchto polymerů prostřednictvím plniv (např. skleněná vlákna), se dále zvyšuje pevnost, tuhost, tvarová i rozměrová stálost. Snižuje se smrštění ve směru orientace vláken. To vzbudilo další zájem pro užití ve strojírenském průmyslu.

Polymery se zpracovávají mnoha technologiemi, přičemž nejrozšířenějším způsobem zpracování je vstřikování se složitým procesním nastavením. Vyznačuje se velmi efektivní výrobou dílů z plastů či kaučuků. Kdy při jednom pracovním cyklu vzniknou složité tvary ve velkých sériích, které se nemusí již opracovávat. Vstřikuje se do kovové formy, která má negativní tvar budoucího výrobku. Je to nákladný a velmi složitý nástroj, který musí vyrobít desítky tisíc výstřiků. Pro každý plastový výrobek je nutno vyrobít novou vstřikovací formu, což zvyšuje cenu výsledného výrobku. Rostou nároky na přesnost a kvalitu výstřiku, proto je při konstrukci formy užitečné použít normalizované součásti a polotovary.

Samotná konstrukce a výroba jsou časově a finančně náročné. Proto se dnes konstrukce neobejde bez využití, CAM, CAE programů. Využitím těchto programů se zamezí případným chybám při výrobě vstřikovací formy a předejít vadám na výrobku při vstřikování. Dá se optimalizovat vstřikovací proces, který již vyrábí součásti a tím zvýší efektivitu výroby. Tyto programy napomáhají ke zkvalitnění a urychlení výroby, což se projeví na ceně výrobku a tím bude firma konkurence schopnější.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

1.1 Vstřikování

Princip vstřikování se označuje takový způsob tváření polymerních materiálů, při němž se materiál roztaví v tavicí komoře vstřikovacího stroje a vstřikuje se pod tlakem do uzavřené formy, která má negativní tvar výstřiku a tam je ochlazen, zatuhne a zafixuje ve tvaru vyráběné součásti.

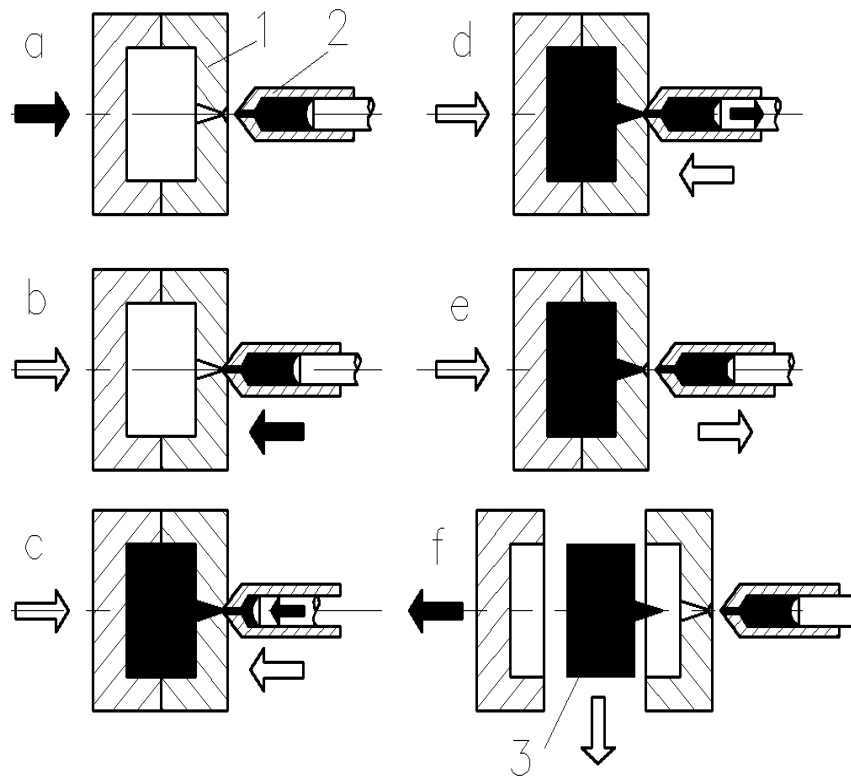
Technologie vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů z plastů či kaučukových směsí. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. Je velmi produktivní způsob výroby, při kterém je součást vyrobena nejčastěji za jednu pracovní operaci v konečném stavu. Lze tímto způsobem vyrábět výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikování je charakteristické rychlým pracovním cyklem, malou náročností na obsluhu a značnou možností automatizace.

Vstřikované díly se používají hlavně ve spotřebním a automobilovém průmyslu, v elektrotechnice, elektronice a obalové technice. Pro všechna tato průmyslová odvětví je typické velmi rychlé morální zastarání výrobků, dané jednak dynamikou vývoje trhu a konkurenčním prostředím, ale také módností a náročností spotřebitele. [1], [5], [9]

1.2 Vstřikovací cyklus

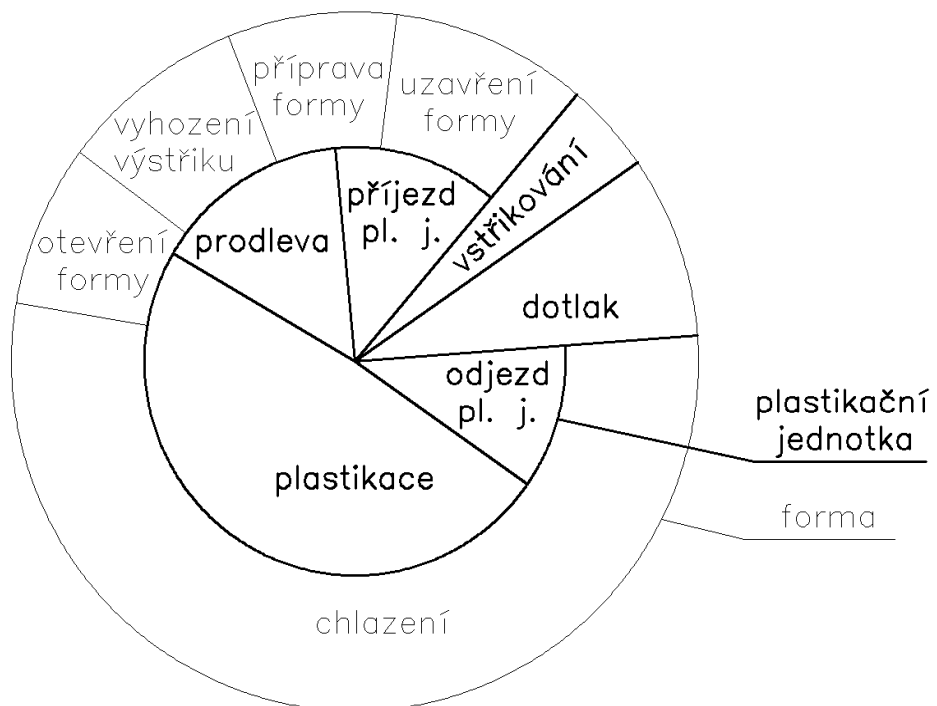
Tavenina se připraví v tavicí komoře vstřikovací jednotky a je vstříknuta do formy, kde zatuhne (eventuelně zesítuje). Vstřikovací cyklus je znázorněn na Obr. 1. Nejdříve dojde k uzavření vstřikovací formy 1 (a), vstřikovací jednotka 2 je ve výchozí poloze. Vstřikovací jednotka se poté přisune a dosedne na uzavřenou formu (b). Po dosednutí nastává vstřikování taveniny (c). Po naplnění dutiny formy taveniny nastává její tuhnutí, po čase pak postupné doplňování formy (d). Ve formě pokračuje tuhnutí bez tlaku. Následuje odsun vstřikovací jednotky do výchozí polohy (e). Po zatuhnutí nastává otevření formy (f) a vyhození výstřiku 3. Ve vstřikovací jednotce mezitím probíhá příprava taveniny. Forma i vstřikovací jednotka jsou ve výchozí poloze a celý cyklus se může opakovat.

Při vstřikování kaučukových směsí proběhne ve formě i vulkanizace, aby měl výrobek po vyjmutí finální vlastnosti. [1]



Obr. 1 Vstřikovací cyklus

1 – forma, 2 – vstřikovací jednotka, 3 – výstřík

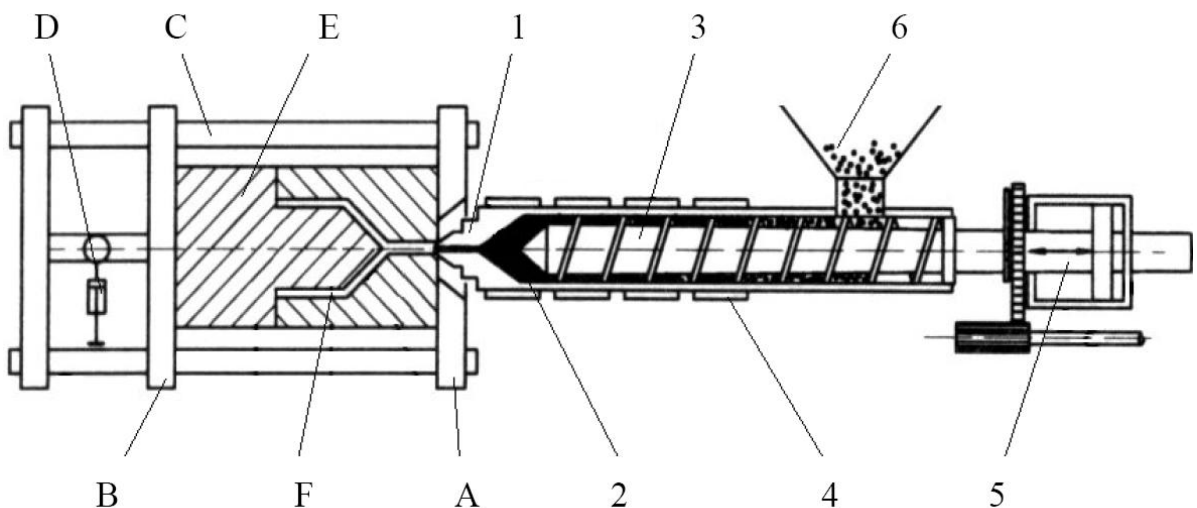


Obr. 2 Kruhový diagram vstřikovacího cyklu

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Celý vstříkovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstříkovací formy je značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Vstříkovací stroj se skládá ze vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Schéma vstříkovacího stroje s pístovou plastikací je na Obr. 3. Každý výrobce vstříkovacích strojů je schopen vybavit vstříkovací stroj tak, aby plnil funkci částečně nebo plně automatizovaného pracoviště, tj. dovybavit stroj manipulátory, roboty, temperačním zařízením, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárnami, dopravníky pro výrobky a vtoky, mlýny, atd. [3]



Obr. 3 Vstříkovací stroj

Vstříkovací jednotka: 1 - vstříkovací tryska, 2 - hydraulický válec, 3 - šnek, 4 - topení,
5 - vstříkovací píst, 6 - násypka

Uzavírací jednotka: A - upínací deska pevná, B - upínací deska pohyblivá, C - vodící
sloupy, D - uzavírací hydraulický válec, E - forma, F - dutina formy

2.1 Základní parametry vstřikovacího stroje

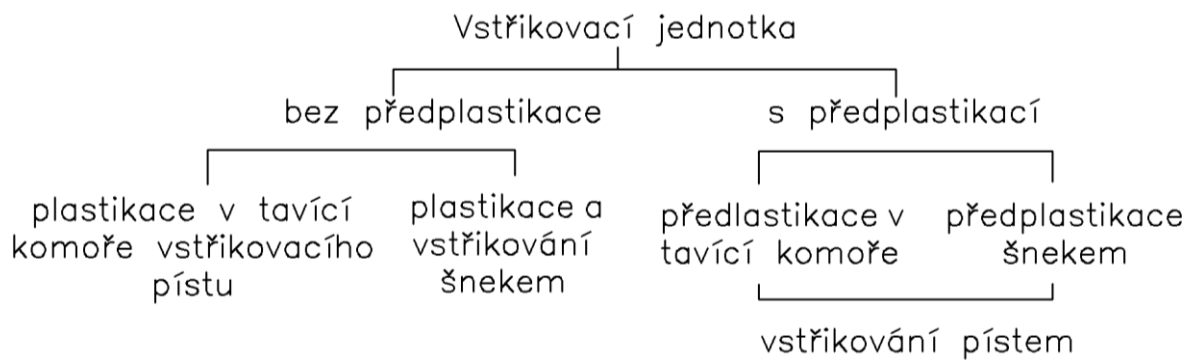
- *Maximální vstřikovaný objem výstřiku*, včetně vtokových zbytků, který lze vyrobít při jednom pracovním cyklu,
- *plastikační kapacita stroje* udává množství plastu, které lze na daném stroji převést do vyhovující taveniny za hodinu,
- *vstřikovací tlak*, je tlak, který vyvolá čelo šneku v tavenině plastu,
- *uzavírací síla*, je síla potřebná k uzavření formy a následnému držení formy v uzavřeném poloze během vstřikování,
- *zdvih pohyblivé desky* je maximální rozměr při otevření formy,
- *vzdálenost mezi sloupky* udává rozměr, jak široká či vysoká forma se dá vložit do vstřikovacího stroje. [3], [14]

2.2 Vstřikovací jednotka

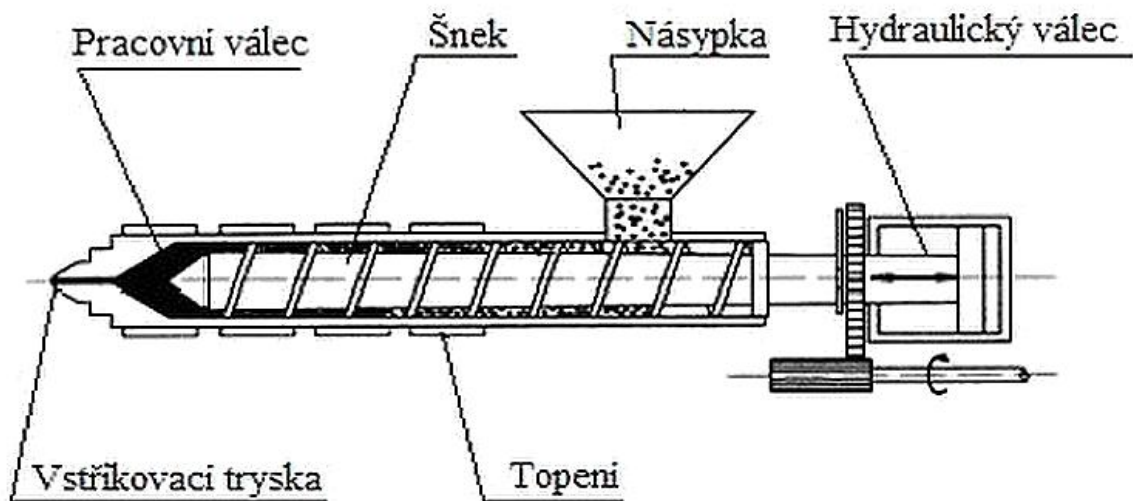
Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu, protože je ještě nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Při malém vstřikovacím množství zase setrvává plast ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím může nastat jeho degradace. To se dá ovlivnit rychlejšími cykly výroby.

Vstřikovací jednotka pracuje tak, že do tavného válce je dopravován zpracováváný plast z násypky pohybem šneku. Plast je posouván šnekem s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Současně ho odtlačuje do zadní polohy.

Topení tavné komory je nejčastěji rozděleno do tří pásem (vstupní, střední a pásmo u trysky). Tryska má zvláštní samostatné topení. Část tepelné energie vznikne také disipací v materiálu.

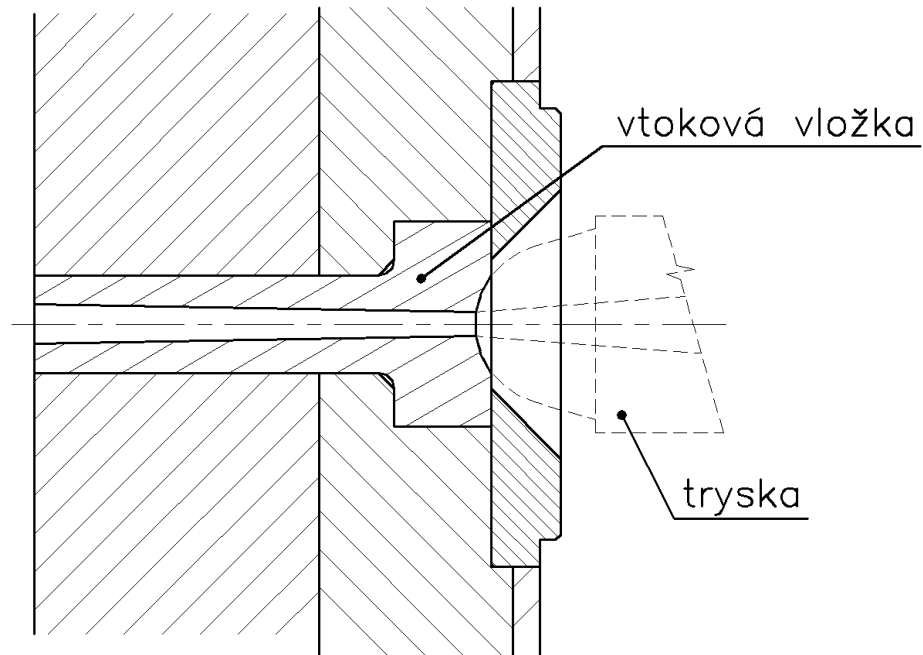


Obr. 4 Druhy vstřikovacích jednotek



Obr. 5 Šnekové plastikace

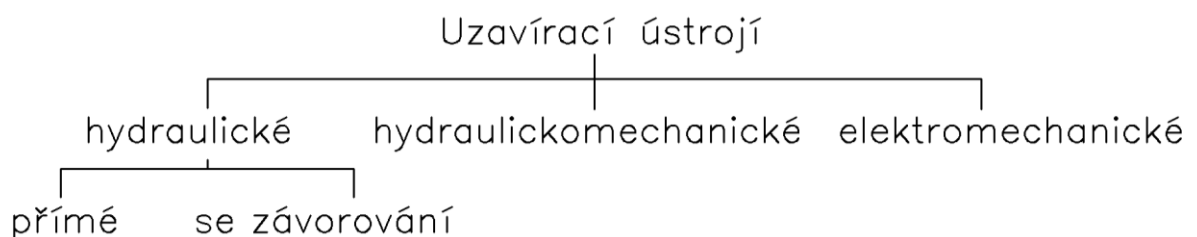
Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, jenž spojuje vstřikovací jednotku s formou. Kulové zakončení trysky zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Jejich souosost, menší průměr otvoru a menší poloměr trysky, než je u sedla vtokové vložky, jsou podmínkou správné funkce. [5]



Obr. 6 Dosednutí trysky stroje na trysku formy

2.3 Uzavírací jednotka

Ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku a ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. Uzavírací mechanismus je ukazatelem kvality uzavírací jednotky. Má nejrůznější provedení.



Obr. 7 Druhy uzavíracích ústrojí

Moderní vstřikovací stroje mají průběh rychlosti uzavírací části proměnný, a to tak, že forma se nejprve uzavírá velkou rychlostí a těsně před uzavřením se pohyb uzavírání zpomalí. Tím se zabrání rázům na formu. Otevírání začíná rychlým otevřením a těsně před najetím na vyhazovací mechanismus se pohyb zpomalí. [1], [5], [6]

2.4 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výroby výstřiku. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky.

Novější koncepce vstřikovacích strojů se v současnosti neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo obvyklé textové formy nastavování technologických parametrů se využívá nejrůznější grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Pracovní cyklus sestavený do potřebných programových sekvencí je pak snadno kontrolovatelný a případně i upravitelný. [5]

3 POLYMERY

3.1 Základní rozdělení polymerů

Plasty je možno klasifikovat podle různých hledisek:

- podle nadmolekulární struktury na amorfní plasty a krystalické (semikrystalické) plasty,
- podle aplikace na plasty pro široké použití, pro inženýrské aplikace a pro špičkové aplikace,
- podle druhu přísad na neplněné a plněné plasty,
- podle původu (přírodní a syntetické),
- na základě teplotního chování, podle působení teploty (termoplasty, reaktoplasty, kaučuky, pryže a elastomery). [3]

3.1.1 Termoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných materiálů, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd.

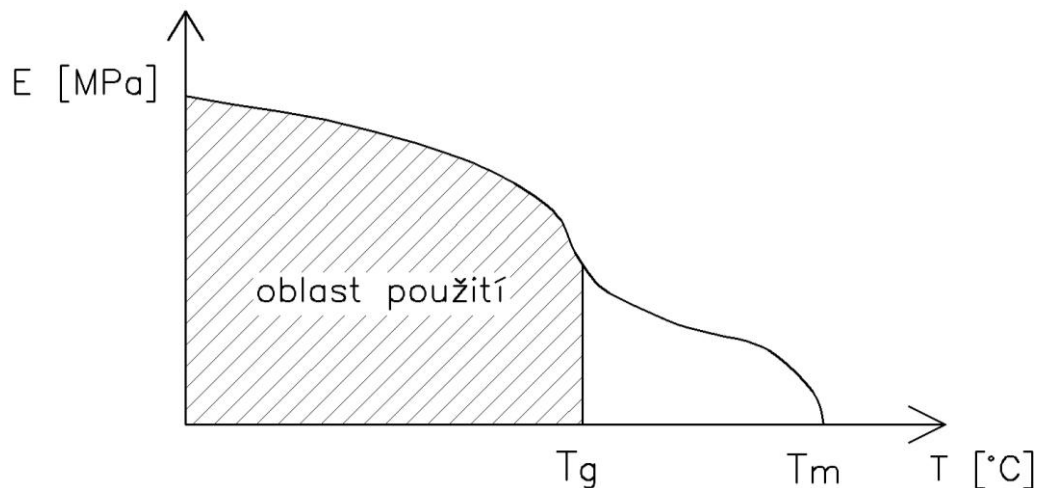
Termoplasty jsou makromolekulární látky s lineárními nebo rozvětvenými řetězci. V roztaveném stavu se pod tlakem vstříkují do forem, v nichž ochlazením ztuhnou na požadovaný tvar.

Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na:

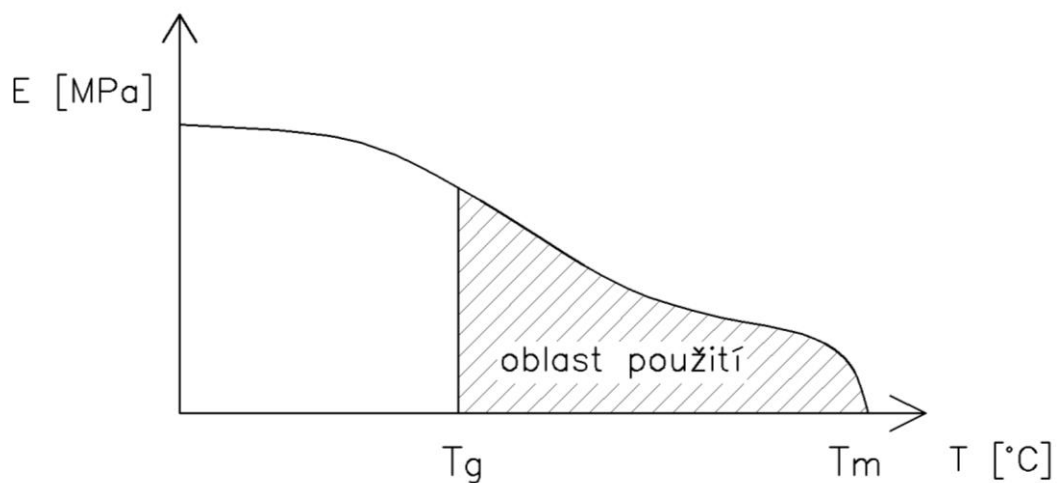
- amorfní, jejichž řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány,
- semikrystalické, kde je podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfní uspořádání.

Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru.

U semikrystalických plastů jsou části makromolekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část makromolekul amorfní 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. Rozdíl obou typů termoplastů je patrný z Obr. 11. [3], [5]



Obr. 8 Oblast využití u amorfních plastů



Obr. 9 Oblast využití u semikrystalických plastů

3.1.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod.

Proti termoplastům vynikají reaktoplasty vysokou tuhostí a tvrdostí, teplotní odolností a tvarovou stálostí za tepla, odolností proti korozi za napětí a proti vlivům povětrnosti a nerozpustností. Modul pružnosti není tolik závislý na teplotě jako u termoplastů, takže mechanické vlastnosti reaktoplastů nejsou v rozmezí používaných teplot příliš proměnlivé.

Zpracovatelnost reaktoplastů je určena tekutostí, která je všeobecně horší než u termoplastů a závisí na druhu pryskyřice a charakteru plniva. Při vstřikování nastává silná orientace plniva, anizotropie vlastností a vzniká velké vnitřní pnutí, které vzhledem ke křehkosti reaktoplastů může vést až k prasknutí výstřiku. Vstřikovací reaktoplasty jsou většinou ve formě granulátu. Výrobní cykly jsou delší než u termoplastů. [3], [10]

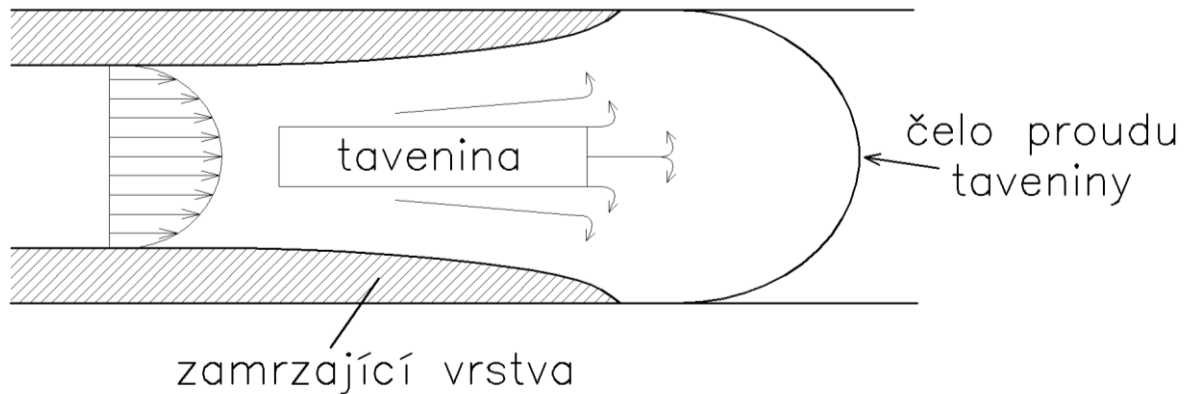
3.1.3 Kaučuky, pryže a elastomery

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj. [3]

3.2 Tok taveniny

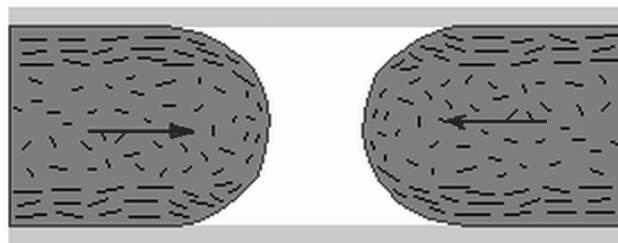
Při zaplňování dutiny formy nedochází ke skluzu taveniny po stěně, ale dochází k "valení" taveniny. Tento laminární tok je taky označován jako „fontánový tok“ (viz Obr. 10). Vtokový systém, zvláště u forem s několika dutinami (tzv. vícenásobné

formy), musí být řešen tak, aby bylo zabezpečeno současné zaplňování všech dutin. Vtokový systém musí být tzv. vyvážen.

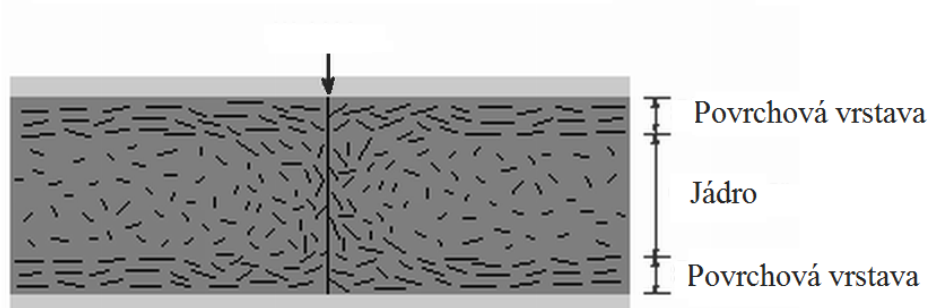


Obr. 10 Tok taveniny

Dalším problémem, který může výrazně ovlivnit kvalitu výstřiku je styk dvou proudů taveniny, např. v důsledku obtoku překážky ve dráze toku. V místě spojení dvou proudů taveniny spoj známý pod pojmem "weld lines" (studený spoj, viz Obr. 10), který má za následek zhoršení mechanických vlastností. Problém se obvykle řeší vhodným uspořádáním vtoků nebo jejich umístěním tak, aby studený spoj vznikl v místě ovlivňující funkci budoucího výrobku co nejméně. [15], [27], [28]

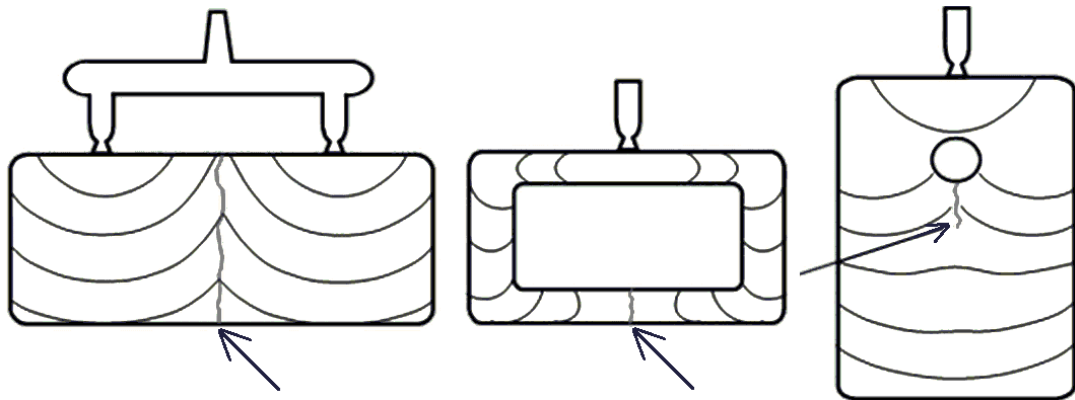


Materiál vystužený vlákny, postupující čela taveniny



Studený spoj v materiálu plněný vlákny

Obr. 11 Vznik studeného spoje



Obr. 12 Studené spoje

3.3 Příprava plastů před vstřikováním

Před zpracováním plastů vstřikováním se materiál upravuje v souladu s technologickým postupem, určeným na konkrétní výrobek. Obvykle to bývá sušení granulátu, mísení s přísádkem rozdrčeného odpadu, barvení granulátu, míchání s nadouvadlem apod.

Všechny uvedené úkony upravují termoplast do takového stavu, aby jeho zpracování bylo bez potíží a výsledná aplikace vyhověla požadavkům na výrobek. Při vstřikování ve strojích se šnekovou plastikací se dosahuje stejnoměrného probarvení. [5], [6]

3.3.1 Vstupní kontrola plastu

Plasty pro vstřikování se dodávají granulované v pytlích, nebo i jinak chráněné proti na vlhnutí. Pro omezení zpracovatelských i aplikačních potíží, je vhodné provádět vstupní kontrolu nových plastů a kontrolní přejímku běžně nakupovaných plastů uskutečňovanou na základě smluvně stanovených norem (technické dodací podmínky, materiálové listy), která se realizují obvykle v podniku.

Vstupní kontrola stanoví:

- chemicko-analytické složení (obsahy nízkomolekulárních podílů, mol. hmotnost apod.),
- mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost...),
- fyzikální vlastnosti (viskozita, tepelné, elektrické, optické vlastnosti,...),
- ostatní hodnocení - vizuální, vliv prostředí... [5]

3.3.2 Sušení termoplastů

Většina termoplastických materiálů absorbuje vlhkost ze vzduchu. To i při běžných zpracovatelských teplotách může vyvolat degradaci polymeru a tím i snížení kvality některých parametrů a také zhoršení kvality povrchu. Proto je nutné materiály předsoušet.

Granulované plasty se dodávají buď vysušené ve vzduchotěsných obalech, nebo nevysušené v papírových nebo plastových pytlích. Vysušené se obvykle zpracovávají hned a nevysušené je třeba vysušit. Některé plasty se nemusí předsoušet.

Aby granulát nezvlhl, skladuje se před zpracováním v suchých skladech. V zimním období při převážení ze skladu do dílny se ponechá materiál klimatizovat asi 24 hod při teplotě dílny. Teprve potom se pytle otevírají a tím se zamezí orosení granulátu. K sušení se používají komorové pece, kde vrstva granulátu je na paletách. Vysokokapacitní sušárny s nucenou cirkulací ohřátého vzduchu jsou vhodné pro nepřetržitý provoz. Vysušený granulát je nutné zpracovat do 30 minut. Obsah vody po vysušení by neměl přesáhnout 1%. [5],[6]

3.3.3 Barvení granulovaných plastů

Některé vyráběné díly vyžadují jakostní povrch a také vhodný barevný odstín. Barva silně ovlivňuje dojem, který si jejím vnímáním o daném výrobku vytvoříme.

Plasty dodávané výrobcem disponují jen určitou řadou barevných odstínů. Při požadavku na jiný barevný odstín, je třeba jednat s výrobcem, případně si granulát obarvit.

Vlastní barvení se provádí buď dávkovacím zařízením přímo na vstřikovacím stroji, nebo se granulát vybarvuje před vstřikováním. Barviva částečně ovlivňují kvalitativní vlastnosti plastů i technologické parametry při zpracování. [5]

3.3.4 Recyklace plastů

Vadné výstřiky, odpady a vtoky vzniklé při vstřikování se mohou několikrát zpracovávat. Tato vlastnost se velmi často využívá, protože podíl odpadu, hlavně při výrobě malých výstřiků, je značný. Proto neznečištěný plastový odpad se drtí obvykle v nožových mlýnech. Takto upravený se smíchá s čistým granulátem a znovu se zpracuje. Přitom obvykle dochází k snížení fyzikálně-mechanických vlastností i povrchového vzhledu. Míra snížené závisí na velikosti podílu drceného odpadu v původním granulátu.

V některých případech (u nenáročných výstřiků) se vyrábí dílce i ze 100 % odpadu. Transparentní a silně namáhané plasty se míchat nemohou. Nesplnily by požadované vlastnosti.

Dobře připravená drť se zpracovává přímo ve vstřikovacích strojích. Základním předpokladem je čistota vratného materiálu bez tepelně znehodnocených (degradovaných) zbytků. [5],[6]

3.4 Smrštění plastu

Smrštění plastu proti formě je objemová změna, vyvolaná fyzikálními nebo chemickými ději, které probíhají při procesu tváření. Projevuje se hlavně v průběhu tuhnutí taveniny polymeru a v čase bezprostředně následujícím po vyjmutí tvářeného výrobku z formy. Ve zmenšené intenzitě však pokračuje zmenšování objemu i po delším časovém odstupu od vyrobení součásti, a proto se rozlišuje smrštění výrobní a smrštění měřené po temperování nebo po delším časovém odstupu od výroby - dodatečné smrštění.

Závisí jak na druhu zpracovaného materiálu, tak také na technologických parametrech jako je čas, vstřikovacím tlaku, době plnění, teplotě taveniny a formy. U amorfních termoplastů je smrštění i jeho rozptyl menší než u krystalických termoplastů vzhledem ke změnám struktury. Plněné polymery mají analogicky smrštění menší než polymery neplněné, protože plniva se zpravidla smršťují méně než samotný polymer. Vliv geometrie výrobku je dán převážně rozměry a to tloušťkou výrobku.

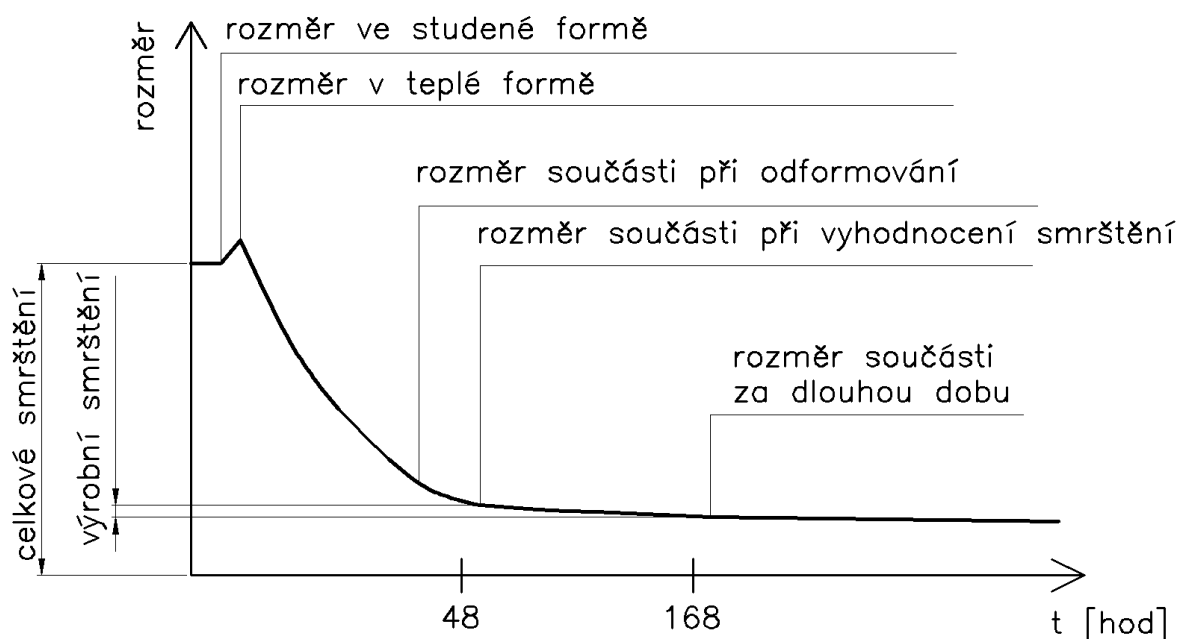
Velikost smrštění není ve všech směrech stejná, které je ovlivněno prouděním taveniny, orientací makromolekul, asymetrickým plnivem (skelné vlákna...) tvaru, temperací apod. [5], [7], [11]

3.4.1 Výrobní smrštění

Velikost výrobního smrštění (smrštění) se stanoví ve smluvním čase obvykle po 24 hodinách po výrobě součásti a představuje až 90 % z jeho hodnoty. Je to rozdíl mezi rozměrem tvarové dutiny a odpovídajícím rozměrem výrobku, vyjádřena v procentech z rozměru formy. [5], [11]

3.4.2 Dodatečné smrštění

Dodatečné smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru při normální teplotě. Smrštění lze urychlit temperací (stabilizace výrobku), tj. ohřevem na temperační teplotu, udržováním této teploty po určitou dobu a poznenáhlym ochlazením. V dlouhém časovém intervalu se mohou projevit i jiné vlivy na rozměry výrobků, např. navlhavost u PA. Taktéž nutno poznamenat, že smrštění nebývá izotropní. Ve směru toku taveniny bývá obvykle větší než ve směru kolmém. Dodatečná smrštění souvisí také s vyrovnáváním vnitřního pnutí, změnami ve struktuře apod. [5], [11]



Obr. 13 Průběh smršťování výstřiku

3.4.3 Fyzikální příčiny smrštění a dodatečného smrštění

Velikost měrného objemu taveniny polymeruje v důsledku relativně vysoké teplotní roztažnosti plastů vždy podstatně větší než velikost měrného objemu polymeru, ochlazeného na normální teplotu.

Teplotní roztažnost se vyjadřuje pomocí středního koeficientu délkové roztažnosti α . Tento koeficient je u plastických hmot asi o 1 řád větší než u kovů a jeho velikost se mění s teplotou (tj. záleží na tom, zda je materiál pod nebo nad teplotou T_g). Hodnotu koeficientu α určitého druhu plastické hmoty ovlivňuje kromě teploty např. i obsah změkčovadel (jejich přísadou se zpravidla hodnota tohoto koeficientu

zvyšuje), dále obsah plniv, polymerační stupeň a obsah krystalického podílu (v těchto případech se hodnota koeficientu a snižuje).

Ze zkušeností víme, že semikrystalické polymery se mnohem více smršťují než amorfní polymery. Lze říci, že výsledné smrštění krystalických polymerů je úměrné obsahu krystalického podílu. Čím je tento podíl větší, tím větší je i smrštění. Neboť krystalické látky jsou v určitém prostoru dokonale uspořádány, zaujímají menší objem a mají tedy větší hustotu (měrnou hmotnost) než látky amorfní.

Teplotní roztažnost a tím i smrštění je ovlivňováno strukturou plastu, které je charakterizováno orientací, vnitřním pnutím, krystalinitou. [7], [11], [13]

3.5 Přísady

Aby mohly plasty úspěšně konkurovat ostatním konstrukčním materiálům, jako je kov, dřevo a silikáty, je třeba nejen zlepšovat jejich vlastnosti, ale i hledat cesty ke snížení ceny výrobků. Z tohoto hlediska je velmi perspektivní používání plniv.

Plniva zahrnují látky, které jsou dispergovány v polymerní matici a zásadním způsobem ovlivňují molekulární nebo chemickou strukturu polymeru a tím i jeho chování při zpracovatelském procesu a výsledné vlastnosti výrobku. Přísady se rozdělují podle svého účinku na základní vlastnosti plastů do skupin:

- přísady modifikující fyzikální vlastnosti plastů (změkčovadla, maziva a separační činidla, vysokomolekulární modifikátory, plniva, výztuže a vazebné prostředky, pigmenty a optické zjasňovací látky, nadouvadla, antistatika a síťovací prostředky);
- přísady mající ochranný účinek vůči degradačním procesům (stabilizátory termooxidace, tj. antioxidanty, tepelné stabilizátory, světelné stabilizátory, zhášedla a biocidní látky).

O účinku, resp. účinnosti jednotlivých přísad rozhoduje kromě jejich vlastností a poměrného zastoupení v polymerní směsi především stupeň jejich rozptýlení. Je to jeden z nejdůležitějších faktorů rozhodujících také o hospodárnosti použití přísad.

Tab. 1. Možnosti zlepšení vlastností polymeru přísadami

Požadovaná vlastnost	Potřebná přísada
při zpracování	
<ul style="list-style-type: none"> - optimální a konstantní viskozita taveniny (výkon, používání nižších teplot) - odolnost proti degradaci při teplotě zpracování - dobré a ekonomické vmíchávání přísad do polymerů - zabránění nalepování polymeru na steny forem (ulehčení vyjímání) - zabránění obroušení zařízení maziva - dobrá manipulace s výrobky (další zpracování) 	<ul style="list-style-type: none"> - maziva, stabilizátory, změkčovadla - tepelné stabilizátory, antioxidanty - změkčovadla, dispergační činidla - maziva, separační činidla - maziva - kluzná a protiskluzná činidla, antiblokovací činidla
při používání	
<ul style="list-style-type: none"> - optické a povrchové vlastnosti (vzhled, lesk, barva, průhlednost, hladkost, malá špinivost, elektrická vodivost) - mechanické vlastnosti (tvrdost, pevnost v tahu a ohybu, odolnost proti únavě, tvarová a rozměrová stálost, odolnost proti otěru, rázová houževnatost) - odolnost proti degradaci (tepelné, světelné, biochemické a chemické) - regulovaná degradace (urychlená degradace) - odolnost proti hoření a tvorbě dýmu - nižší hmotnost a nižší cena 	<ul style="list-style-type: none"> - plniva, barviva, nukleační činidla, změkčovadla, antistatické stabilizátory, činidla zlepšující adhezi - plniva a ztužovač, změkčovadla, síťovací a vytvrzovací činidla (často se modifikují vhodnými polymery) - antioxidanty, světelné stabilizátory, pigmenty, vhodná plniva - stabilizátory, degradační činidla - retardéry hoření, anorganické plniva - nadouvadla, plniva

Příklad plniva: sklené vlákno se všeobecně považuje za plnivo se ztužujícím nebo vyztužujícím účinkem. Sklenými vlákny s povrchovou úpravou možno pozitivně ovlivnit modul pružnosti a tvarovou stabilitu za tepla. Tvarová stabilita neplněného polymeru se přidávkem 30 % skleného vlákna zvýší z 50 °C na 108 °C. [17], [18]

4 KONSTRUKCE FOREM

Vstřikovací forma je nástroj z výrobního hlediska velmi náročný a hlavně nákladný. Jakékoliv zásahy do tvaru výstřiku nebo do konstrukce formy po zkušebním provozu jsou velmi draze zaplacený jednak ve výrobních nákladech na úpravu formy, ale také v časové ztrátě při výrobě výstřiků samotných.

Cena výstřiku je z největší části dána čtyřmi parametry:

- cenou vstřikovací formy,
- cenou plastu,
- hmotností výstřiku včetně vtoků,
- délkou výrobního cyklu.

Velikost těchto parametrů je největší měrou ovlivněna ve fázi přípravy výroby, tj. při návrhu plastového dílce, konstrukcí vstřikovací formy a stanovením technologických podmínek vstřikovacího procesu. Kromě optimalizace ceny výstřiku je důležité nalézt co nejkratší a nejrychlejší cestu od návrhu k realizaci. Tato cesta vede přes počítač. [9]

4.1 CAD/CAM

CAD z angličtiny Computer Aided Design, česky počítačem podporované projektování či konturování nebo míněno na obecný CAD systém jako computer-aided design - počítačem podporované kreslení. Jde o velkou oblast IT, která zastřešuje širokou činnost navrhování. Jednoduše lze říct, že se jedná o používání pokročilých grafických programů pro projektování, místo rýsovacího prkna.

CAD aplikace vždy obsahují grafické, geometrické, matematické a inženýrské nástroje pro kreslení plošných výkresů a modelování objektů a dějů reálného světa. Pokročilejší programy řeší výpočty, analýzy a řízení systémů (výroby, zařízení).

CAM z angličtiny Computer Aided Manufacturing, česky "počítačem podporovaná výroba" - zkratka označující software či obor pro řízení či automatizaci výroby, např. obráběcích strojů, robotů

CAD / CAM technologie hrají v dnešní době velmi důležitější roli v průmyslu pro zkrácení konstrukčního a výrobního času. Využívají se pro navrhování nástrojů a forem.

Tento návrh je podobně důležitý jako samotný výrobní proces. Následně se vygeneruje CNC kód pro numericky řízené obráběcí stroje, které vymodelované součásti vyrobí. [25], [30]

4.2 Násobnost formy

Optimální násobnost vstřikovacích forem je, se stále se zvyšující výrobou výstřiků, jednou z nejdiskutovanějších otázek, protože přímo souvisí s ekonomikou výroby. Doposud neexistuje exaktní a jednoduchá metoda ke stanovení správné násobnosti.

Násobnost vstřikovacích forem se obvykle hodnotí z několika hledisek:

- charakteru a přesnosti výstřiku,
- rozměru a hmotnosti výstřiků,
- požadovaného množství výrobků,
- velikosti plastikačního výkonu, velikosti uzavírací síly a kapacitě vstřikovacího stroje,
- požadovaného termínu dodávky,
- ekonomiky výroky.

Z hlediska kvality a přesnosti výstřiků je žádoucí, aby byla násobnost vstřikovací formy co nejmenší, protože se tím zjednoduší konstrukce formy, eliminují rozdíly v rozměrech jednotlivých tvarových dutin a vyloučí se rozdíly v teplotách a tlacích mezi jednotlivými dutinami formy. Dále se lépe navzájem vystředí tvárník a tvárnice a slícejí jednotlivé pohyblivé části formy. Jeli forma více než jednonásobná, pak má být násobnost volena tak, aby dráha toku taveniny ve vtokové soustavě a v dutinách formy byla u všech výstřiků stejně dlouhá. Součásti tvarově náročné, které vedou k formě, jako i velkorozměrové výstřiky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. [8], [11]

4.3 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku, nebo jeho nízkých mechanických vlastností.

Při plnění dutiny formy taveninou je třeba zajistit únik zejména vzduchu a případných zplodin, který je v ní obsažen na začátku vstříku, jakož i plynů uvolňující se při ochlazování. Vzduch, který se uzavře v dutině formy při adiabatickém stlačení, může dosáhnout vysokých teplot. Účinkem vysoké teploty se může povrch polymeru přehřát až spálit tzv. Dieselův efekt.

Další vady způsobené uzavřením vzduchu ve formě jsou:

- nedostřiky,
- zamrznutí postupu čela taveniny,
- uzavření vzduchu (tvorba bublin obvykle na protilehlé straně vtoku) ve větších tloušťkách stěn výstříku či určitých technologických podmínkách,
- zvětšení nebezpečí výskytu studených spojů a s nimi spojených vad povrchu a lokální pokles pevnosti,
- vnesení vnitřního pnutí do výstříků,
- nutnost enormního zvýšení vstřikovacího tlaku pro přetlačení nedokonalého odvzdušnění,
- velké tlakové spády v dutině formy.

Odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné. Nezbytná znalost některých zákonitostí při plnění formy ušetří pracovníkům mnoho starostí. Vzduch z dutiny formy často uniká dělicí rovinou (vedlejšími dělicími rovinami), vůlemi mezi pohyblivými částmi, pomocí odvzdušňujících vložek z porézního materiálu. V ostatních případech je třeba formu opatřit odvzdušňovacími kanály. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Velikost mezer bývá až do 0,05 mm v závislosti na polymeru. [7], [12], [16]

4.4 Temperace forem

Temperace forem slouží k udržování na požadované teplotě, která je zpravidla vyšší než pokojová a nižší než vstřikovací. Teplota formy při vstřikování termoplastů bývá zpravidla mezi (30 ÷ 120) °C, ve zvláštních případech může být i vyšší. Temperace forem má bezprostřední vliv na smrštění a tvarové rozměry, jakost povrchu a mechanické

vlastnosti výstřiku, jakož i zaplnění dutiny formy a též na délku vstřikovacího cyklu. Realizuje se ochlazováním, popřípadě vyhříváním formy nebo její součástí.

Jakmile je tavenina vstříknuta do formy, je nutno odvést co nejrychleji a hlavně stejnoměrně velké množství tepla. Před zahájením výroby se musí formy vyhřát na pracovní teplotu.

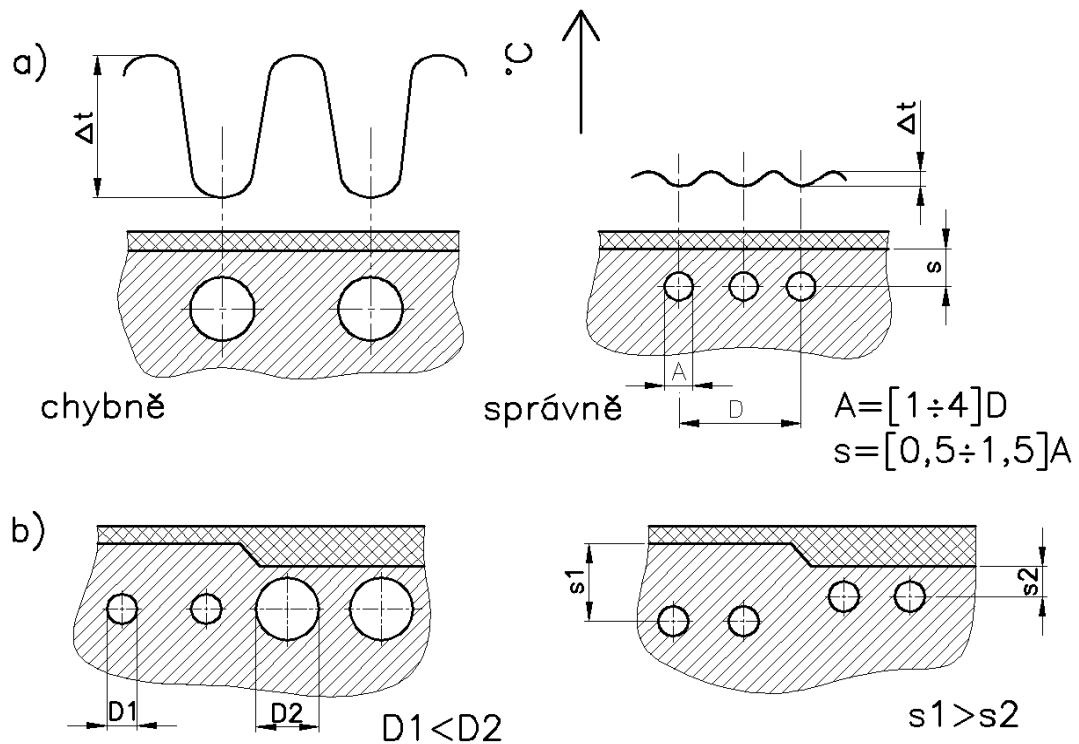
Správnou teplotou formy se dosáhne:

- zvýšení její tepelné a tím i rozměrové stability,
- snížení nebezpečí deformace při vysokých tlacích,
- optimální dobu vstřikovacího cyklu a hospodárnost provozu.

Množství a rychlost odvodu tepla závisí na materiálu formy nebo jejich částí, na temperačním systému a médiu, které jim prochází. [7], [8]

4.4.1 Zásady pro určení systému temperačních kanálů

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 a dutin se volí s ohledem na celkové řešení formy. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost 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 než naopak. Pokud je to možné, umísťují se kanály především v nejteplejších místech ve formě.

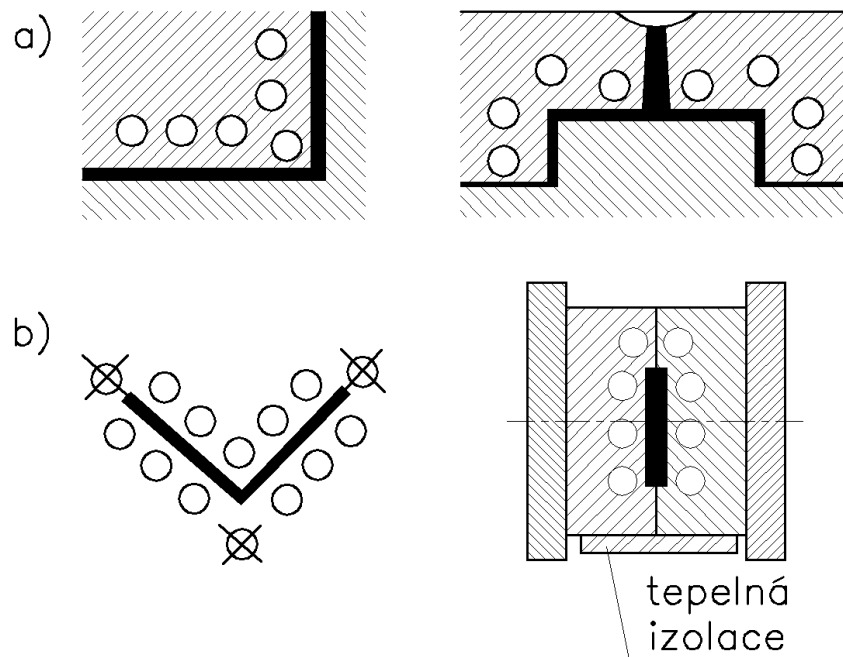


Obr. 14 Vliv rozmístění temperačních kanálů
 a) vliv rozmístění kanálů na průběh teploty povrchu tvárnice
 b) chlazení výstřiku o různé tloušťce

Při volbě temperačního systému je třeba dodržovat následující pravidla:

- kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové části formy při zachování dostatečné tuhosti stěn formy,
- kanály umístit a dimenzovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny (u vtoku),
- temperační systém nesmí překážet při otevírání formy, vyhazování výstřiku,
- průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu formy, tím se využije největší teplotní spád, u ohřívání naopak,
- průřez kanálů volit z výrobních důvodů kruhový, je však možná volit i jiný průřez,
- rozmístění kanálů se volí s ohledem na tvar výstřiku,
- kanály mají procházet celistvým materiálem formy. Pokud to není možné, je třeba stykové spoje utěsnit,

- po cestě temperačního media se nemají vytvářet mrtvé kouty, protože se v nich usazují nečistoty a jsou počátečními body ohnisek koroze a tím zarůstání kanálů,
- průměr kanálů nemá být menší než 6 mm, jinak hrozí nebezpečí ucpání nečistotami, vodním kamenem apod.,
- kanály konstruovat tak, aby se daly jednotlivé větve propojit hadicemi různým způsobem a pořadím. [13], [16]



Obr. 15 Rozmístění temperačních kanálů

a) temperace tvárnice

b) temperace v blízkosti hran výstřiku

4.4.2 Temperační prostředky

Představují média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. Tato média se rozdělují na:

- Aktivní působí přímo ve formě, teplo do formy přivádí nebo naopak odvádí.
 - kapaliny: proudí nuceným oběhem temperačními kanály vytvořenými uvnitř formy, dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou,
 - vzduch: užívá se buď volného proudění (při odvodu tepla z povrchu formy a při chlazení tvarových částí po čas otevření formy) nebo nuceného

proudění působením přetlaku či podtlaku, vzhledem k malé účinnosti se málo používá,

- topné elektrické články se využívají především k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou v případě, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodané vstříkovaným plastem, používají se většinou topné patrony a prstencová topná tělesa.

Tab. 2. Typy temperačních kapalin

Typ	Výhody	Nevýhody
voda	- vysoký přestup tepla, - nízká viskozita, - nízká cena, - ekologická nezávadnost	- použitelné do 90°C (v tlakových okruzích možnost vody použít i při vyšších teplotách), - vznik koroze (lze potlačit upravením vody), - usazování vodního kamene.
oleje	- možnost temperace i nad 100 °C	- zhoršený přestup tepla, - cena, - hořlavost, - stárnutí, - nízká chladicí schopnost oproti chladicím kapalinám na bázi vody - znečištění prostředí.
glykoly	- omezení koroze - ucpávání systému	- stárnutí, - znečištění prostředí.

- Pasivní prostředky působící na formu svými fyzikálními vlastnostmi.

- tepelně izolační materiály se používají především k omezení přestupu tepla do upínacích desek a to v případě, kdy se požaduje vysoká teplota formy,
- tepelně vodivé materiály se využívají k odvodu či přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných. Používá se měď a její slitiny nebo hliník a jeho slitiny. Nejúčinnějším prostředkem jsou tzv. tepelné trubice, které využívají výparného tepla látky cirkulující uvnitř v důsledku teplotního pádu. [12], [16]

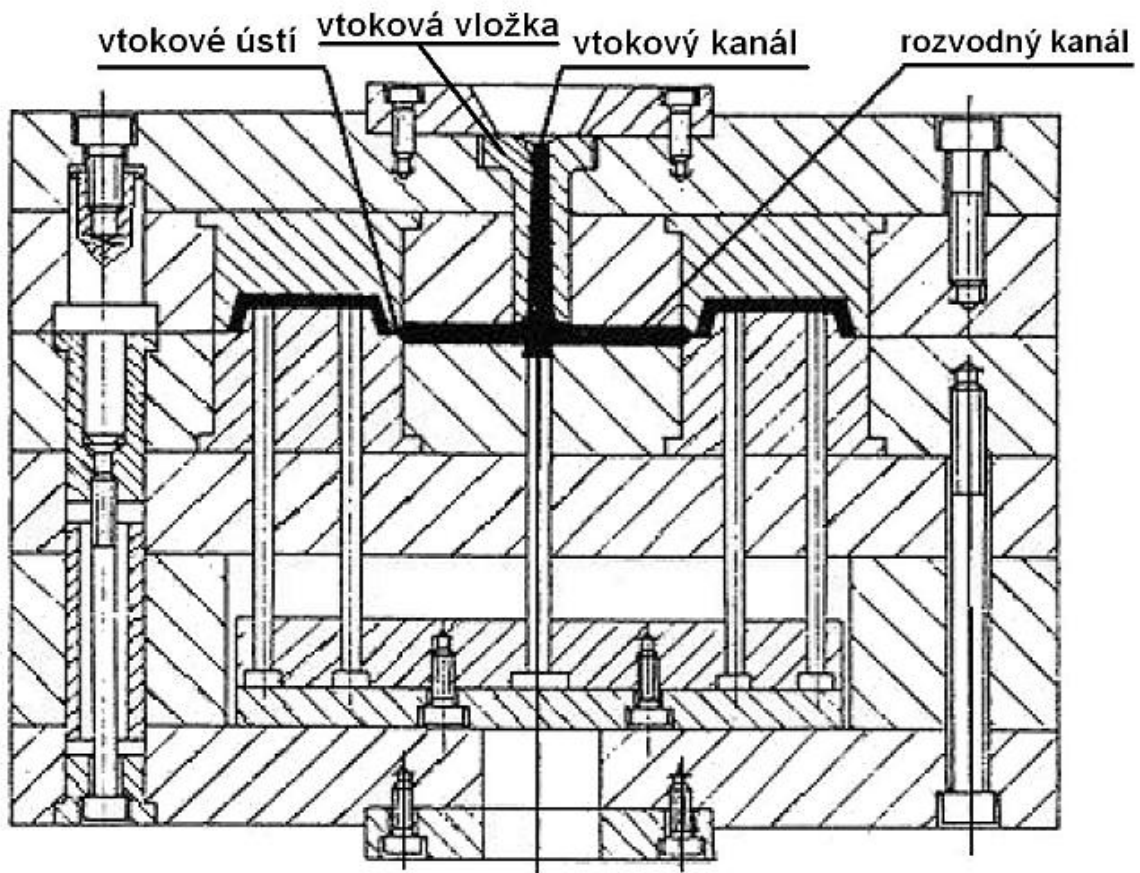
4.5 Studené vtokové systémy (SVS)

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory.

Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku,
- spotřebu materiálu,
- náročnost opracování na začistění výstřiku,
- energetickou náročnost výroby.

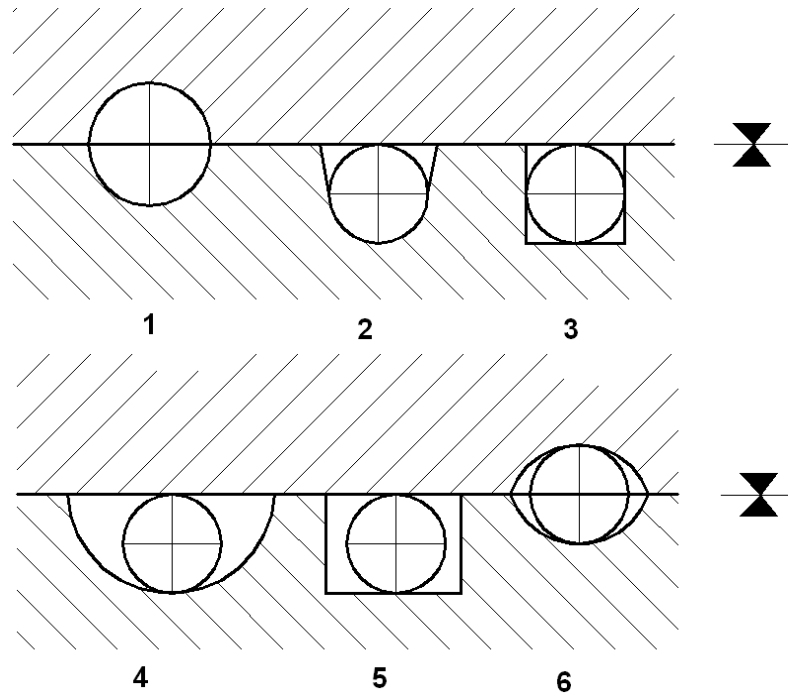
U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně (vyvážené vtoky). [5]



Obr. 16 Studený vtokový systém formy

4.5.1 Průřez rozvodných kanálů

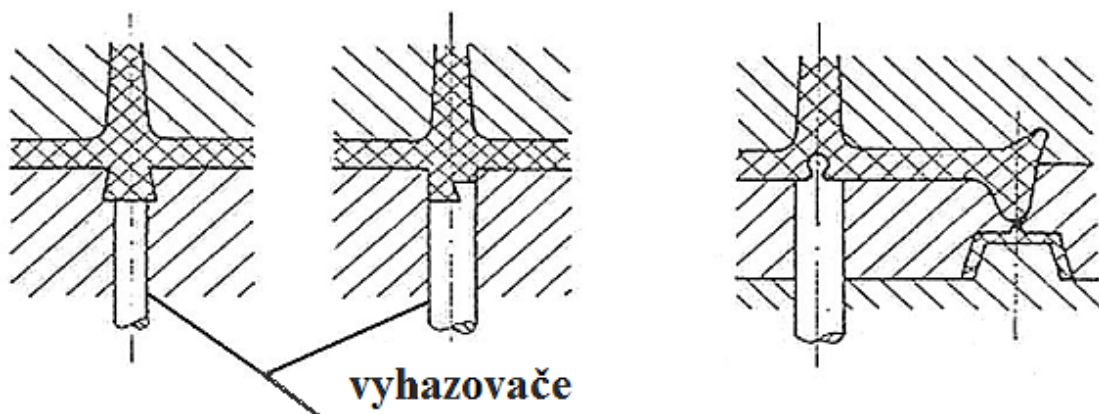
Rozvodný kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez - minimální ztráty ochlazování, této podmínce odpovídá kruhový kanál - z výrobních důvodů se volí i jemu podobný lichoběžníkový průřez. [8]



Obr. 17 Průřezy rozvodných kanálů
1, 6 – výrobně nevýhodné; 2, 3, 4, 5 – výrobně výhodné

4.5.2 Přidržovače vtoku

Funkce přidržovače vtoku je přidržení vtokového systému na levé straně vstřikovací formy.



Obr. 18 Přidržovače vtoku

4.5.3 Plný kuželový vtok

Je velmi účinný z hlediska působení dotlaku - vtok tuhne ve vstřikovací formě poslední (vhodné k potlačení propadlin, lunkrů u velkoobjemových dílů). Jeho nevýhoda spočívá ve velmi problematickém odstranění, protože zanechává stopu na výrobku. [5]

4.5.4 Bodový vtok

Vytváří se zúžením rozváděcího kanálu. Jeho zúžení se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku a tím i vytváření povrchových defektů. Umožní se snadné začištění. Vtokové ústí se volí co nejmenší v závislosti na charakteru výstřiku, plastu i technologie vstřikování. Nevýhodou je, že vyžaduje systém třídeskových forem. [5]

4.5.5 Tunelový vtok

Je zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výrobek - není nutné konstruovat systém třídeskové formy. Předpokladem je existence ostrých hran pro oddělení vtokového zbytku od výrobku. Není-li zaústění do stěny výrobku možné, využívá se zaústění do vnitřního nálitku (nesmí vadit funkce výrobku). Oddělování vtokového zbytku se provádí při otevírání formy nebo při vyhazování výrobku. [5]

4.5.6 Srpkovitý vtok

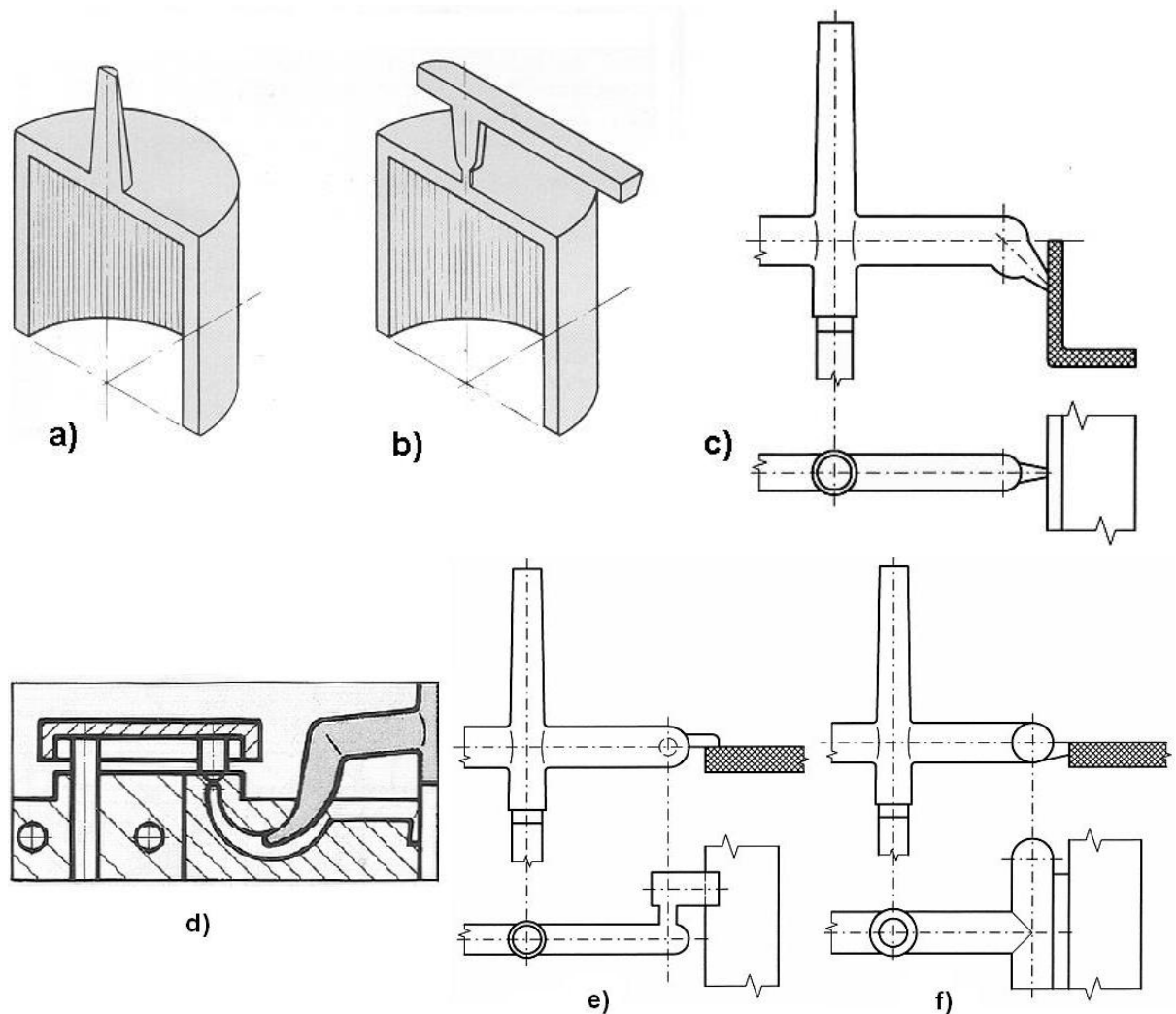
Je zvláštním typem tunelového vtoku, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, kde stopa po vtoku nesmí působit rušivě na pohledové části výrobku. Takový vtok je vhodný jen pro plasty s vysokou elasticitou. [5]

4.5.7 Boční vtok

Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Vtokové ústí leží v dělicí rovině. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. [5]

4.5.8 Filmový vtok

Je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se ještě řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další. Rozvedení taveniny do jednotlivých míst není rovnoměrné. Tlak klesá s rostoucí vzdáleností rozváděcího kanálu. To se řeší proměnnou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu. [5]



Obr. 19 Základní typy vtokových ústí
 a) plný kuželový vtok, b) bodový vtok, c) tunelový,
 d) srpkovitý vtok, e) boční vtok, f) filmový vtok

4.6 Vyhřívání vtokové soustavy (VVS)

Snahou po úsporách plastu i práce vedla k metodě bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívání vtokové soustavy. Dnešní VVS mají vyhřívání trysky, které jsou

charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. To umožnila především výroba vysokovýkonných a minimálních topných těles a některých dalších dílů.

Technologie vstřikování VVS spočívá v tom, že po naplnění dutiny vstřikovací formy zůstává polymer po celé délce VVS stále taveninou. Z toho vyplývá, že lze použít jen bodové vyústění malého průřezu, kde i přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem.

Výhody VVS:

- umožňuje automatizaci výroby - zkrácení výrobního cyklu,
- snižují spotřebu polymeru - tzv. bezvtokového vstřikování,
- snížení nákladů na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků - odpadá problematika recyklace vtokových zbytků,
- celý systém VVS má snadnou montáž, demontáž, údržbu,
- VVS má vlastní regulaci teploty ve všech svých částech.

Nevýhody VVS:

- konstrukční provedení vstřikovacích forem s VVS je náročnější,
- je potřeba zajistit regulátory a snímače teploty VVS,
- VVS jsou energeticky a ekonomicky nákladnější jak SVS. [8]

4.6.1 Vyhřívání trysky

Jejich konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy.

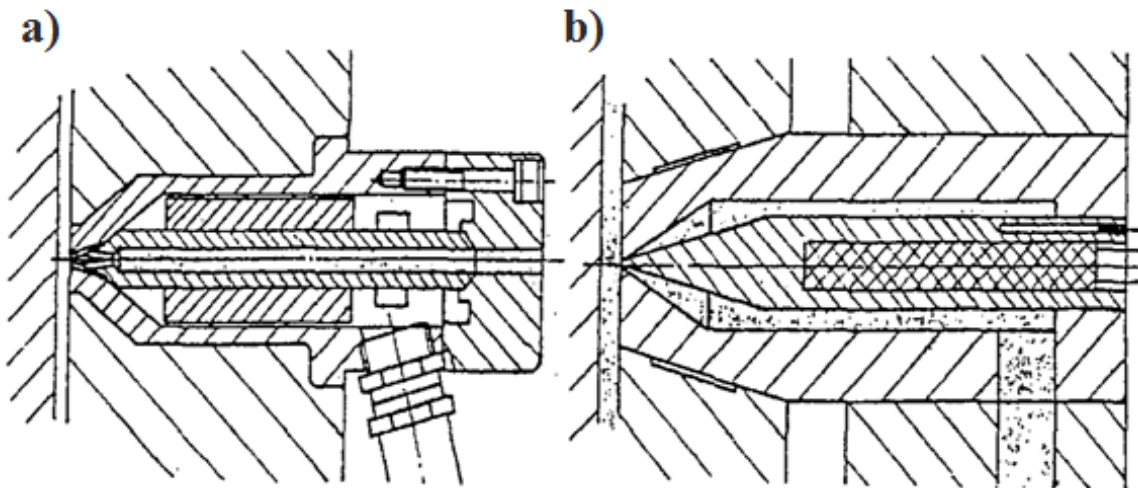
Nepřímo ohřívání trysky

Nepřímo ohřívání trysky, jejichž jednodušší provedení si zpracovatel může sám vyrobit, se vyznačuje přenosem tepla z vyhřívání rozvodu na trysku. U tohoto způsobu je vhodnější dodržovat rychlejší pracovní cyklus.

Přímo ohříváných trysek

Konstrukční řešení přímo ohříváných trysek je charakterizováno dvěma základními principy:

- trysky s vnějším topením, kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je z tepelně vodivého materiálu. Z vnějšku je kolem trysky umístěno topení,
- trysky s vnitřním topením. U tohoto systému tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložkou (torpédo), zhotoveno také z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. [5]

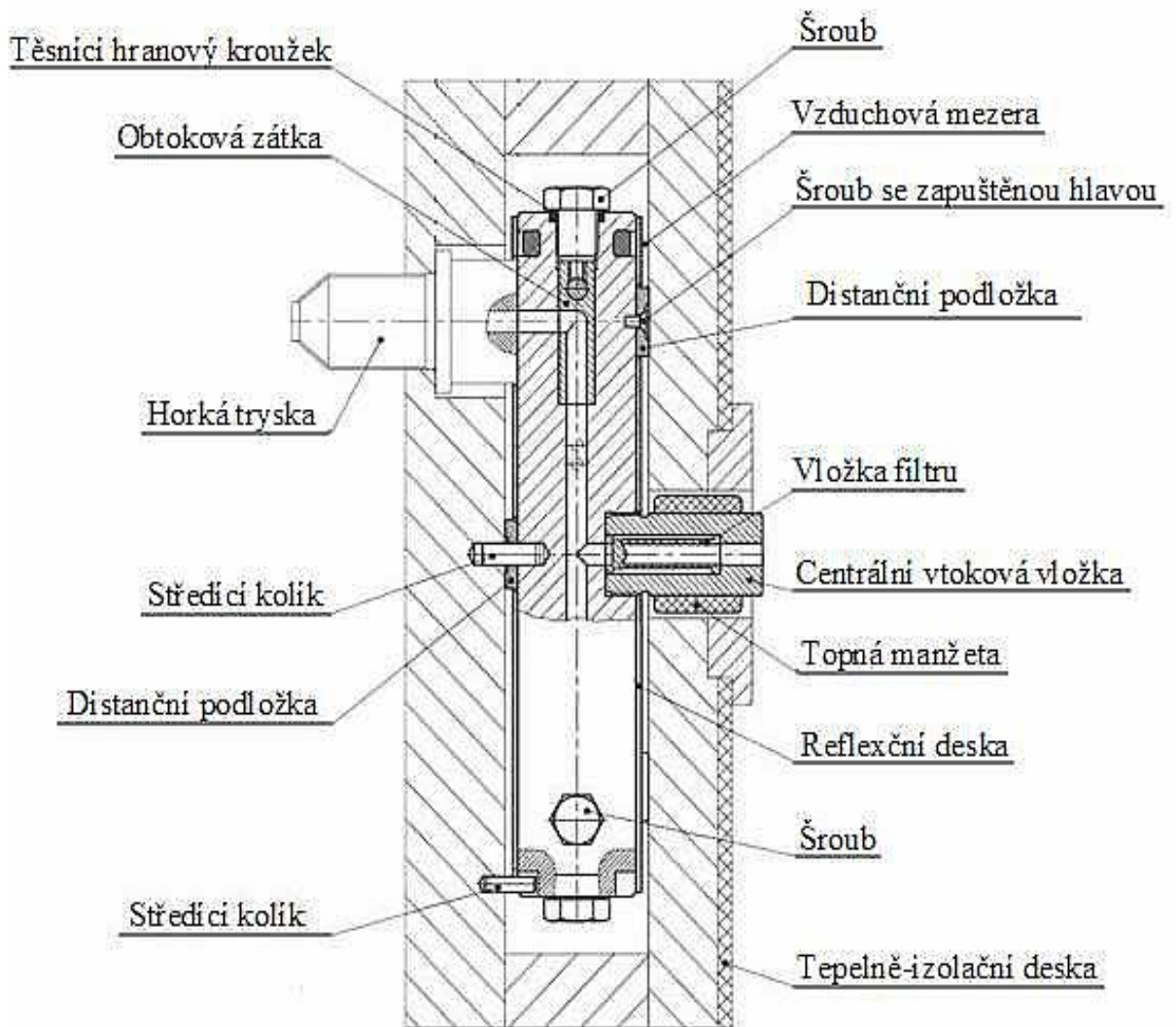


Obr. 20 Vyhřívané trysky
a) s vnějším vytápěním, b) s vnitřním vytápěním

4.6.2 Vyhřívané rozvodné bloky

Vstřikovací formy s vyhřívaným rozvodným blokem se používá v kombinaci s vyhřívanými i izolovanými tryskami. Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Jeho funkce je podmíněna rovnoměrným vytápěním. V opačném případě ovlivní tokové chování taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách.

Rozváděcí blok je ocelový, uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části. Musí být tepelně izolován od ostatních částí formy. [8]



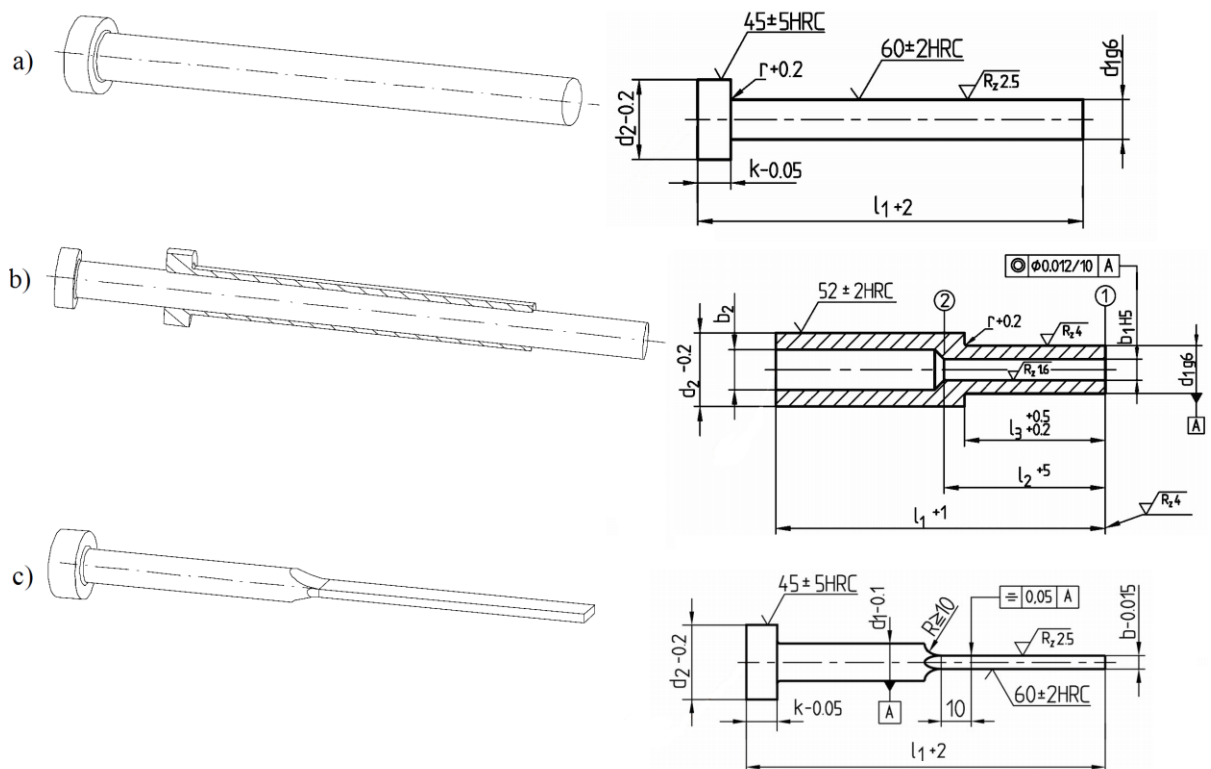
Obr. 21 Vyhříváný rozvodný blok

4.7 Vyhazování výstříků z formy

Po ochlazení výstříku ve formě následuje otevření formy a vyhození výstříku z dutiny formy. K tomu slouží vyhazovací kolíky, stírací deska, stlačený vzduch, případně jejich kombinace. Pohyb vyhazovače se odvozuje od pohybu částí formy, výjimečně od pružiny, případně se použije hydraulických válců. Základní podmínkou dobrého vyhazování výstříku je hladký povrch a správné úkosy jejich stěn ve směru vyhazování. Nejrozšířenějším vyhazovacím systémem je mechanické vyhazování. [7]

4.7.1 Vyhazování pomocí kolíků

Vyhazovací kolíky jsou nejčastěji a nejlevnějším způsobem vyhazování výrobků. Lze je využít všude, kde je možné umístit proti ploše výrobku. Jsou výrobně jednoduché a funkčně zaručené. Vůle v uložení slouží jako od vzdušnění. Vyhazovací kolík by se měl opírat o nepohledovou stěnu, protože zanechávají stopy na výstřiku nebo žebro výrobku, které se nesmí při vyhazování zbortit. [7]

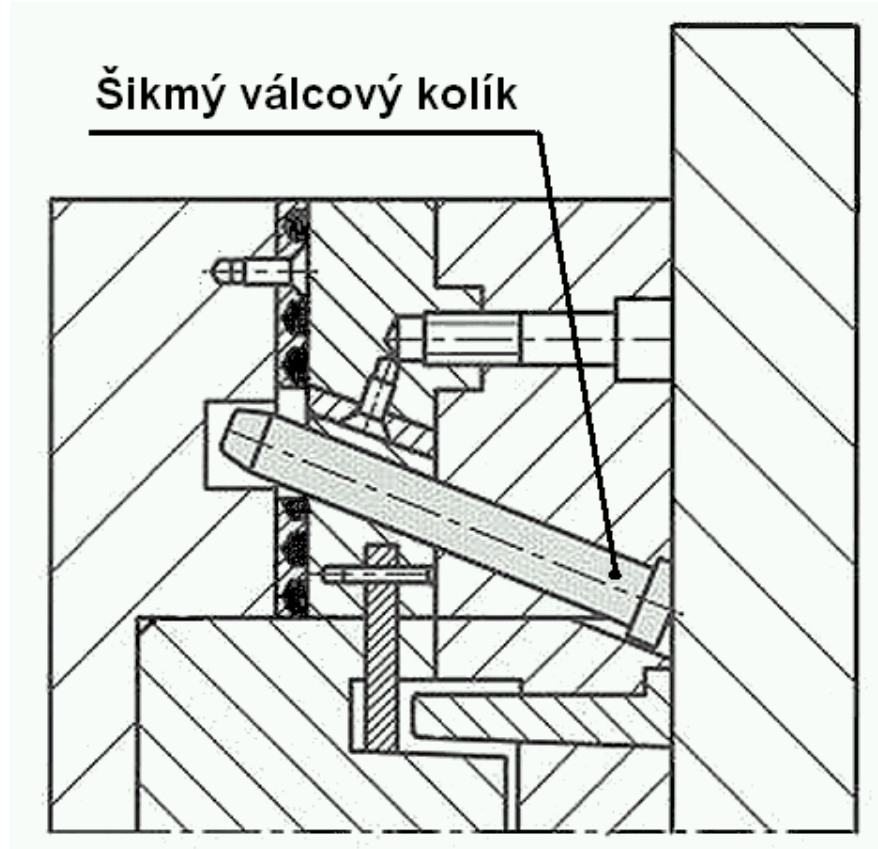


Obr. 22 Vyhazovací kolíky

a) válcový vyhazovač, b) trubkový vyhazovač, c) prizmatický vyhazovač

4.7.2 Šikmé kolíky

Využívají se pro ovládání posuvných čelistí forem. Šikmé kolíky se používají tam, kde se nevyžaduje žádné nebo malé zpoždění vysouvání čelistí při otevírání hlavní dělicí roviny. Uzavírací pohyb je ukončen současně s uzavřením formy. Otevřená a uzavřená poloha pohyblivé čelisti se zajišťuje kuličkou nebo jinou západkou.



Obr. 23 Řez formou s šikmým válcovým kolíkem

4.7.3 Pneumatické vyhazování

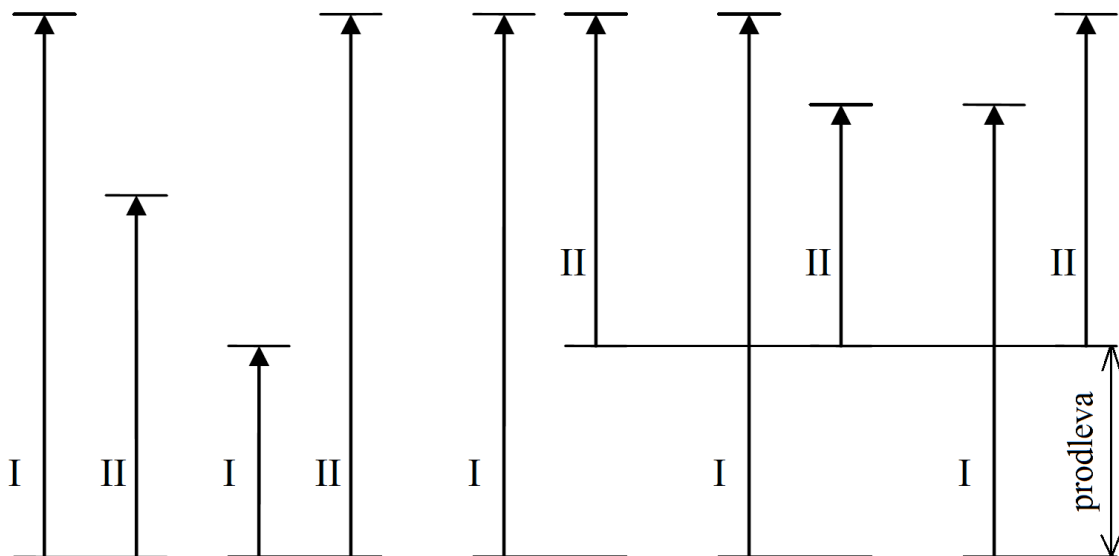
Při pneumatickém vyhazování se mezi výstřík a líc formy zavádí stlačený vzduch. Tím se umožní rovnoměrné oddělení výstříku, vyloučí se místní přetížení a odstraní se stopy po vyhazovačích na výstříku. Nevýhodou je omezené použití pneumatického vyhazování jen na některé tvary výstříků. Je vhodný systém pro vyhazování slabostěnných výstříků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovali. Běžné mechanické vyhazování větších výstříků vyžaduje značné zvětšení délky formy (velký zdvih vyhazovače), bez záruky dobré funkce.[7], [16]

4.7.4 Hydraulické vyhazování

Využívá se pro plynulejší ovládání mechanických vyhazovačů či k ovládání posuvných čelistí forem, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. Méně často se setkáváme s přímou zabudovanými hydraulickými jednotkami ve formě, které pracují jako vyhazovače. Více se používají k ovládání bočních posuvných čelistí. [16]

4.7.5 Dvoustupňové vyhazování

Umožňuje vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Vyžaduje dva vyhazovací systémy, které se vzájemně ovlivňují. Využívá se k vyhazování slabostěnných výstřiků v kombinaci - stírání s vyhazovacími kolíky nebo se dá také využít při oddělování vtokových zbytků od výstřiku spolu s jejich vyhazováním. [16]



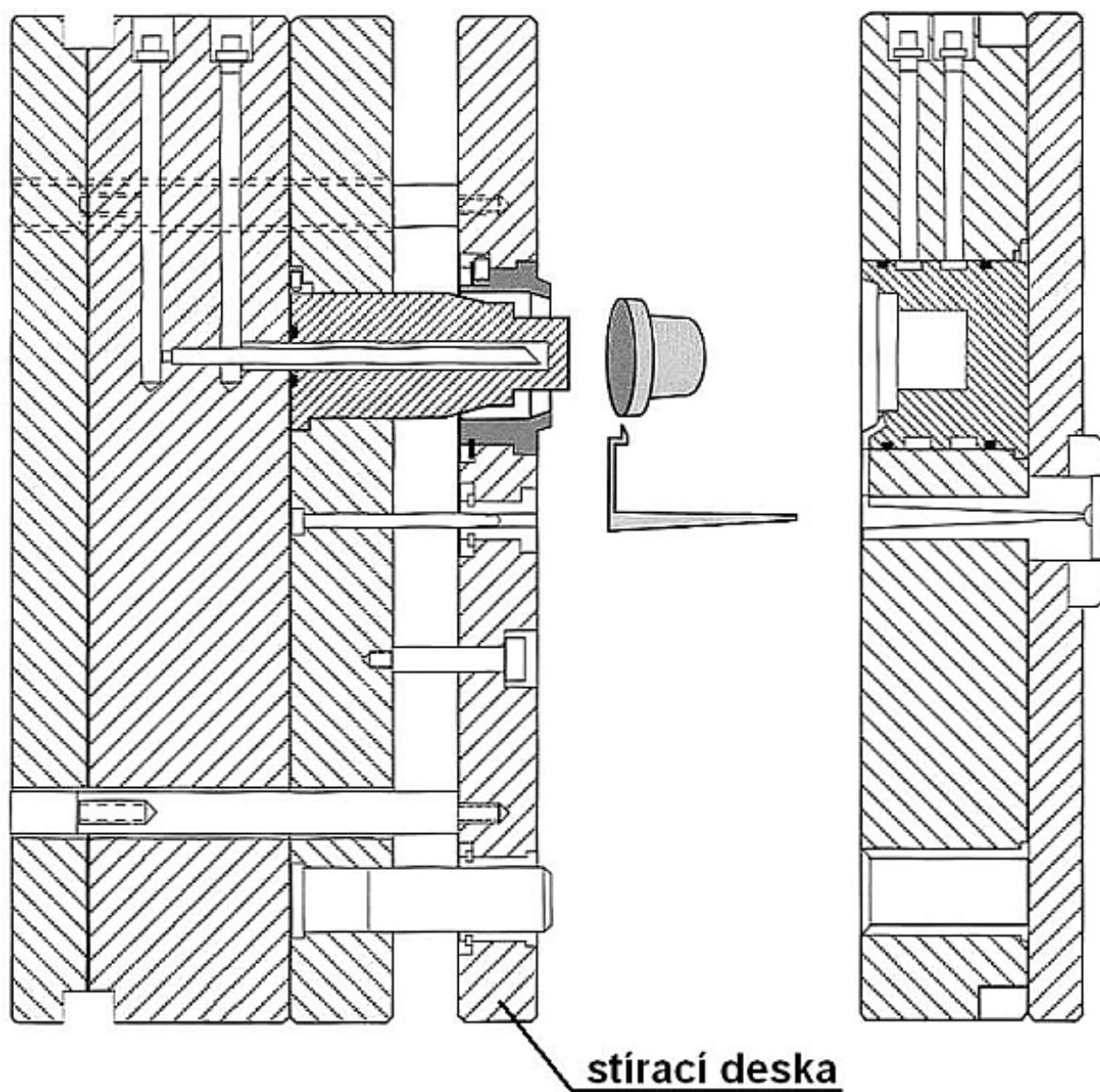
Obr. 24 Zdvih a časové rozložení dvoustupňových vyhazovačů

I - zdvih první skupiny vyhazovačů

II - zdvih druhé skupiny vyhazovačů

4.7.6 Stírací deska

Stírací deska při stahování výrobku z tvárníku působí na výrobek po celém jeho obvodu - velká styčná plocha, nezanechává na výrobku stopy po vyhazování - deformace je minimální a stírací (vyhazovací) síla je velká. Využívá se zejména u rozměrových a tenkostěnných výrobků, které vyžadují velkou vyhazovací sílu a u vícenásobných forem. Použití stírací desky je omezeno tvarem výrobku - dosedá-li výrobek v rovině (i mírně zakřivené) na stírací desku. [8]



Obr. 25 Řez formou se stírací deskou

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracování literární studie dané problematiky,
- provedení analýzy plnění dutiny vstřikovací formy včetně deformací pro zadaný díl v programu Moldflow,
- provést návrh vstřikovací formy sestavy vstřikovací formy ve 3D,
- provedení kompletní analýzy plnění včetně optimalizace vtokového a chladicího systému v programu Moldflow.

V teoretické části jsou popsány poznatky týkající se procesu vstřikování, vstřikovacího stroje a správné konstrukce formy.

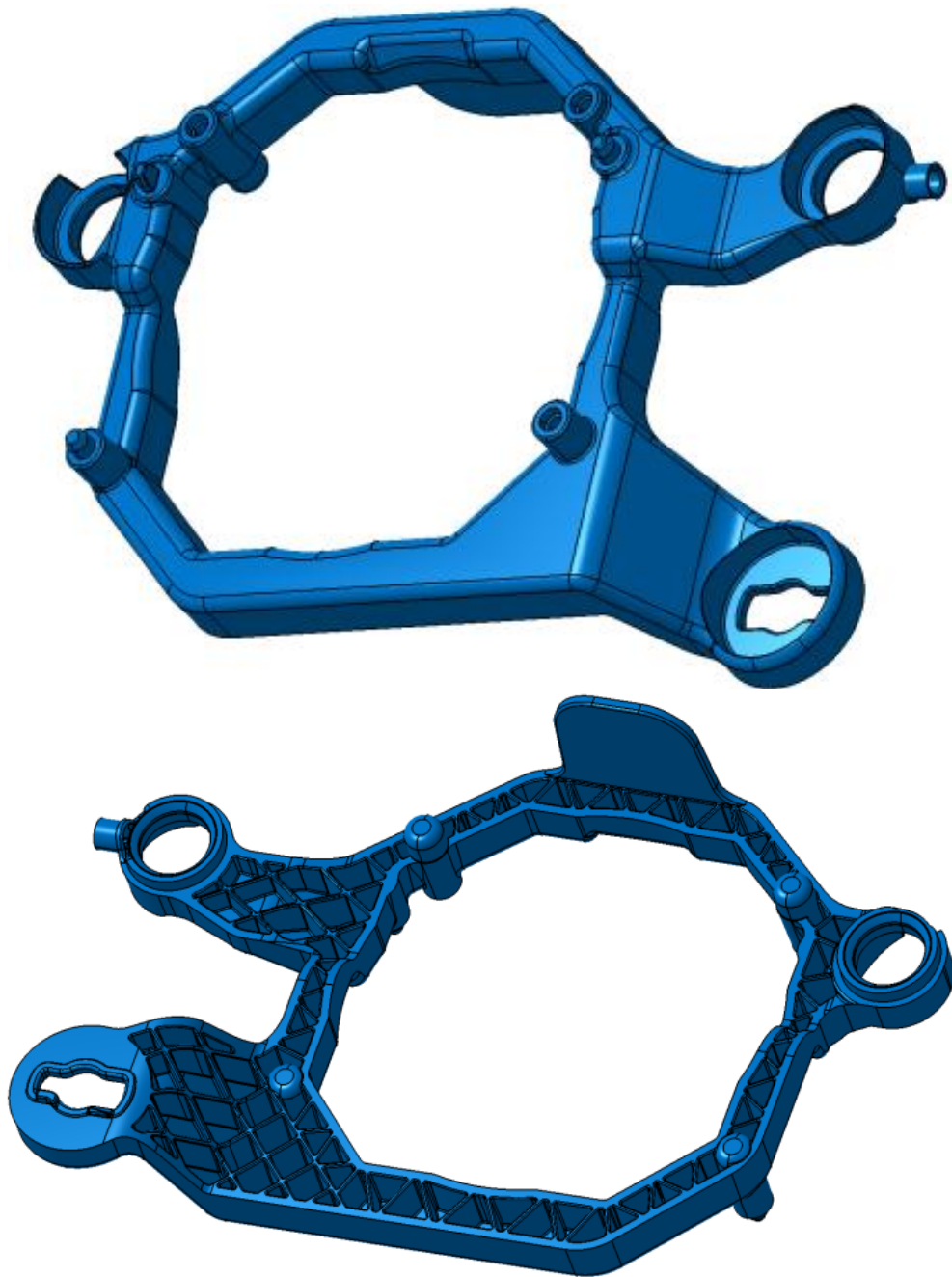
V praktické části této diplomové práce byly provedeny analýzy plnění dutiny včetně deformací pro zadaný díl pro různé umístění vtoky a pro různé materiály v programu Autodesk Moldflow Insight 2010, které byly zhodnoceny, a z nich byl vybrán konkrétní vtok s materiálem. Tento vtok byl následně použit při návrhu vstřikovací formy.

Bylo navrženo několik variant vstřikovacích forem, které se lišily chladicím systémem. Konstrukce byla provedena v programu CATIA V5 R18 a dále byly použity normy firmy HASCO.

Na těchto návrzích byly provedeny tokové, deformační a chladicí analýzy a porovnány, které z návrhu chlazení je vhodnější pro výrobek a pro rychlost vstřikovacího cyklu.

6 SPECIFIKACE VÝROBKU

Vstříkovaný výrobek je nosný rámek pro světelný modul do předního světlometu automobilu, který umožňuje boční natáčení světel do zatáček a výškové nastavení světel při zatížení zadní části automobilu. Je umístěn uvnitř světla, kde není vidět při pohledu na samotný automobil. Tento výrobek se bude vyrábět ve dvou provedeních, pro pravé a levé světlo, je zrcadlově stejný. Vyrábět jej bude HELLA AUTOTECHNIK s.r.o. Mohelnice, která je dceřinou společností německého koncernu HELLA KGaA Hueck & Co.



Obr. 26 Model výrobku

Na tento díl je požadavek vysoké tuhosti, pevnosti, odolnost proti otřesům a stability tvaru při vysokých teplotách, které vytváří světlo. Objem jednoho výrobku je 35,21 cm³.

6.1 Materiály

Pro tento výrobek bylo zadáno několik druhů materiálů, ze kterých měl být vybrán ten, který bude vyhovovat použití. Většinou se jedná o materiál PBT, který je naplněn skleněných vláknů či kuličkami o různé koncentraci. Tyto materiály se posuzují v závislosti na velikosti deformace, kterou ovlivňuje samotné plnivo a procentuelní obsah v polymeru.

Tab. 3. Typy materiálů pro analýzy

Označení	PBT	PBT GF30	PBT GF50	PBT GB50	PA6T/6I GF50
Obchodní název	Ultradur B4520	Ultradur B4300 G6	Ultradur B4300 G10	Ultradur B4300 K6	Grivory HTV-5H1
Plnivo	Čistý materiál	30% skelných vláken	50% skelných vláken	30% skleněných kuliček	50% skelných vláken
Výrobce	BASF	BASF	BASF	BASF	EMS - Grivory
Teplota formy minimální [°C]	40	60	80	40	140
Teplota formy maximální [°C]	70	100	120	80	160
Teplota formy nastavená [°C]	60	80	80	80	150
Teplota taveniny minimální [°C]	250	250	250	250	330
Teplota taveniny maximální [°C]	275	275	275	275	345
Teplota taveniny nastavená [°C]	260	260	260	260	340
Degradační teplota [°C]	280	280	290	280	355
Teplota při vyhazování [°C]	160	180	185	180	283
Hustota pevné látky [g/cm ³]	1,2782	1,5360	1,7441	1,5360	1,6495
Hustota taveniny [g/cm ³]	1,0598	1,3198	1,5355	1,3159	1,5192

7 TOKOVÉ ANALÝZY VČETNĚ DEFORMACÍ

Pro všechny analýzy plnění, dotlaku, deformace a chlazení byl použit program Autodesk Moldflow Insight 2010. Je to konečně prvkový program, který nám umožňuje počítat analýzy vstřikovacího procesu pro zadané výrobky. Z nich se dá vyčíst mnoho důležitých informací, jak se bude polymer chovat a tím předejít následně problémům při reálném vstřikování.

7.1 Analýzy plnění dutiny vstřikovací formy včetně deformací

Analýzy plnění dutiny byla provedena pro zjištění, jak může ovlivnit umístění a počet vtoků do výstřiku jeho deformaci. Jednotlivé verze umístění vtoku jsou zobrazeny na Obr. 27, které byly zadány firmou. Procesní podmínky při výpočtu plnění a deformace byly voleny tak, aby co nejméně ovlivňovaly výslednou deformaci, tedy byly nastaveny stejně pro všechny vtoky. Dále bylo zkoumáno, jak může ovlivnit druh a množství plniva materiálu deformaci výstřiku.

Typ analýzy byl použit Fill + Pack + Warp. Nastavení teplot jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 4. Procesní podmínky

Čas vstřiku	automaticky
Celkový čas cyklu	automaticky
Čas otevření formy	5 s
Přepnutí na dotlak	98 %
Tlakové nastavení	po 1,5 s přepnutí na 80 %
Teplota chladicí kapaliny	70 °C
Průtok chladicí kapaliny	20 l/min



Obr. 27 Verze umístění vtoků

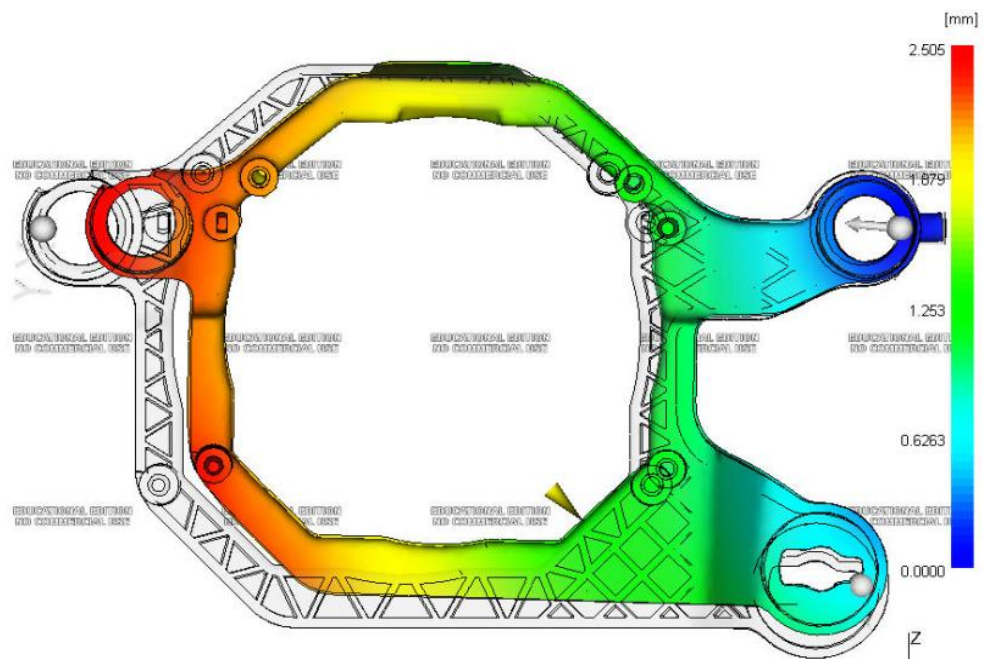
Tab. 5. Velikosti deformací pro jednotlivé materiály měřené v obecné rovině

Materiál \ Typ vtoku	Verze umístění vtoku 1		Verze umístění vtoku 2		Verze umístění vtoku 3		Verze umístění vtoku 4	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
PBT	1,414	73,26	1,930	100,00	1,469	76,11	1,530	79,27
PBT GF30	1,410	73,06	1,741	90,21	1,648	85,39	1,221	63,26
PBT GF50	0,8008	41,49	0,6119	31,70	0,6019	31,19	0,6924	35,88
PBT GB50	1,220	63,21	1,668	86,42	1,269	65,75	1,314	68,08
PA6T/6I GF50	0,7282	37,73	0,5168	26,78	0,5434	28,16	0,6547	33,92

Výpočet byl proveden tak, že jako 100% byla vybrána největší deformace výrobku.

Tab. 6. Velikosti deformací pro jednotlivé materiály měřené v rovině podélné

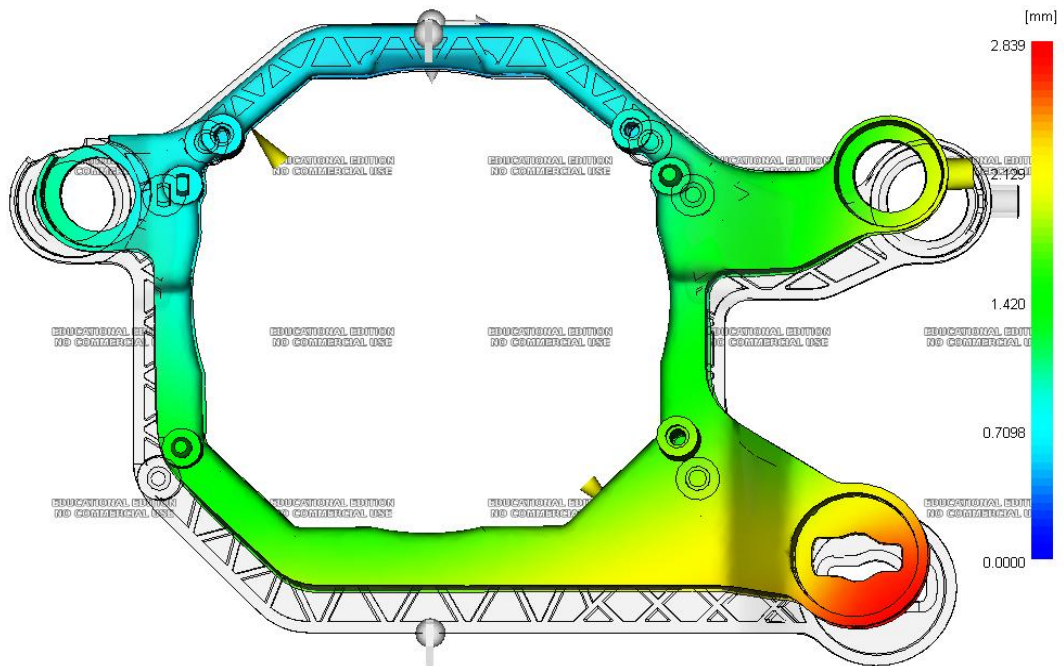
Typ vtoku	Verze umístění vtoku 1		Verze umístění vtoku 2		Verze umístění vtoku 3		Verze umístění vtoku 4	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
PBT	2,505	85,55	2,591	88,49	2,238	76,43	2,511	85,76
PBT GF30	2,194	74,93	2,928	100,00	1,436	49,04	1,210	41,33
PBT GF50	0,9684	33,07	1,017	34,73	0,5793	19,78	0,634	21,65
PBT GB50	2,157	73,67	2,199	75,10	1,936	66,12	2,191	74,83
PA6T/6I GF50	0,9179	31,35	0,7441	25,41	0,6003	20,50	0,6585	22,49



Obr. 28 Rovina měření podélně s výrobkem

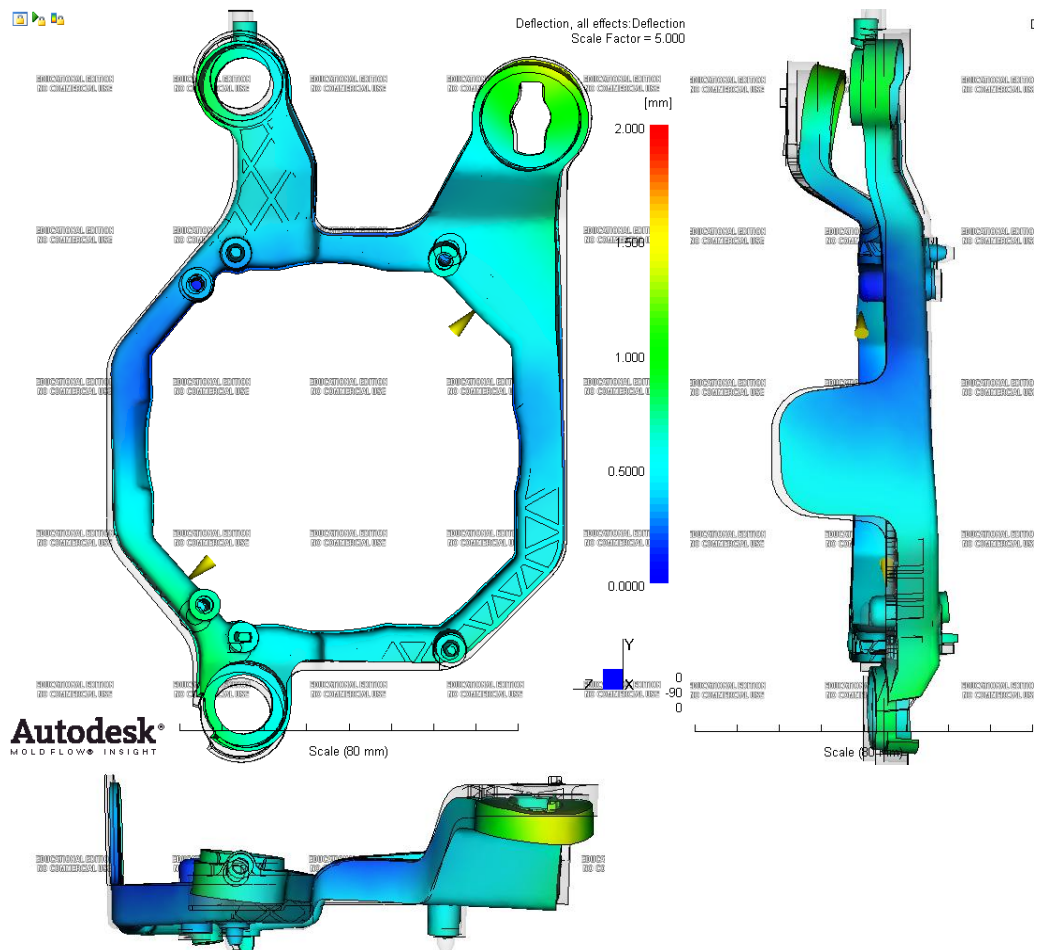
Tab. 7. Velikosti deformací pro jednotlivé materiály měřené v rovině příčné

Typ vtoku	Verze umístění vtoku 1		Verze umístění vtoku 2		Verze umístění vtoku 3		Verze umístění vtoku 4	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
PBT	2,839	62,51	2,872	63,23	2,833	62,37	3,011	66,29
PBT GF30	1,776	39,10	4,542	100,00	4,533	99,80	2,824	62,18
PBT GF50	1,240	27,30	1,450	31,92	1,365	30,05	0,7148	15,74
PBT GB50	2,322	51,12	2,473	54,45	2,333	51,37	2,535	55,81
PA6T/6I GF50	1,403	30,89	0,8135	17,91	1,297	28,56	0,7858	17,30

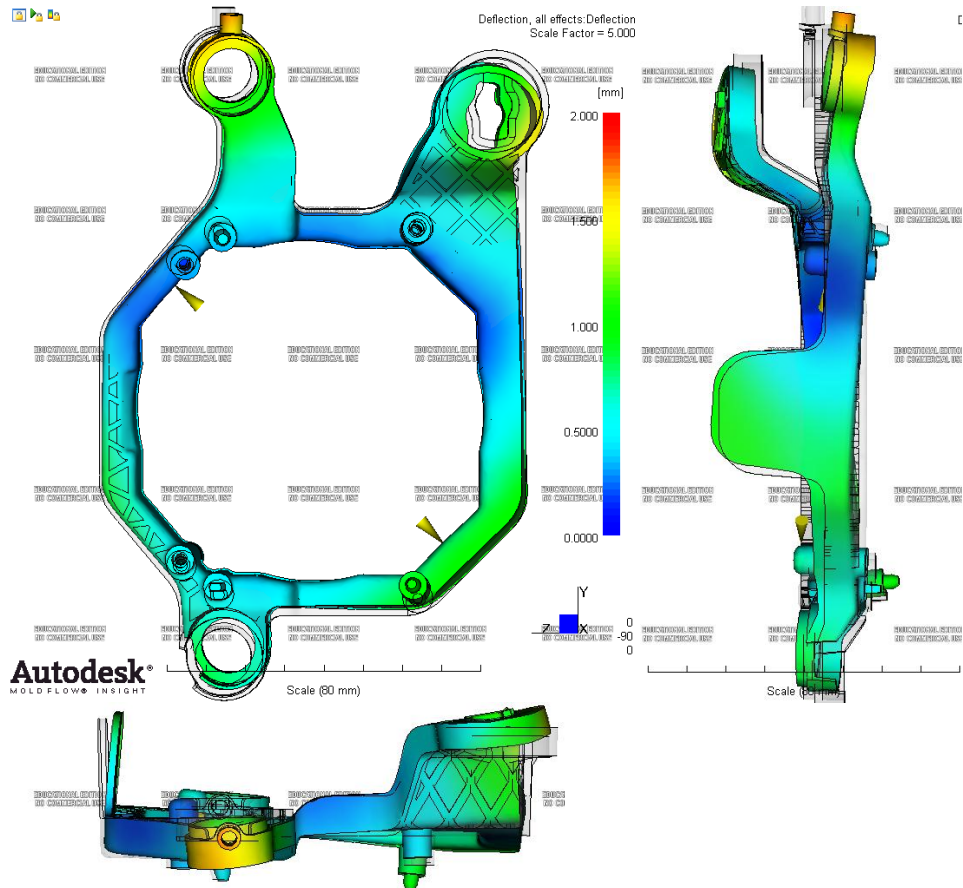


Obr. 29 Rovina měření příčně s výrobkem

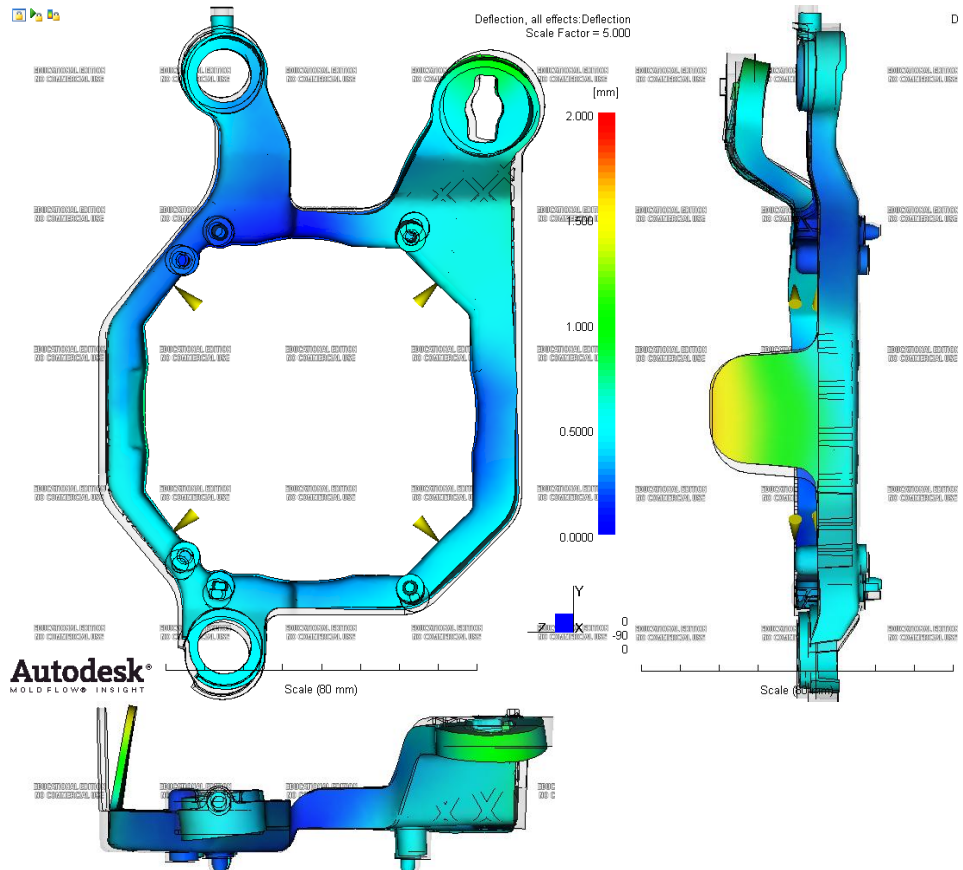
7.2 Výsledky deformací jednotlivých vtoků



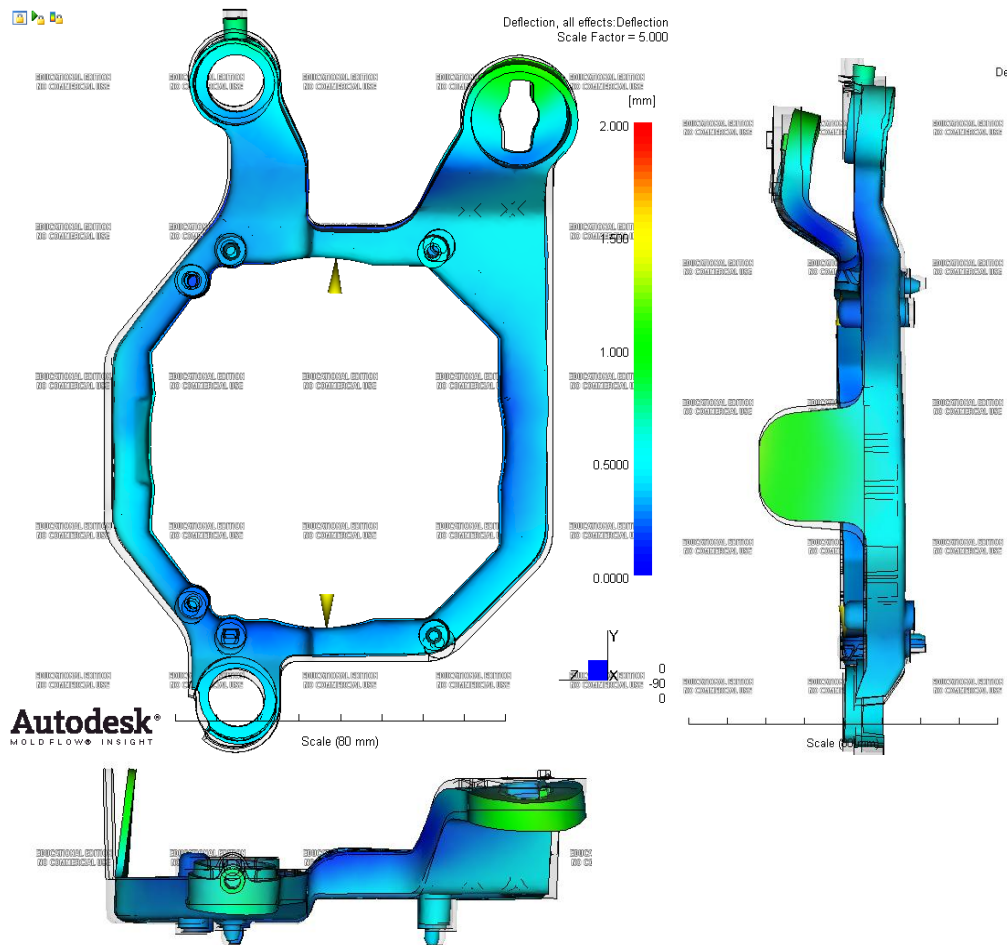
Obr. 30 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 1 PBT GF 30



Obr. 31 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 2 PBT GF 30



Obr. 32 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 3 PBT GF 30



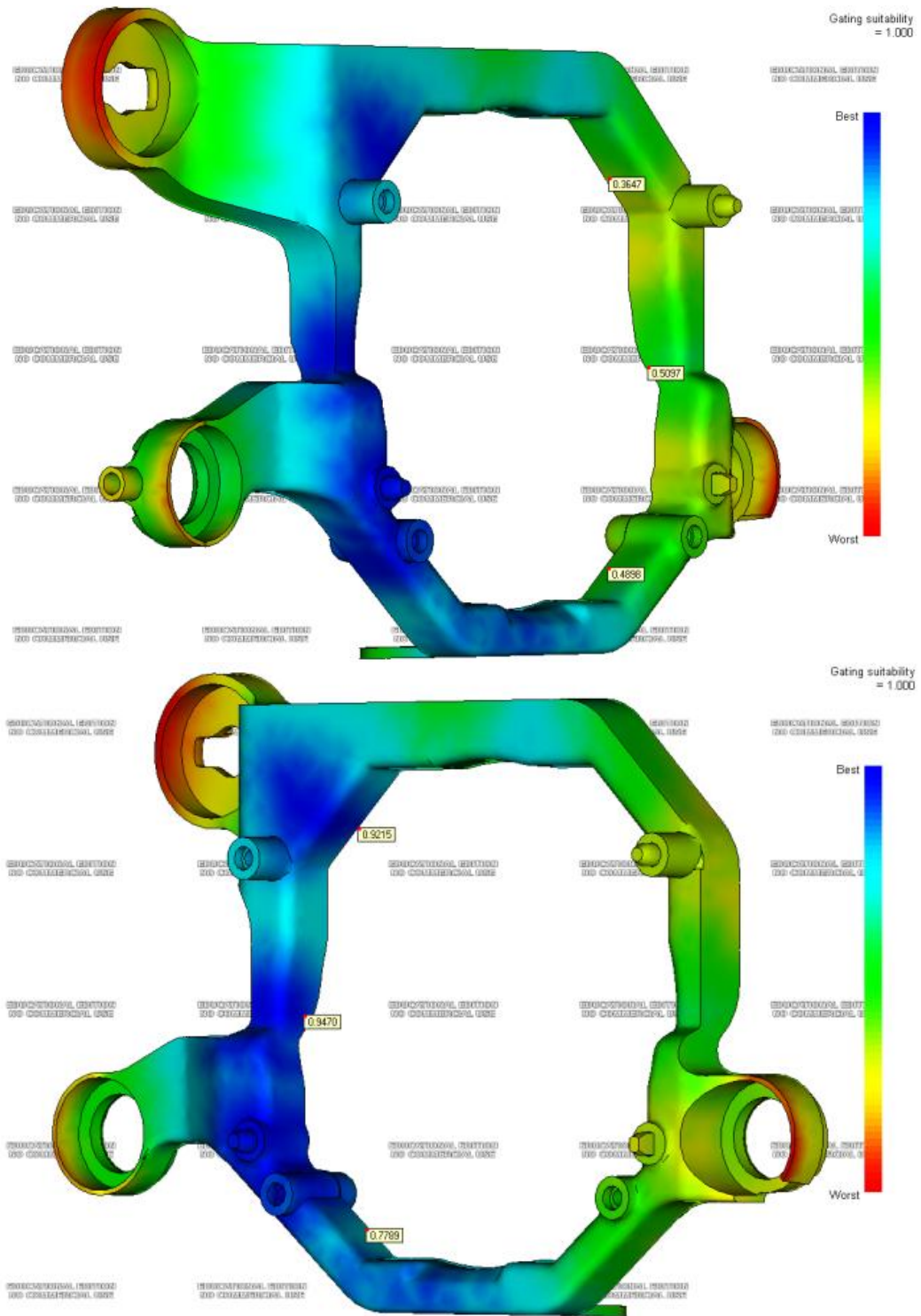
Obr. 33 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 4 PBT GF 30

Ostatní deformované dílce jsou v přílohách, zde byly vyobrazeny výsledky deformací pro vybraný materiál PBT GF 30. Pro lepší znázornění jsou všechny deformace zvětšeny pětinasobně.

7.3 Poloha vtoku

Cílem této analýzy je zjištění místa pro optimální umístění vtokového kanálu pro ideální zaplnění celé dutiny formy. Výsledkem nejlepšího umístění vtoku může vyjít například na pohledové části nebo v místě, kde by se nedal umístit vtok a tak nemusí nutně znamenat, že součást musí být plněna z tohoto místa.

Analýza polohy vtoku zobrazuje, že nejhodnější pozice vtoku by byla v části poblíž dvou úchytů, jsou označeny modrou barvou. Místa pro umístění vtoku jsou vybrána na vnitřní straně výrobku i s ohledem na dělicí rovinu a vyhození výrobku i vtokových kanálů. Pro požadované verze umístění vtoku, zobrazené na Obr. 27, je vhodnost umístění zobrazeno v Tab. 8.



Obr. 34 Vhodnost umístění vtoku

Tab. 8. Vhodnost umístění vtoku pro jednotlivé verze umístění vtoku

Verze umístění vtoku	Vhodnost umístění vtoku [%]			
Verze 1	92,15		48,98	
Verze 2	77,89		36,47	
Verze 3	92,15	77,89	48,98	36,47
Verze 4	94,70		50,97	

7.1 Vyhodnocení analýzy deformace

Pro konstrukci vstřikovací formy byla vybrána **verze umístění vtoku 4**, u které vychází nízké deformace výrobku, je jednoduchá a má i nižší spotřebu materiálu než verze 3. Výsledky mohou být částečně nepřesné z důsledku síťování výrobku. Kdy je procentuelní kvalita vysíťování 84,6%. Optimálnější by bylo, kdyby byla kvalita nad 90%. To by se ale obtížně dosahovalo pro tak složitý výrobek.

Nakonec po konzultaci s firmou byl vybrán materiál **PBT GF30**, u nějž vychází deformace v uspokojivé velikosti. Je ve firmě dlouhodobě používán, a mají s ním dobré zkušenosti pro podobné aplikace. Cena je mnohem menší než u materiálu PA6T/6I GF50 u kterého vychází nejmenší deformace, ale i hodnoty procesních podmínek jsou u tohoto dražšího materiálu vyšší.

Zvyšování koncentrace skleněného plniva způsobuje opotřebení dutiny formy, funguje podobně jako rozptýlený brousící materiál v brusné pastě. To zvyšuje nároky na materiál dutiny formy, opracování a tepelného zpracování a opotřebení stroje. Plnivo taktéž zhoršuje tečení polymeru a musí se zvyšovat hodnoty procesních podmínek při zpracování. Materiály s nižším obsahem plniva mají horší mechanické vlastnosti i nižší stabilitu při tepelném namáhání.

Tab. 9. Vlastnosti vybraného materiálu PBT GF30

Pevnost v tahu	ISO 527	135	MPa
Tažnost	ISO 527	2,5	%
Modul pružnosti v tahu	ISO 527	10000	MPa
Modul pružnosti ve smyku	ISO 527	1200	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	190	MPa
Norma pro Tvrdost podle Brinella		H961/30	
Izod - vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 180/1A	10,8	KJ/m ²
Charpy - vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 179/1eA	11	KJ/m ²
Max. teplota krátkodobá		210	°C
Max. teplota dlouhodobá		140	°C
Smrštění ve směru toku		0,2401	%
Smrštění v příčném směru toku		1,798	%
Maximální smyková rychlost		50 000	1/s

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrhy 3D formy byly vypracovány v programu CATIA V5 R18 v modulu Mold Tooling Design, který obsahuje základní normalizované součásti. Na normálie firmy HASCO byl použit HASCO DAKO Modul. Použitím normálií se zrychlí a zlevní výroba konečné formy.

Výrobek byl zadán v plošném modeláři, díky němuž byly vytvořeny snadněji tvarové dutiny a pomocné vložky. Tyto vložky byly zakomponovány do formy, přidán vhodný horký vtokový systém. Vyhazovače byly navrženy tak, aby bezpečně vyhodily výrobky.

Je navrženo několik forem, které se liší různými variantami chladicím systémem, které se následně analyzovaly. Snahou bylo navrhnout co nejjednodušší formu z hlediska funkčnosti a její ceny.

8.1 Násobnost formy

Násobnost vstřikovací formy je ovlivněna několika faktory, jako je ekonomika výroby, složitost a přesnost výstřiku požadované množství výrobku, velikosti a kapacita vstřikovacího stroje.

U tohoto výrobku rozhoduje kvalita a přesnost, tedy musí být násobnost co nejmenší, tím se zjednoduší konstrukce formy, zmenší se rozdíly v teplotách a tlacích mezi jednotlivými dutinami formy, aby se dosáhlo těchto požadavků. Jednodušší bude slícování tvárníku a tvárnice a pohyblivých částí formy.

Násobnost byla zvolena co nejmenší a to dvojnásobná, kdy při jednom pracovním cyklu vznikne výrobek pro levý i pravý světlomet. Dalším omezením byl požadovaný vstřikovací stroj KRAUSS MAFFEI KM 110–700 C2+ MC3F, na kterém se budou výrobky vstřikovat, kdy velikost rámu neumožňuje vyrobit formu pro více tvarových dutin.

Tab. 10. Základní údaje o vstřikovacím stroji Krauss Maffei 110-700 C2+ MC3F

Uzavírací síla	1100 kN
Minimální zdvih stroje	300 mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	(470 x 470) mm
Maximální velikost formy	(745 x 770) mm
Objem vstřikovacího stroje	305 cm ³
Vstřikovací tlak	2336 bar
Průměr šneku	45 mm



Obr. 35 Vstřikovací stroj Krauss Maffei KM 110-700 C2+ MC3F

8.2 Odvzdušnění forem

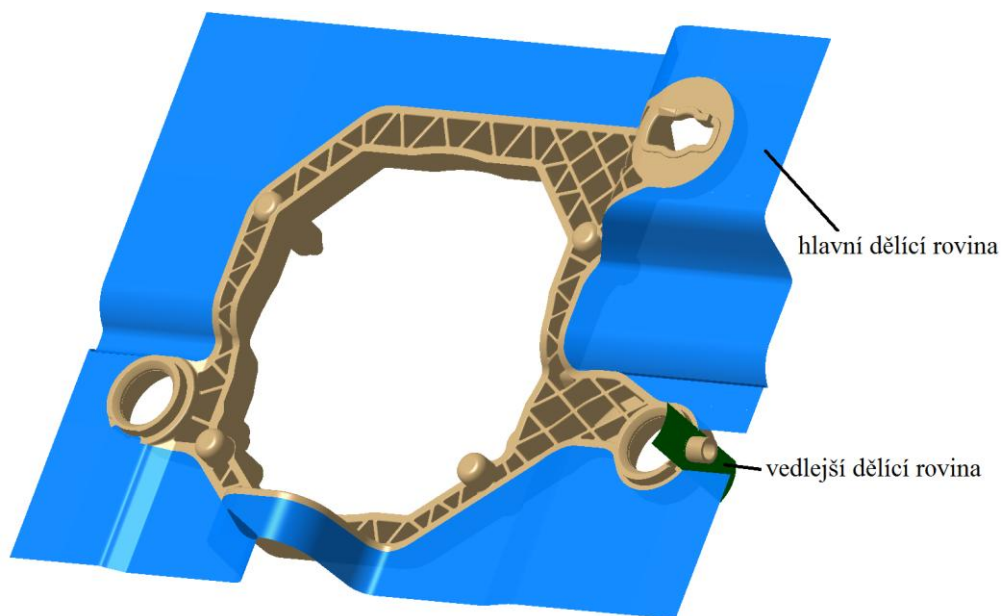
Při plnění dutiny formy taveninou dochází ke stlačení vzduchu ve formě čelem taveniny. Tento vzduch se při zvyšování tlaku ohřívá na teplotu, při které může degradovat. Výsledkem vznikají optické vady na výstřiku v podobě spálených míst na povrchu nebo může dojít k snížení mechanických vlastností. Musí se tedy zajistit únik vzduchu z dutiny formy.

V případě navržené vstřikovací formy se předpokládá, že by měly postačovat vůle v uložení tvárnic a tvárníků, vůle mezi dělicí rovinou, vůle kolem vyhazovačů a pomocných tvarových vložek.

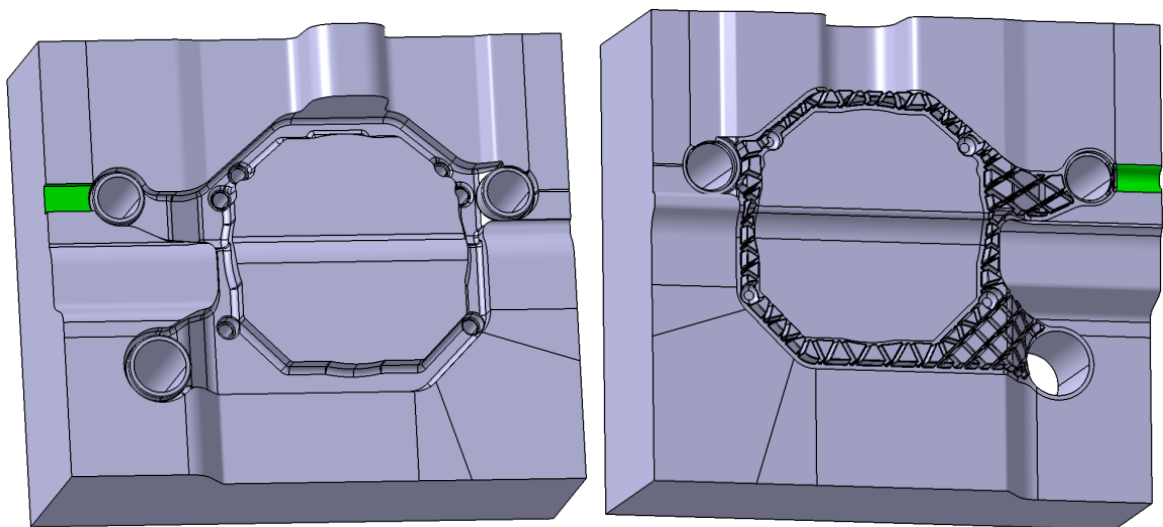
8.3 Zaformování výrobku

Určení dělicích rovin je jednou z důležitých operací při konstrukci formy. Tento výrobek se neobejde pouze s jednou hlavní dělicí rovinou, bude zapotřebí ještě pomocná vedlejší rovina, která odformuje díru na boku jednoho úchytu pomocí šikmého čepu.

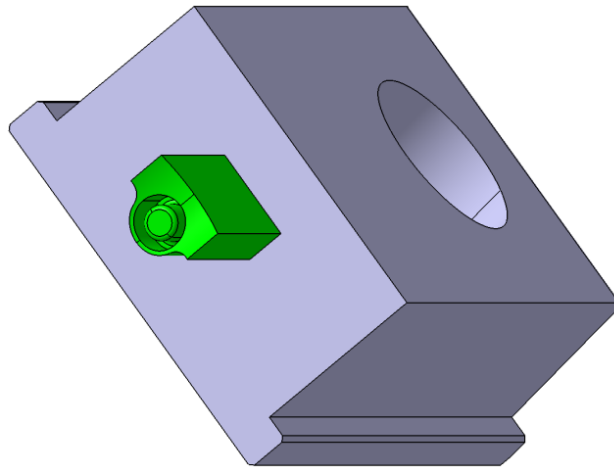
Hlavní dělicí rovina je volena tak, aby výstřik zůstal po otevření formy na levé straně a mohl být lehce vyhozen prostřednictvím vyhazovacích kolíků. Dále je volena tak, aby stopy po vyhazovačích byly uschovány mezi žebry. U tohoto výrobku je poměrně složitá hlavní dělicí rovina, která kopíruje tvar výrobku a nebyla na výrobku vidět, kudy prochází.



Obr. 36 Dělicí roviny

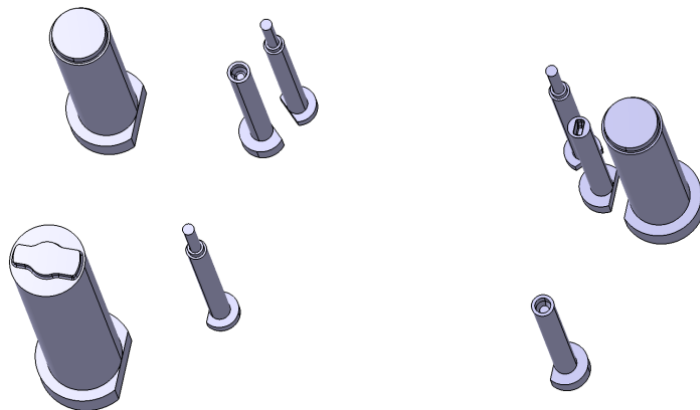


Obr. 37 Tvárnice a tvárník

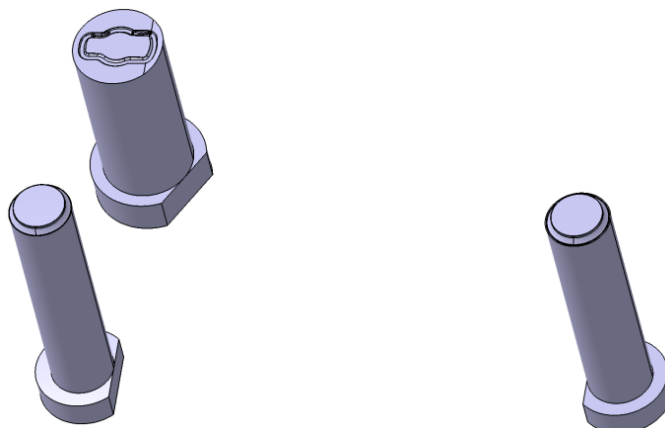


Obr. 38 Posuvná čelist

Požadavek na formu byl takový, aby části jako jsou díry a některé vystouplé části výstřiku byly formovány pomocnými tvarovými vložkami, které by se mohly jednoduše vyměnit či upravit v závislosti, jak se bude vyrobený výrobek smršťovat a tím tuto deformaci redukovat. Při smršťování se budou díry přibližovat k sobě, následně při montáži, kdy bude montován s kovovými díly, by se nemuselo podařit smontovat je dohromady.



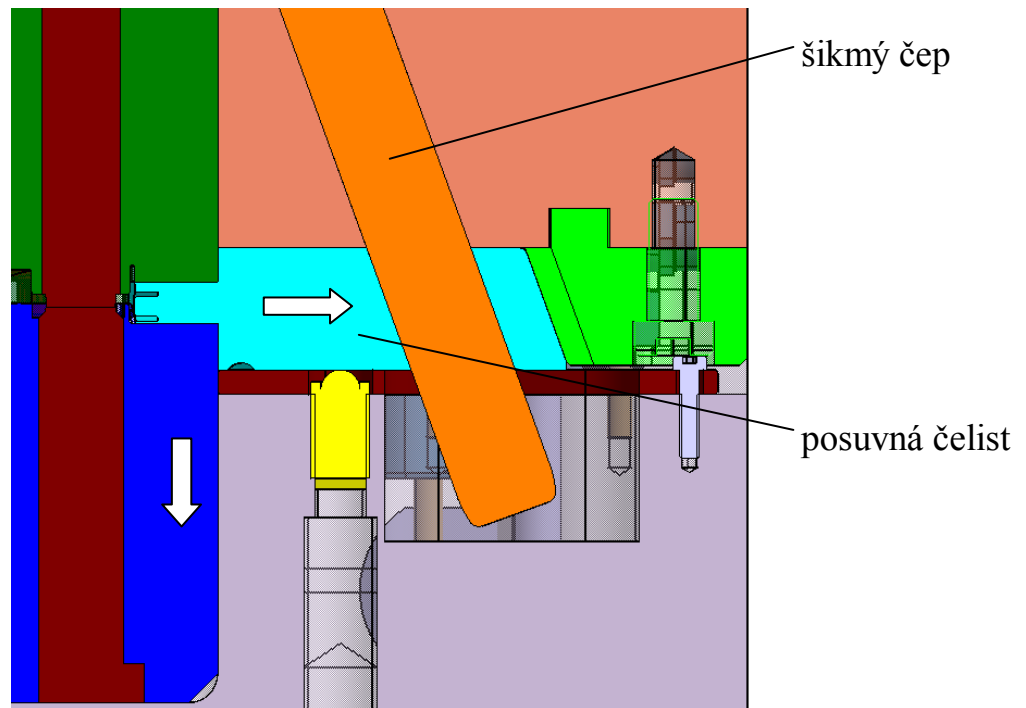
Obr. 39 Výměnné vložky pro tvárnice



Obr. 40 Výměnné vložky pro tvárník

8.4 Odformování boční díry

Výrobek obsahuje jednu boční díru na úchyty, která se nedá odformovat klasickým způsobem, když se forma otevírá. Bude se muset na tuto díru použít šikmých kolíků, které ovládají posuvné čelisti. Při otevírání se bude posuvná čelist pohybovat v radiálním směru vůči ose formy a tím se docílí odformování díry.



Obr. 41 Odformování boční díry

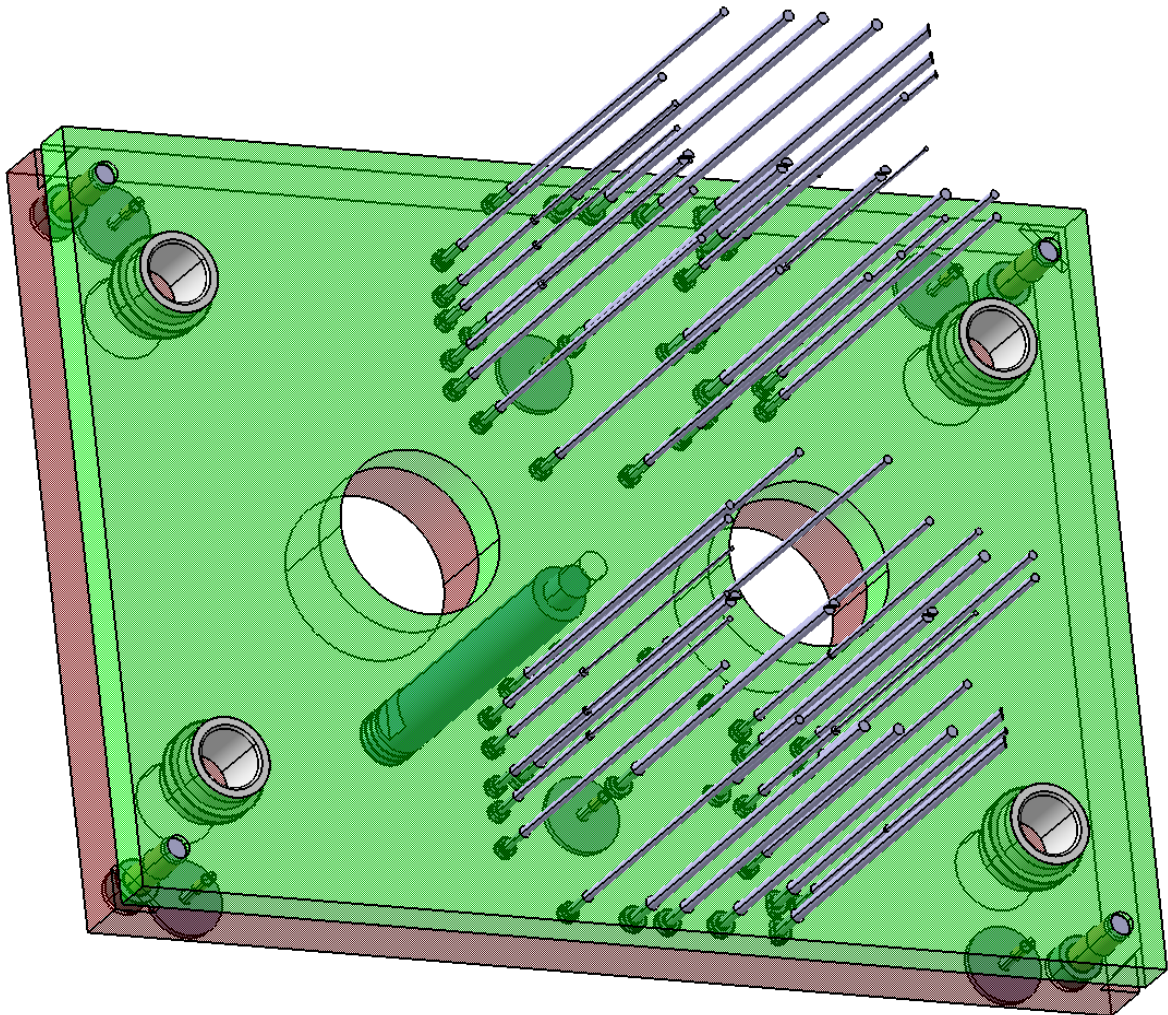
8.5 Vyhazovací systém

V této formě budou pro vyhazování výrobků použity válcové a prizmatické vyhazovače. Válcové vyhazovače jsou o průměrech (3 ÷ 4) mm a prizmatické mají průměr (1,5 ÷ 2,5) mm. Jejich délka je (od 166 do 192) mm v závislosti, o kterou část výstřiku se opírají.

Rozmístění a počet vyhazovačů se liší v závislosti na několika verzích chlazení, kdy chladicí kanály zabraňují umístění vyhazovačů do některých míst. Jejich počet je závislý na složitosti chlazení, čím složitější chlazení, tím je o několik méně vyhazovačů.

Na výstřiku zůstanou stopy po vyhazovačích, ale v tomto případě vadit nebudou, protože budou uschovány ve vnitřní části výrobku, mezi žebry. Vyhazovače jsou uchyceny v opěrné a kotevní vyhazovací desce. Některé vyhazovače jsou uchyceny pomocí tvarového

styku v těchto deskách, aby nedošlo k pootočení a tím poškození výstřiku či dokonce samotné vstřikovací formy. Funkční konce jsou tvarově uzpůsobeny tvarové dutině. Aby došlo ke správnému odformování celého výrobku z tvárníku, musí být zdvih vyhazovačů dostatečně velký. Musí zaručit bezpečné vyhození výstřiku.

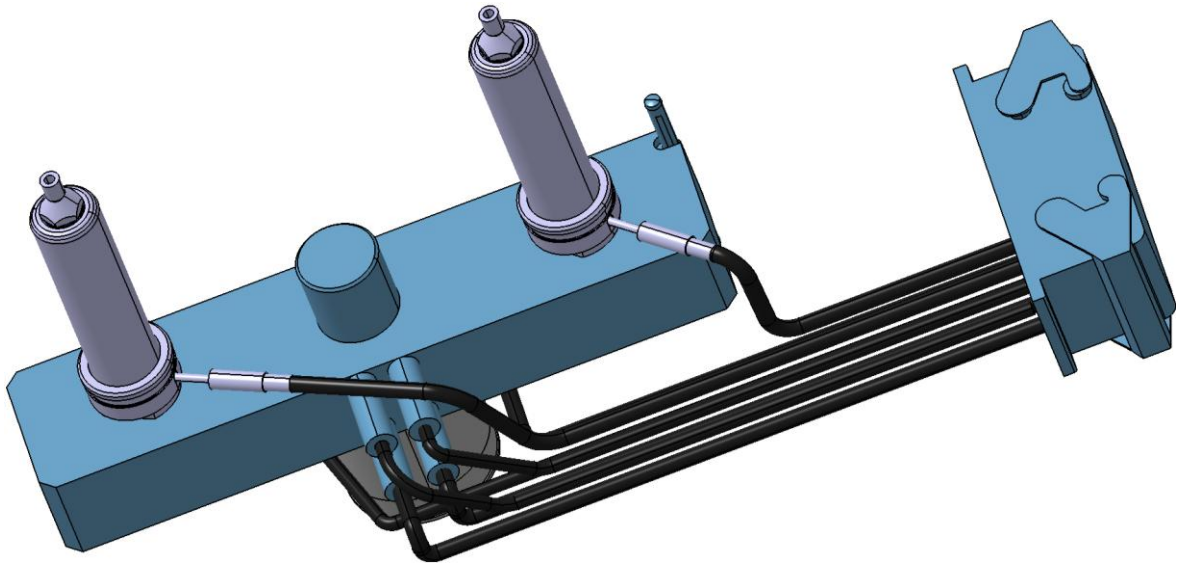


Obr. 42 Vyhazovací systém

8.6 Vtokový systém

Vtokový systém zajišťuje dopravu polymeru z vstřikovacího stroje do dutiny formy, která by se nikde neměla zdržovat bez zbytečného ochlazování, aby dobře zatékala v dutině.

Pro tuto formu byl požadavek zkonstruovat formu kombinovanou horkým a studeným vtokovým systémem. Horký vtokový systém zajišťuje snížení spotřeby odpadního materiálu, zkrácení výrobního cyklu a udržování stálé teploty polymeru během toku od stroje. Je od firmy Synventive, která vyrábí kompletní řešení horkých rozvodných systémů.



Obr. 43 Model horkého rozvodného bloku

Studený vtokový systém je tvořen kruhovými kanály zakončené tunelovým vtokem do dutiny formy, který má tu výhodu, že při otevírání formy se oddělí výrobek od studeného vtokového systému, tím odpadá jedna pracovní operace a dojde k úspoře času. Tato soustava je tvořena kanály v tvarových vložkách v prvé i levé části formy. Přidržovač vtoku je řešen pomocí třech vyhazovačů upravené do tvaru „Z“ u jednoho výstřiku, který zajistí přidržení studeného systému na levé straně formy.



Obr. 44 Vymodelovaný vtokový systém v MoldFlow
- červeně horký vtokový systém,
- zeleně studený vtokový systém

Průměr studených rozvodných kanálů byl vypočítán pomocí knihy [5], podle vztahu

$$D = d \cdot m_k \cdot p \cdot g = 7 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,2 = 6,72 \Rightarrow \underline{7\text{mm}}$$

kde je: d - základní průměr rozváděcího kanálu v závislosti na objemu výstřiku, kde byl uvažován poloviční objem výrobku pro jeden rozvodný kanál ($d = 7 \text{ mm}$),

m_k - korekční faktor vlastnosti plastu ($m_k = 0,8$),

p - korekční faktor délky rozváděcího kanálu ($p = 1$),

g - korekční faktor obsahu plniva v plastu ($g = 1,2$).

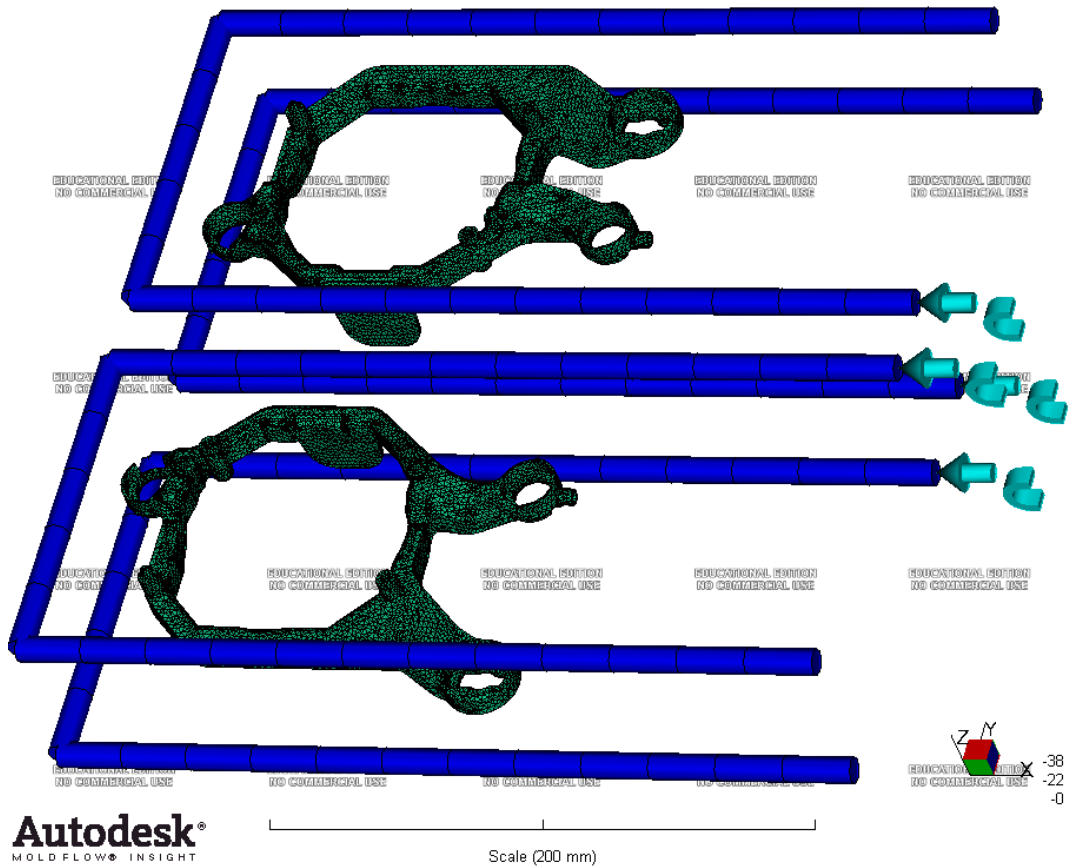
8.7 Temperace formy

Pro temperaci byla vybrána voda, protože má vysoký chladicí účinek, je levná, ekologická na rozdíl od oleje. Při temperaci se nebude dosahovat bodu varu, a tedy není ani nutné používat olej. Každá tvarová vložka má vlastní temperační okruh. Přechod mezi tvarovými deskami a tvarovými vložkami je utěsněn pomocí O-kroužků. Jednotlivé vrtané kanály jsou podle potřeby utěsněny pomocí uzavíracími šrouby nebo uzavíracími zátkami. Vstupy a výstupy do temperačních kanálů mají přípojovacími nátrubky pro napojení hadic. Kanály mají průměr 10 mm, jenom u verze chlazení 3 je u tvárnic použit průměr 8 mm, z důvodu lepší možnosti propletení mezi tvarovou dutinou, vyhazovači a výměnnými vložkami.

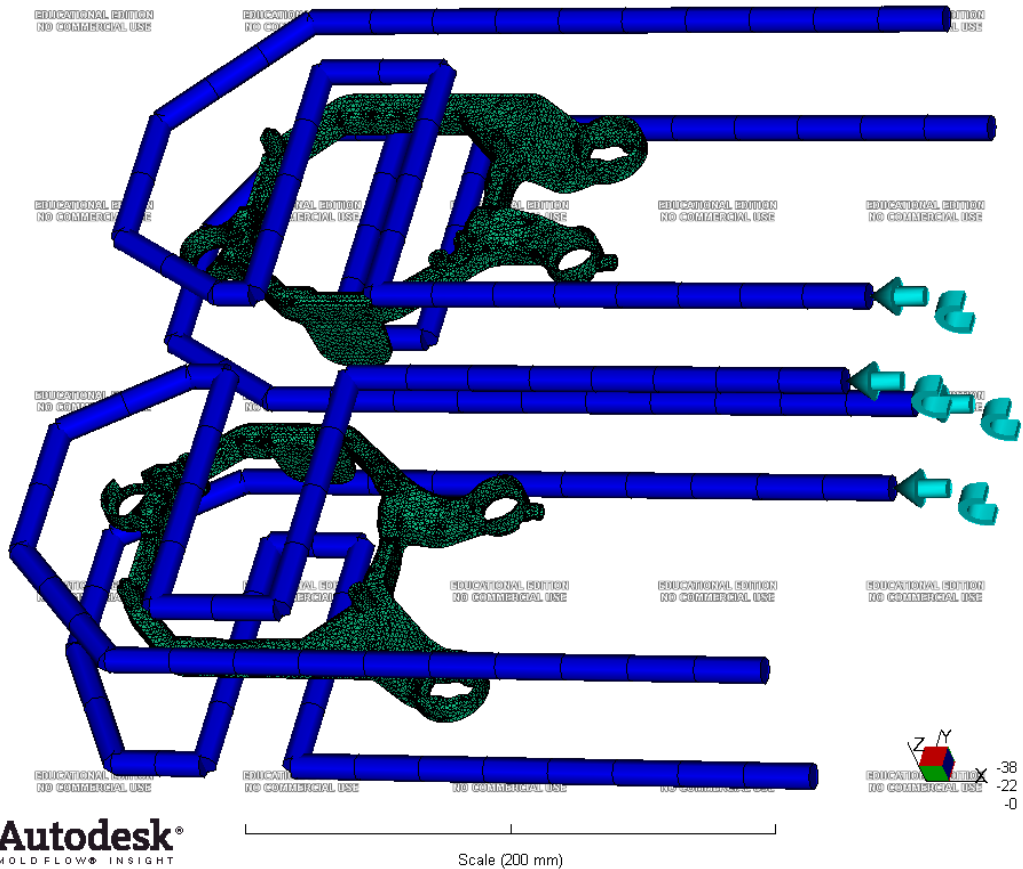
Chlazení 1 je jednoduchá verze pro porovnání, jak může takové chlazení ovlivnit dobu celkového vstřikovacího cyklu.

Chlazení 2 je složitější verze, kde kanály zčásti kopírují tvar výrobku.

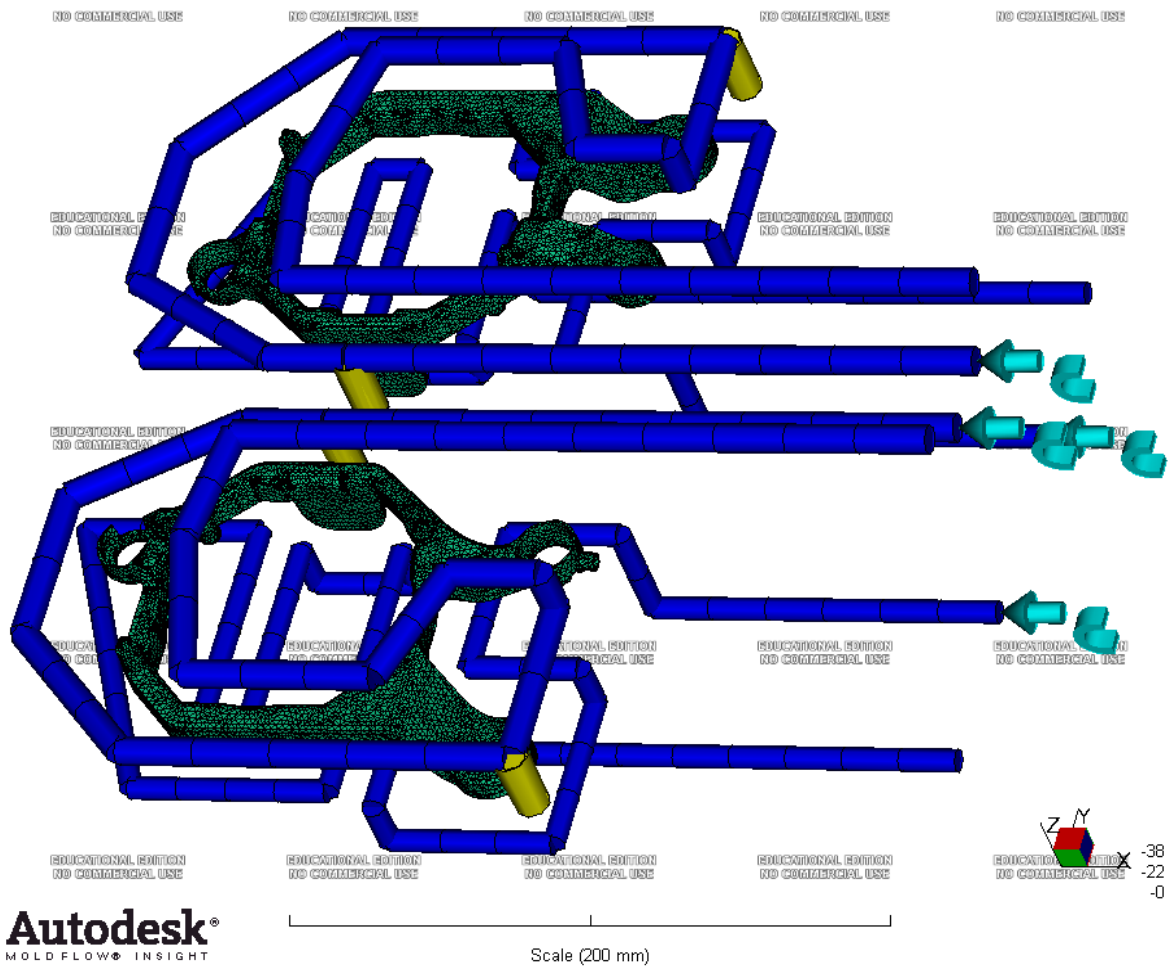
Chlazení 3 je velice složitá vícepatrová verze, u níž je navíc použito přepážek pro chlazení vzdálenějších částí tvárnic od chladících kanálů. Tím se docílí lepšího tepelného rozložení a zkrácení cyklu.



Obr. 45 Chlazení 1 se vstupy

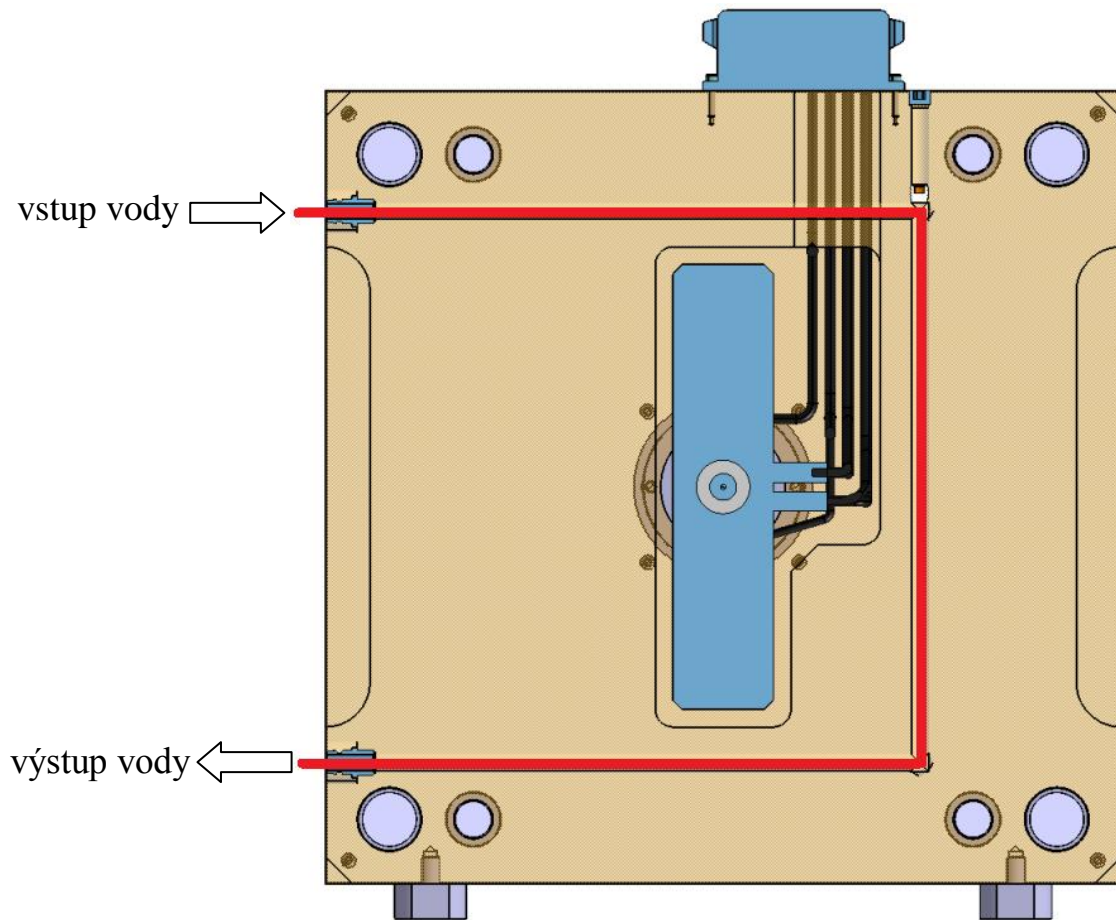


Obr. 46 Chlazení 2 se vstupy



Obr. 47 Chlazení 3 se vstupy
- žlutou barvou jsou označeny přepážky

Tvarové desky a podpůrná deska, v níž je uložen horký vtokový systém, mají ještě samostatné temperační okruhy pro udržování správné teploty těchto desek. Tyto okruhy ale nebudou uvažovány pro analýzy, protože jsou příliš daleko od dutiny formy a tak neovlivní samotné ochlazování výrobků. Průměry kanálů jsou 10 mm a jsou u všech desek stejné.



Obr. 48 Chladicí okruh v podpůrné desce

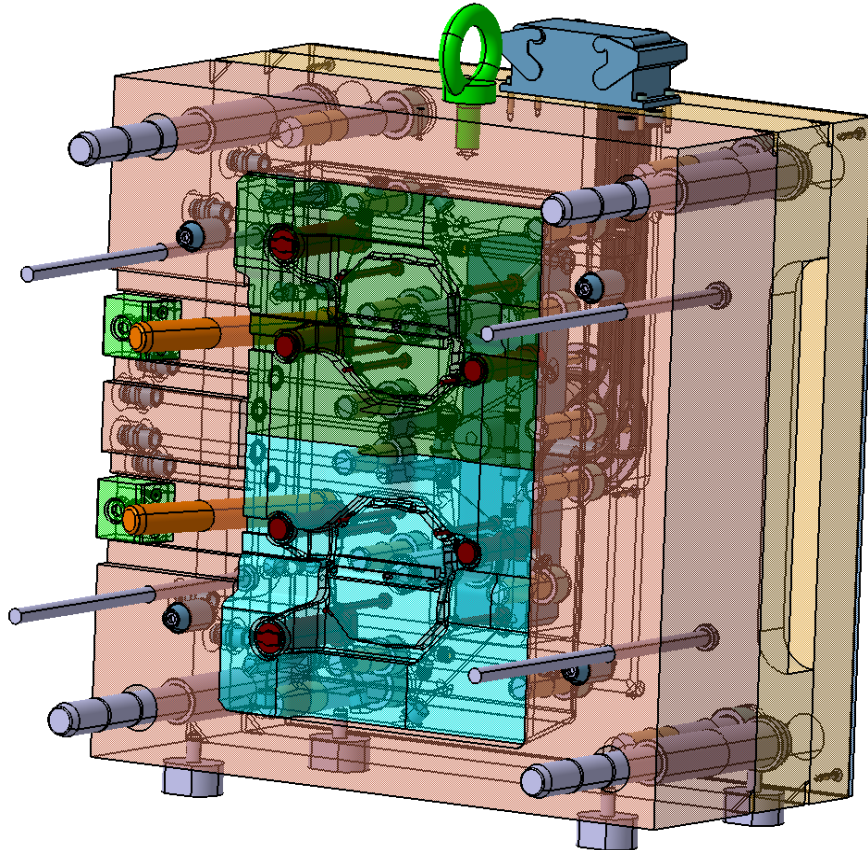
8.8 Bezpečnostní prvky formy

Pro potenciální situaci, že vyhazovací systém nezajede do výchozí polohy, jsou zde bezpečnostní kolíky. Tyto kolíky v případě poruchy části stroje řídicí vysouvání a zasouvání vyhazovačů, zabrání poškození tvarové dutiny od vyhazovačů a ušetří nákladnou opravou. Jsou umístěny v pravé části formy a při zavírání formy posunou vyhazovací desky do výchozí polohy. Můžeme je vidět na Obr. 49.

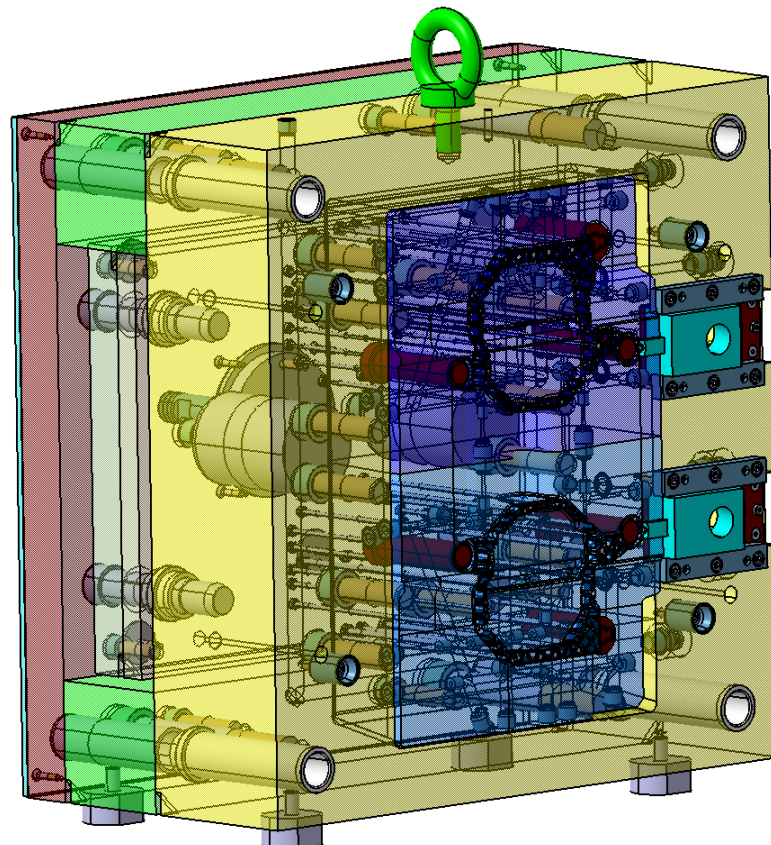
Další bezpečnostní prvek jsou distanční sloupky (viz. Obr. 50), které zabraňují případnému průhybu levé tvarové desky. Jsou přišroubovány k upínací desce, aby na ní zůstali při demontáži formy.

Každá deska má částečně obrobený roh pro případ, že se vstříkovací forma bude rozebírat. Prostřednictvím těchto vybrání s použitím páčidla to půjde jednodušeji.

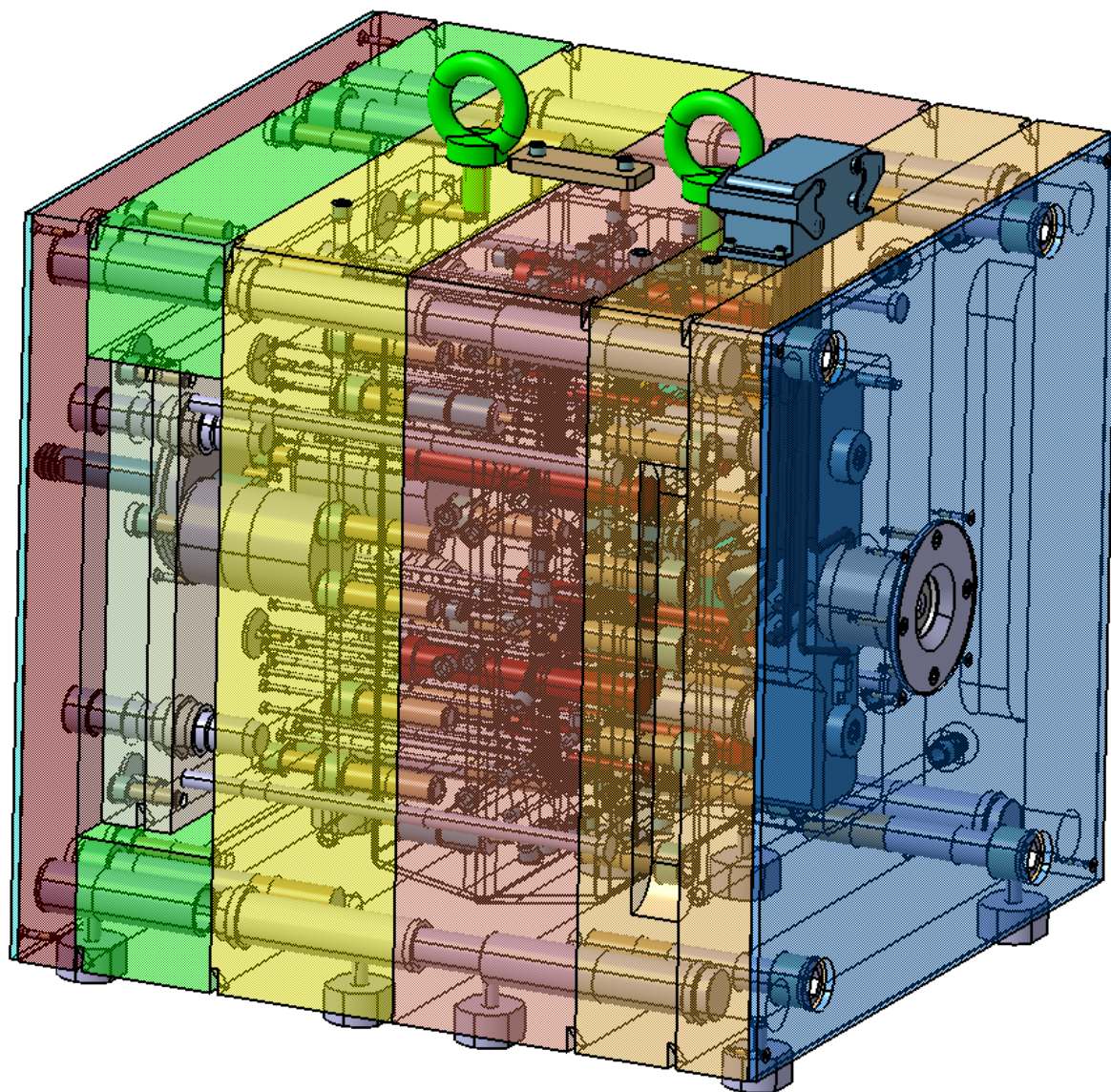
8.9 Sestava



Obr. 49 Pravá (pevná) strana formy



Obr. 50 Levá strana formy



Obr. 51 Sestava formy

9 ANALÝZY

9.1 Výsledky z analýzy plnění

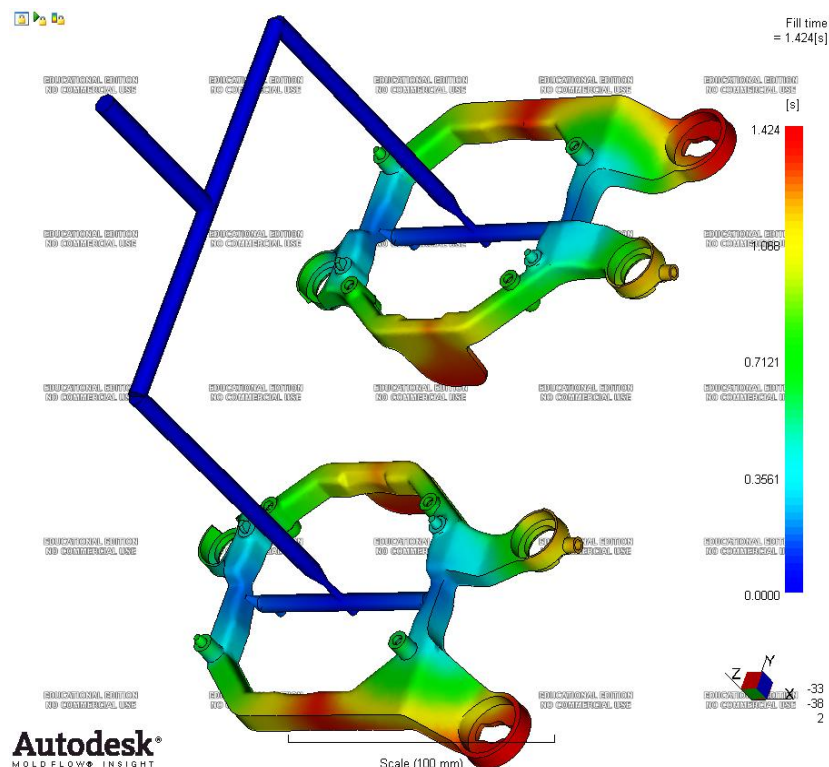
Analýzy plnění předpovídají u termoplastických polymerů tok taveniny ve formě v plnicí a dotlakové fázi. Plnicí analýza počítá tok od umístění vtoku postupně do zaplnění dutiny formy.

Výsledky jednotlivých analýz jsou zobrazeny jedním obrázkem, když vycházejí při stejných hodnotách, nezávisle na variantě chlazení.

9.1.1 Příprava modelu

Model bylo potřeba vysítovat v programu Moldflow, aby byl jednoznačně definován povrch výrobku. Následně bylo zapotřebí nadefinovat vtokové kanály, polymer, procesní podmínky a chladicí systém. Vtokový a chladicí systém byl importován ve formě čar z programu Catia ve formátu igs. Byly jim určeny rozměry, vstupní veličiny a pak vysítovány.

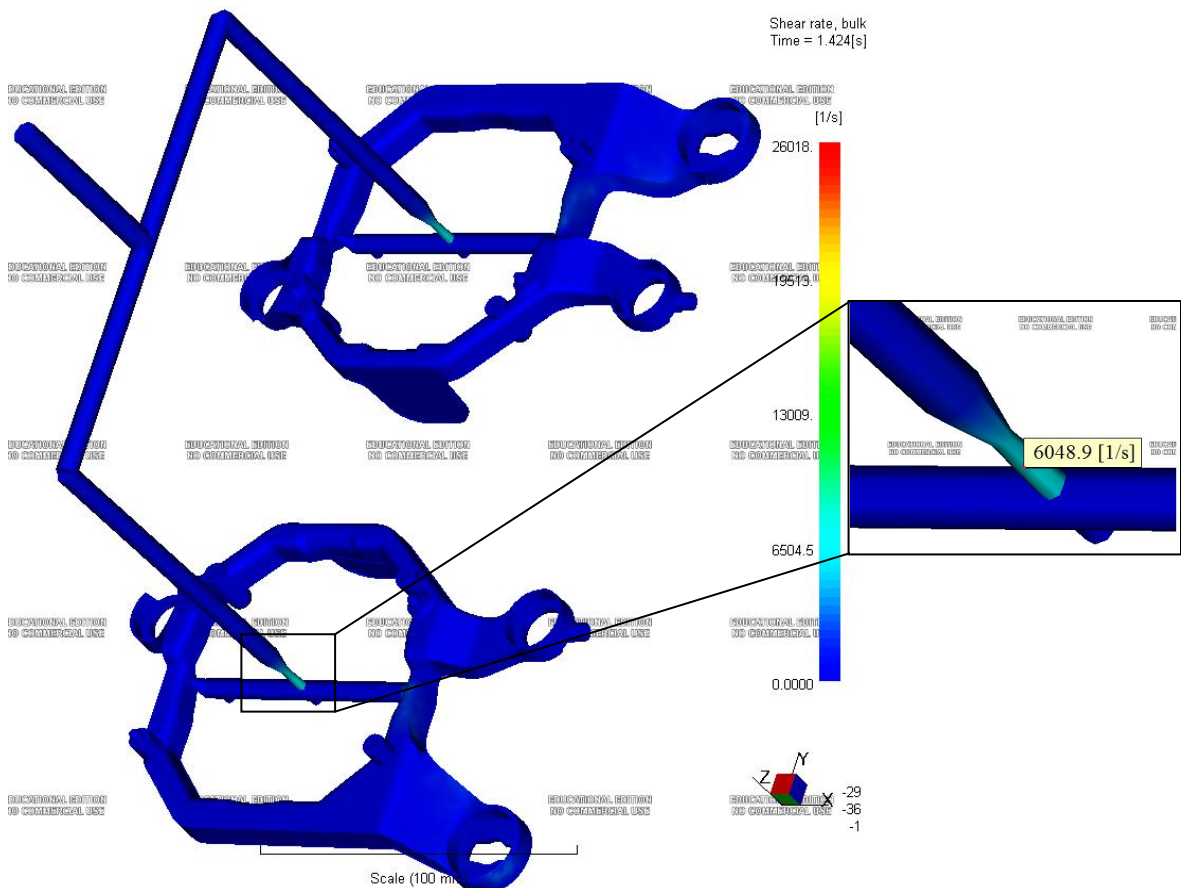
9.1.2 Čas plnění



Obr. 52 Čas plnění

Čas plnění zobrazuje, za jakou dobu se dutina formy naplní. Dále pak zobrazuje, že dutina formy bude zaplňována postupně od vtoků až po kompletní postupné naplnění. To je taky v pořádku a nedochází ke špatnému plnění. Podle barvy se dá sledovat, které části budou zaplněny naposled. Kdyby se v některé části zobrazila šedá barva, značilo by to, že tato část bude nedotečená. To by se dalo odstranit úpravou procesních podmínek, jako například zvýšení teploty polymeru či zvýšení vstřikovacího tlaku v oblasti zpracovatelského okna polymeru. Dále by mohlo docházet k přeplňování, kdyby se jedna dutina naplnila dříve než druhá. To ale v případě navržené vstřikovací formy nedochází, protože má vyvážené vtokové kanály.

9.1.3 Rychlost smykové deformace



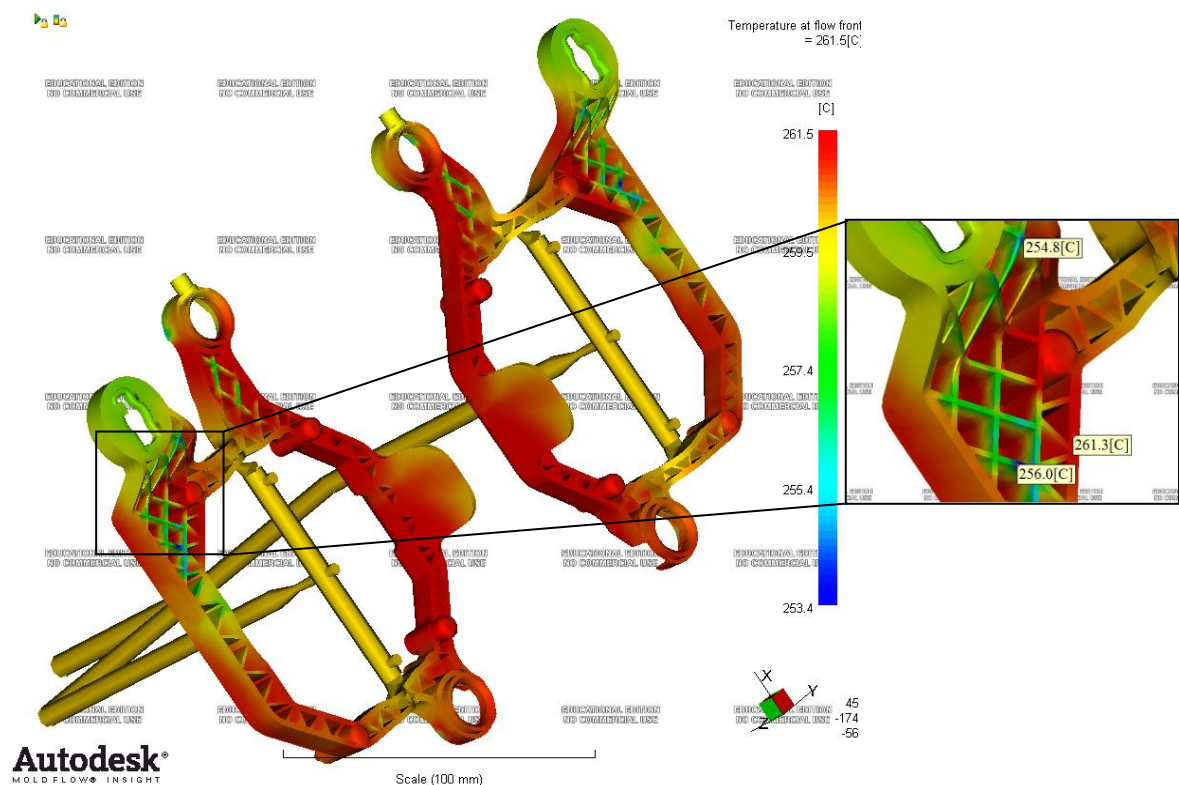
Obr. 53 Rychlost smykové deformace a detail

Rychlost smykové deformace ukazuje, kde nejvíce bude materiál namáhán, kdy se jednotlivé vrstvy taveniny polymeru posouvají po sobě. Při příliš velké smykové deformaci by docházelo k ohřívání taveniny vlivem disipovaného tepla až k případné

degradaci polymeru. Toto namáhání by se dalo snížit výběrem materiálu s nižší viskozitou polymeru nebo rozšíření místa s velkým namáhání.

Největší namáhání bude v místě přechodu z horké trysky do studeného vtokového kanálu. U vybraného materiálu se nesmí překročit hodnota rychlosti smykové deformace 50000 1/s. Tato hodnota nebude překročena a tavenina nebude degradovat.

9.1.4 Teplota čela taveniny

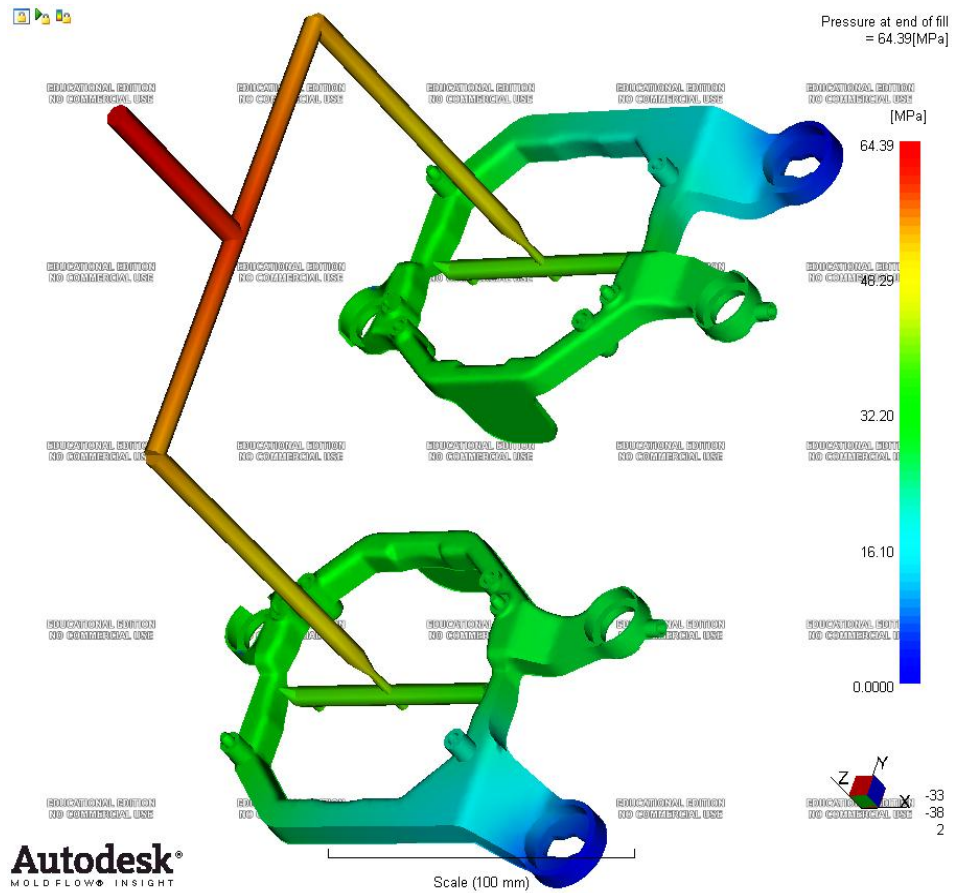


Obr. 54 Teplota čela taveniny a detail

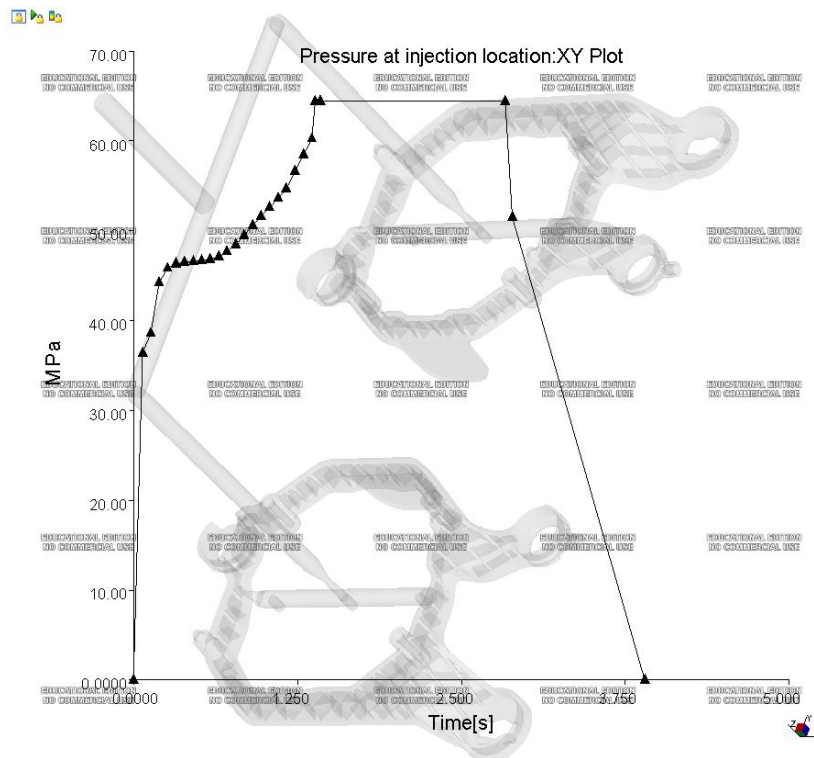
Teplota na čele taveniny je dobrý ukazatel k tomu, aby se dala odhadnout místa s případným výskytem nějakých problémů. Při přítomnosti příliš chladného čela taveniny, by mohlo docházet k zamrznutí taveniny a tím nedotečených míst v dutině formy. Nebo by mohlo docházet k výskytu studených spojů. Při zvýšené teplotě by mohlo docházet k degradaci materiálu či povrchovým vadám. Tyto problémy by se daly redukovat úpravou času vstřikování, teploty formy eventuálně změnou tloušťky stěny.

Tavenina čela taveniny se ohřeje a ochladí pouze trochu při tečení dutinou a nemělo by docházet k žádným k výše řečeným nežádoucím problémům.

9.1.5 Vstřikovací tlak



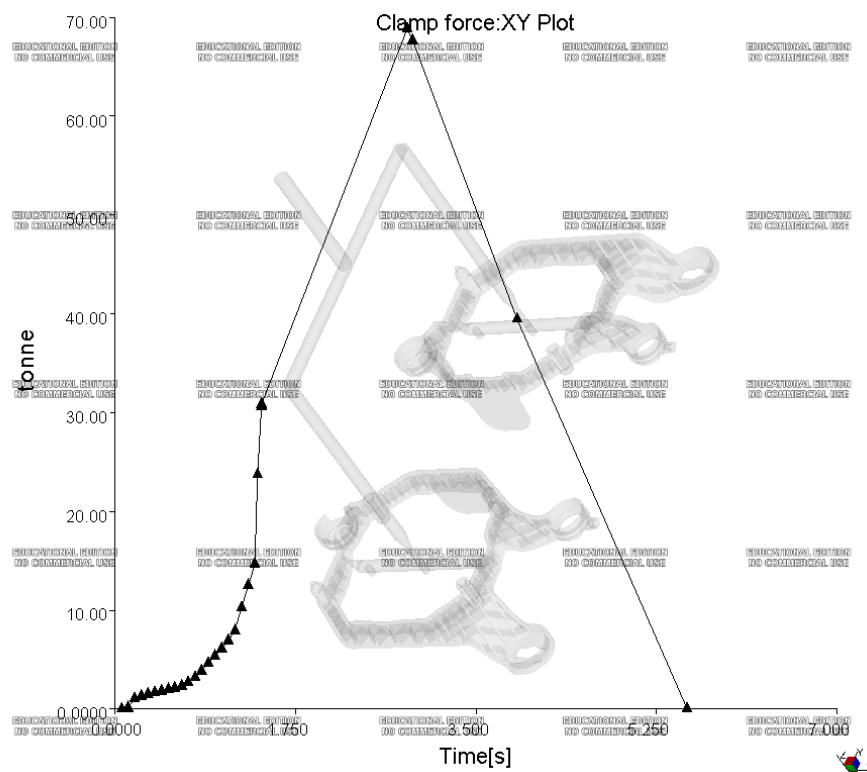
Obr. 55 Tlak na konci plnění



Obr. 56 Tlak v místě vstříku

Na začátku plnění je všude v dutině tlak taveniny nulový. Tlak na určitém místě se začíná zvyšovat teprve tehdy, až čelo taveniny dosáhne daného místa. Dále se zvyšuje s pohybem čela taveniny. Rozdíl tlaků mezi jedním a druhým místem v dutině posouvá polymerní taveninu v průběhu plnění. Tlak při přepnutí z vstřikovacího tlaku na dotlak je stejný jako tlak při konci plnění, takže plnění je postupné bez větších problémů, nejsou zde místa, které by nebyla nedotečena. Je zde zobrazen graf tlaku v místě vtoku, profil má správný tvar pro vstřikování, že by neměli vznikat problém při vstřikování. Na začátku je prudký vzrůst tlaku, pak pozvolné doplňování, na určité hodnotě po delší době setrvání – dotlak, následující až na nulu. Dotlak působí až do času, kdy zatuhne vtokové ústí. Nejvyšší tlak vstoupne až na hodnotu 64,39 MPa. Na velikosti a délce dotlaku závisí rozměry a hmotnost výstřiku.

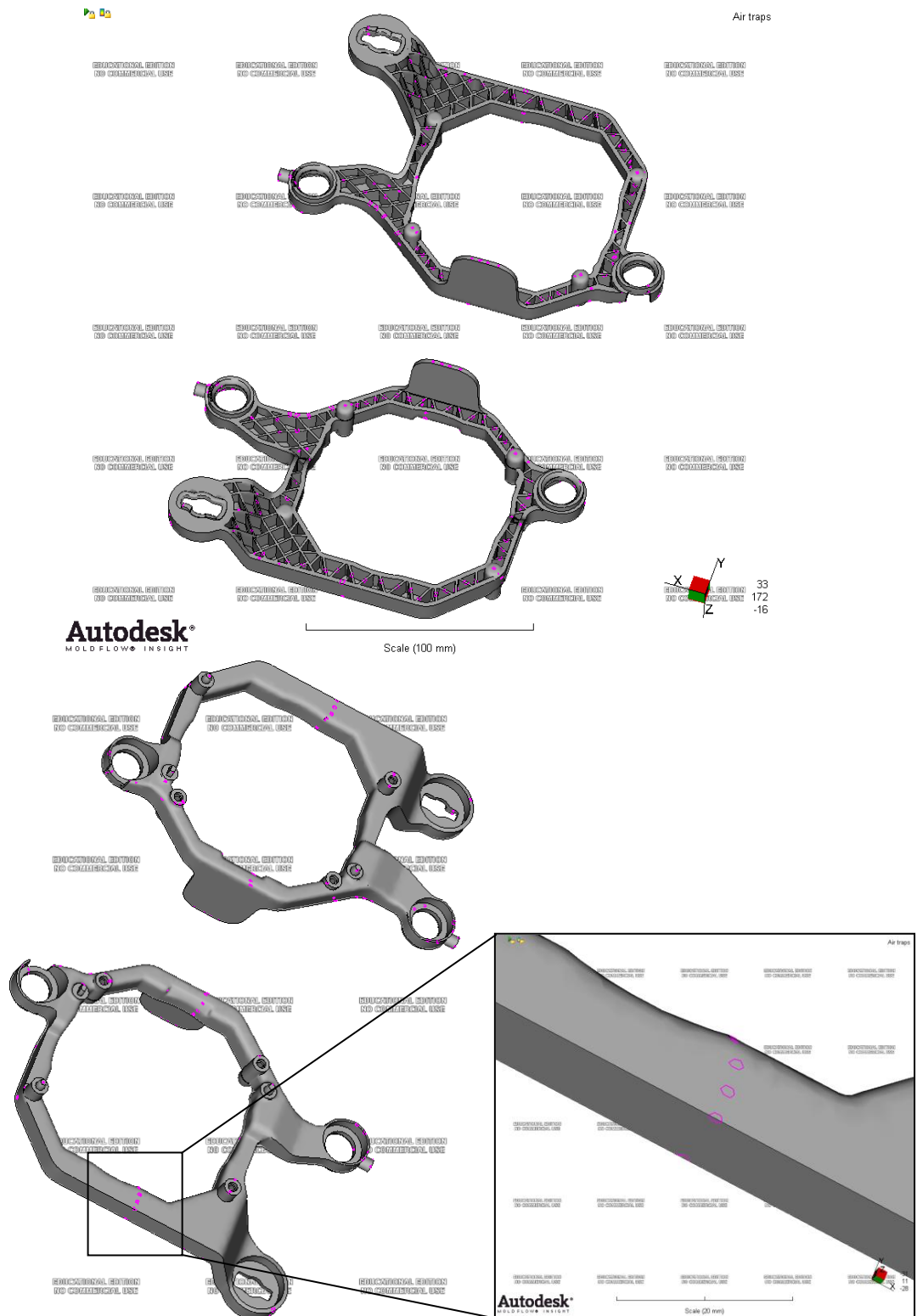
9.1.6 Uzavírací síla



Obr. 57 Uzavírací síla

Uzavírací síla je výslednicí hodnoty rozložení tlaku po celé promítnuté ploše v rovině XY působící na dutiny formy. Je to výsledek síly následkem plnicího tlaku a dotlaku, který se snaží otevřít formu. Tato síla by neměla překročit 80 % z uzavírací síly stroje. Další 20% je jako bezpečnostní rezerva, aby nedošlo k pootevření vstřikovací formy.

Pozvolně stoupá až do bodu, kdy zatuhne vtokové ústí, následně začne klesat až na nulu. Potřebná síla pro udržení uzavřené formy je 689,6 kN v čase 2,83 s. Výskyt problému s pootvřením formy by neměl nastat, protože zadaný stroj bez problému tuto sílu dokáže vygenerovat.

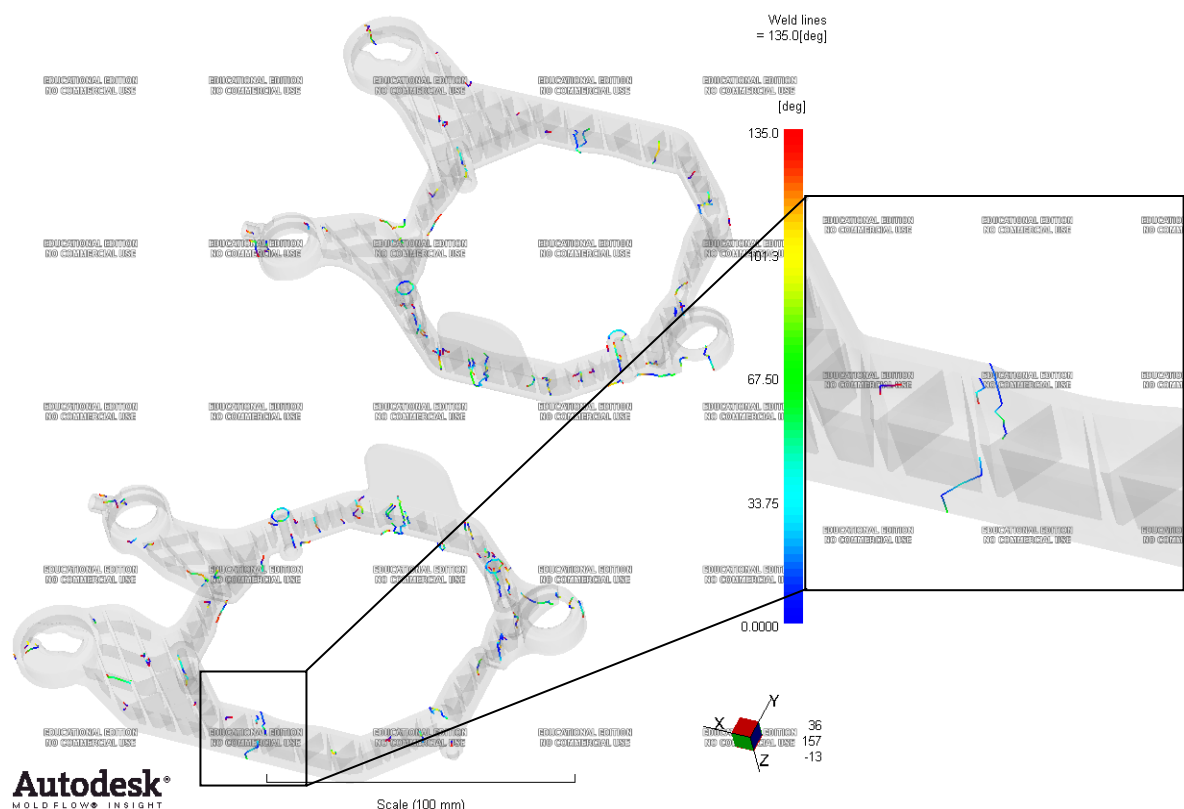


Obr. 58 Vzduchové kapsy a detail

Vzduchové kapsy jsou zobrazeny fialovou barvou v místech, kde se „pravděpodobně“ můžou vyskytnout. Tyto místa zpravidla vznikají tak, kde se setkávají čela taveniny, v malých otvorech, či na místech, kde tavenina končí svůj tok. Při stlačování tohoto vzduchu se zvyšuje jeho teplota až do teploty, kdy může spálit taveninu. Vzniknout tak vady na povrchu.

Většina míst, kde by mohly vznikat vzduchové kapsy, jsou na žebrech z nepohledové strany, odkud by vzduch měl unikat přes dělicí rovinu mezi tvárnici a tvárníkem. Nejspíše by mohly vzniknout bubliny při stoku čel taveniny (viz detail na Obr. 58). Pokud by se při nástřiku prvních zkušebních výstřiků tato vada projevila, musela by se forma ještě dodatečně upravit, například pomocí odvodušňovacích kanálů.

9.1.7 Studené spoje



Obr. 59 Studené spoje a detail

Studené spoje jsou nežádoucí vady, které vznikají při spojení dvou čel taveniny. Vzniká tak vada, která ovlivňuje použitelnost výrobku. U dekorativních výrobků nebo výrobků, které jsou přímo vidět, vzniká pohledová vada. U výrobků funkčních vzniká mechanická vada, kdy snižují jeho možné zatížení. Zrušit studené spoje není vždycky

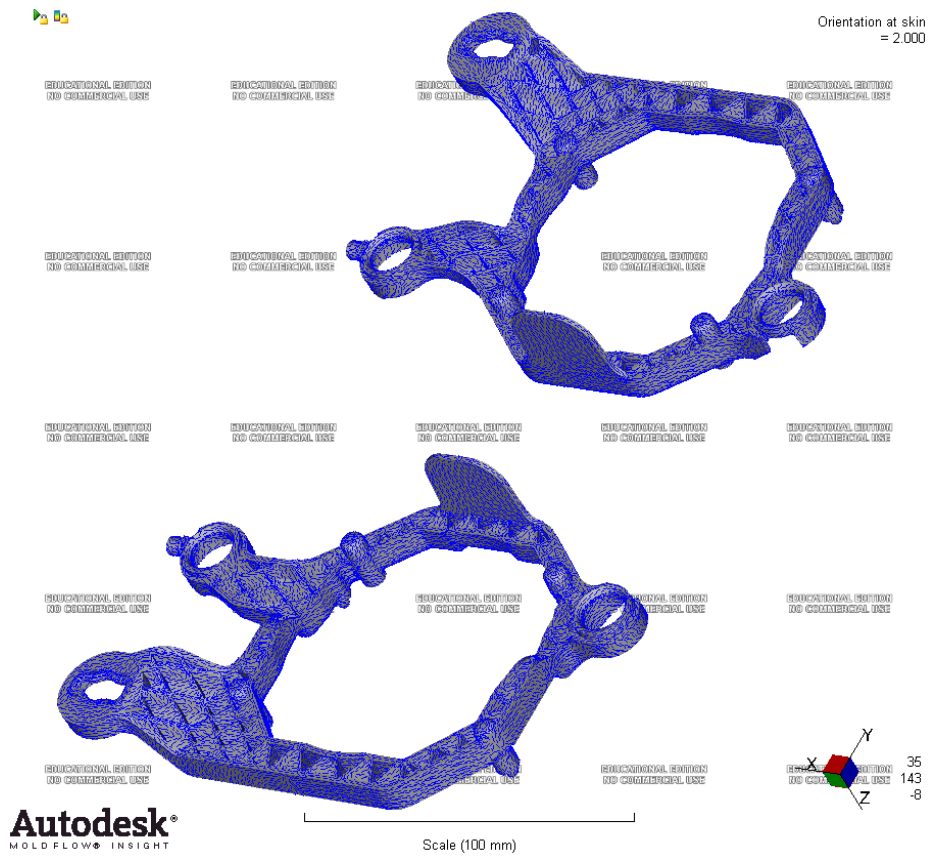
možné. Dají se ale posunout do míst, kde tolik nebudou vadit. Dá se toho dosáhnout přesunutím vtoku do dutiny či změnou tloušťky některých stěn výrobku. Kvalitnější studený spoj se dá zajistit pomocí teploty taveniny a formy, dotlakem nebo délkou vstřikovacího času.

Studené spoje by nemusely v tomto případě vznikat z důvodu, že teplota čela taveniny příliš neochladne a tak se tavenina můžou spojit a difundovat do sebe. Pravděpodobný výskyt spojů může nastat uprostřed výrobku (viz detail na Obr. 59), kde se setkávají čela taveniny ze dvou vtoků. U tohoto výrobku budou studené spoje brány jako mechanická vada, kdy snižují jeho možné zatížení.

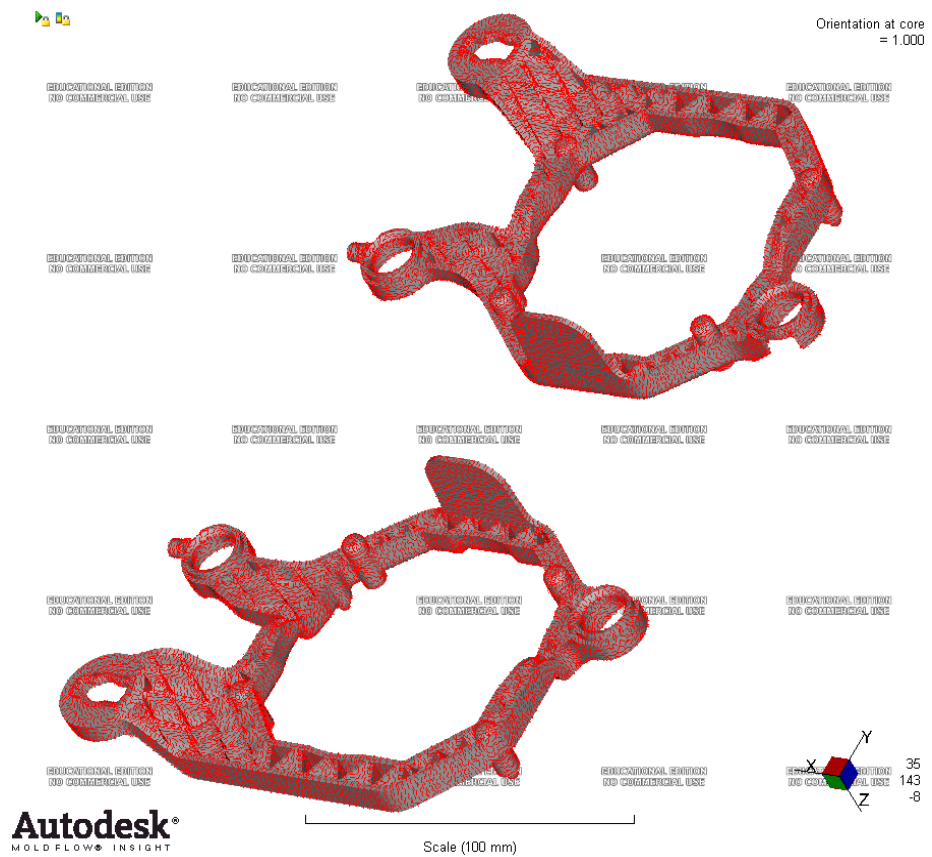
9.1.8 Orientace plniva

Tento výsledek ukazuje, jak se bude orientovat skleněné plnivo na povrchu a uvnitř součásti. Orientace je ovlivňována samotným tokem polymeru, kdy teče v tzv. fontánovým tokem.

Povrchová orientace plniva je dobrá k určení mechanických vlastností součásti, kdy ve směru plniva je větší pevnost v tahu. Pro součásti namáhavé v jednom směru se musí navrhnout vtok tak, aby plnivo bylo natočeno ve směru namáhání. Dále orientace plniva ovlivňuje i smrštění výrobku, kdy ve směru plniva je nižší smrštění než ve směru kolmém ke směru orientace.



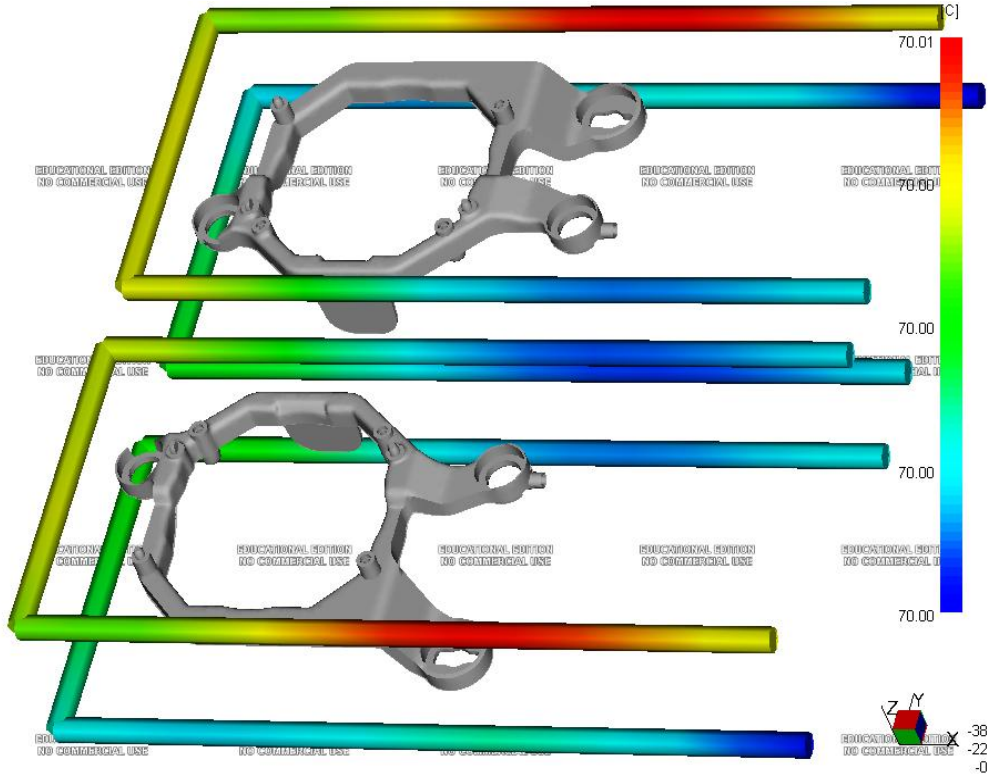
Obr. 60 Orientace plniva na povrchu



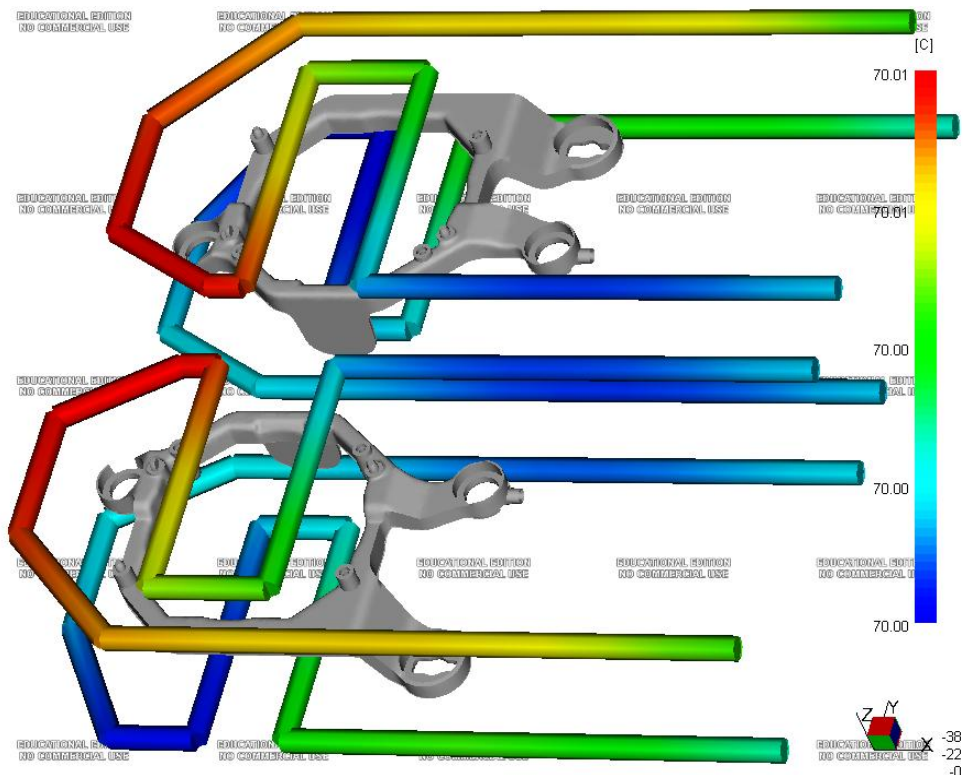
Obr. 61 Orientace plniva v jádře

9.2 Výsledky z analýzy chlazení

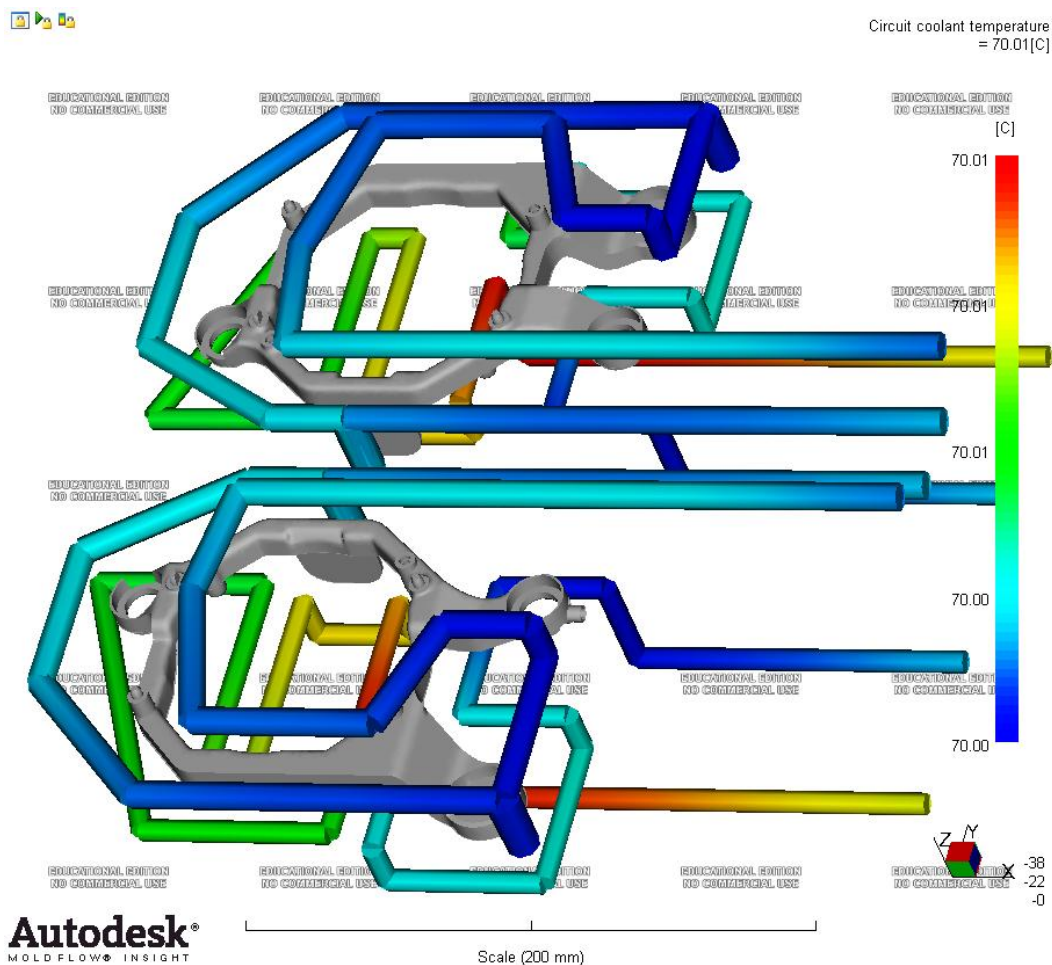
9.2.1 Teplota chladicího okruhu



Obr. 62 Teplota chladicího okruhu 1



Obr. 63 Teplota chladicího okruhu 2

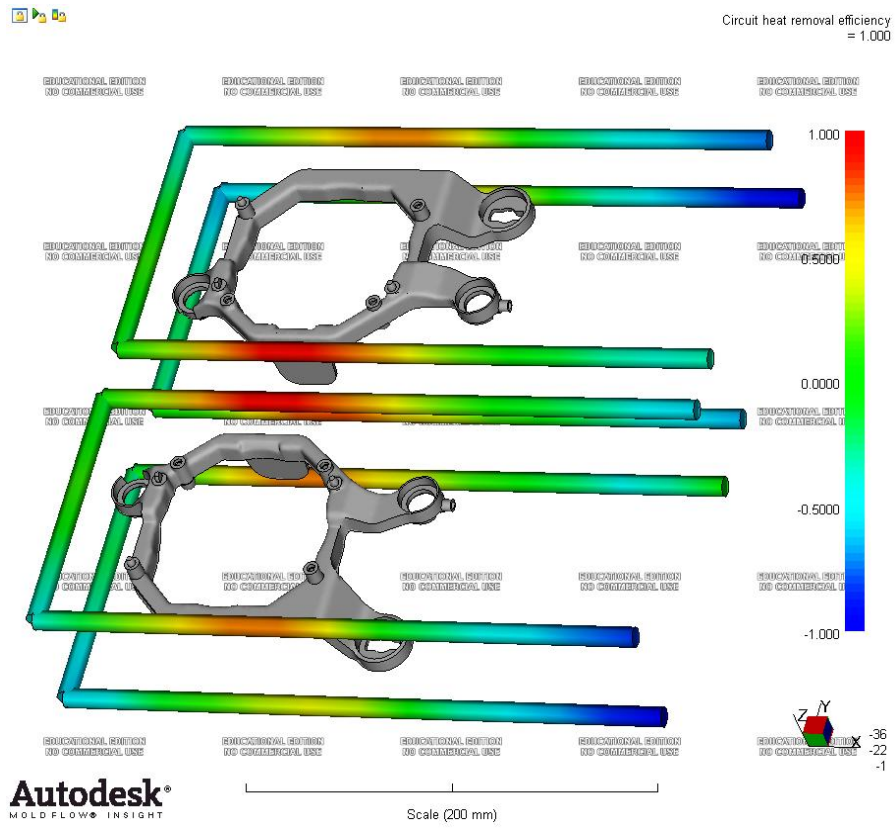


Obr. 64 Teplota chladicího okruhu 3

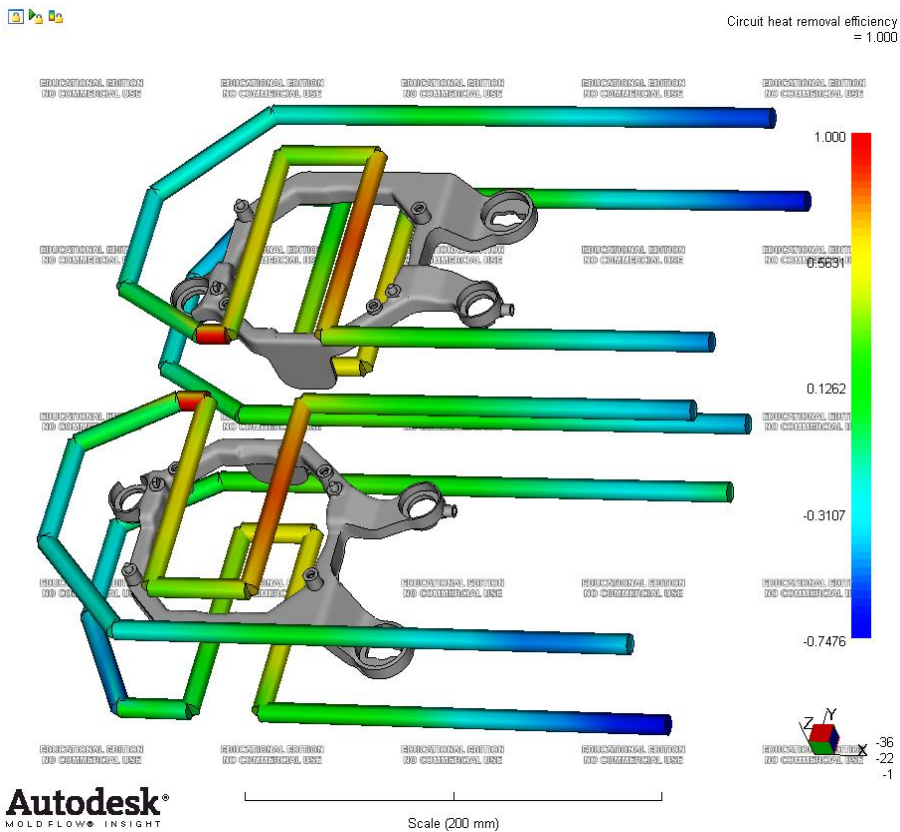
Analýza znázorňuje teplotu chladicí kapaliny uvnitř chladicího okruhu. Rozdíl teploty na vstupu a výstupu by neměl překročit hodnotu 3°C , aby nedocházelo k tomu, že by na výrobku byly různé teploty při chladnutí a tím vznikalo vnitřní pnutí a případné deformaci. Kdyby se tak stalo, že navýšení teploty bude vyšší, muselo by najít místo s největším nárůstem a buď toto místo nějak upravit nebo upravit procesní podmínky.

V jednotlivých variantách chlazení se teplota kapaliny ohřeje nepatrně, takže by nemělo vznikat vnitřní pnutí vlivem různých teplot ve výrobku. To je docíleno velkým průtokem chladicí kapaliny.

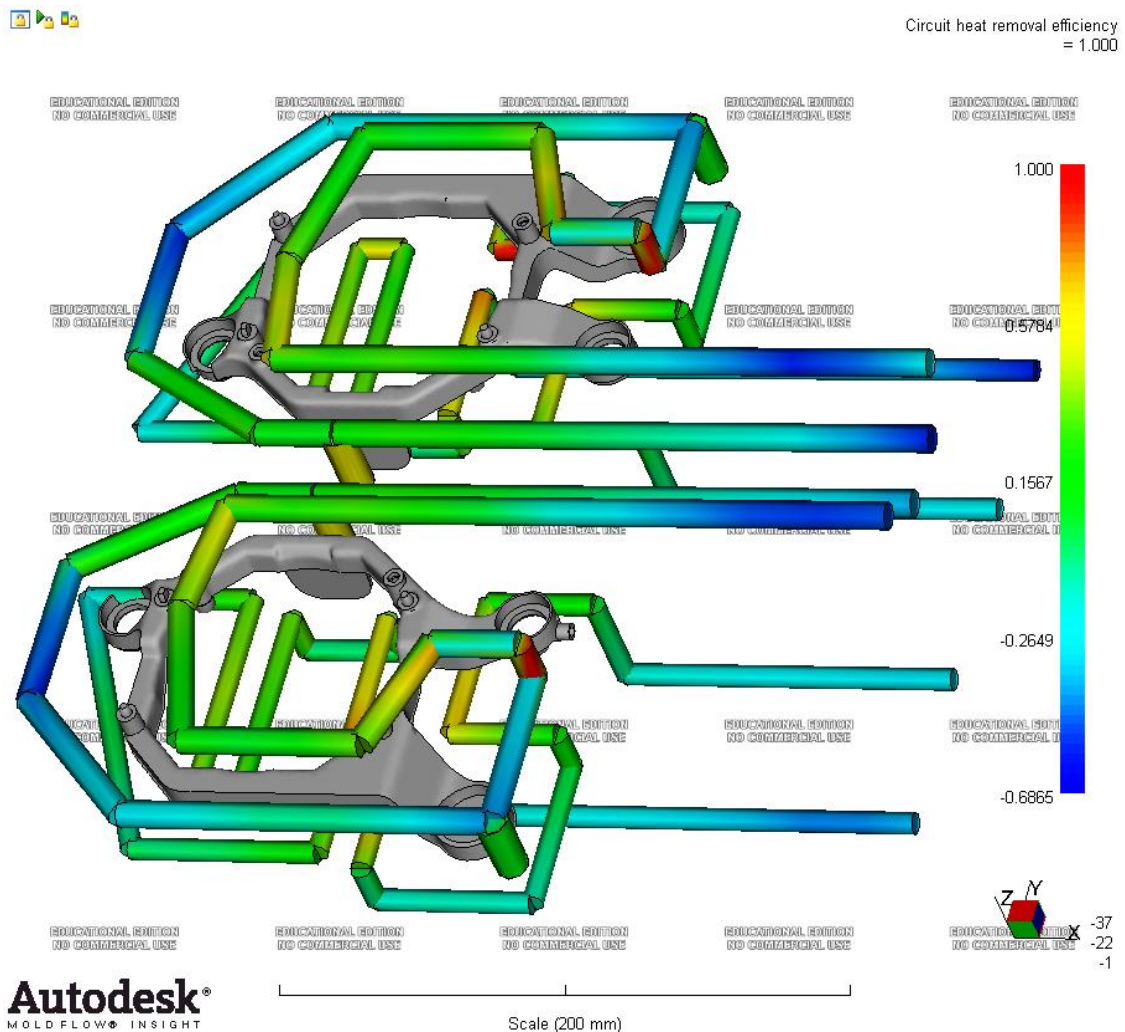
9.2.2 Efektivita odvodu tepla



Obr. 65 Efektivita odvodu tepla, chlazení 1



Obr. 66 Efektivita odvodu tepla, chlazení 2



Obr. 67 Efektivita odvodu tepla, chlazení 3

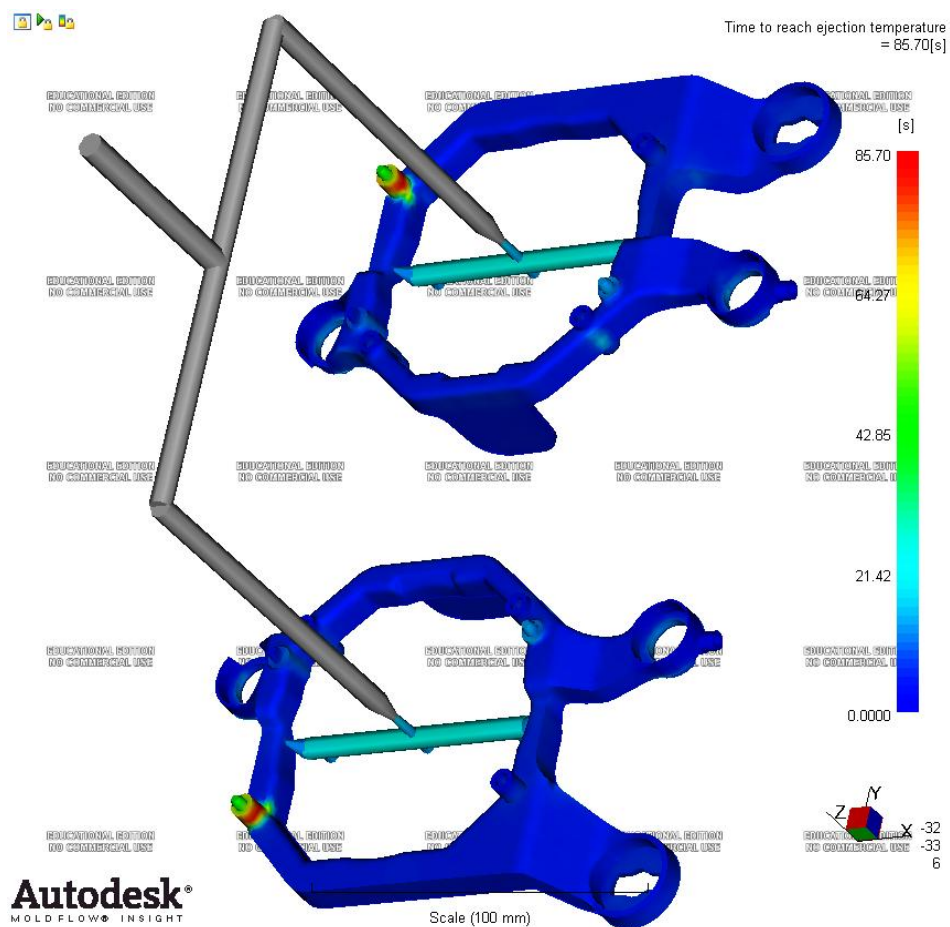
Efektivita odvodu tepla zobrazuje, které části chladicích kanálů odvádějí efektivněji teplo z formy během pracovního cyklu. Toto množství ukazuje relativní zvýšení efektivity v rámci chladicího systému. Část s neúčinnějším odvodem tepla má hodnotu 1, ostatní hodnoty jsou od této části přepočítány. Hodnota 0 zobrazuje žádnou účinnost chlazení a tato část nezpůsobuje žádné ochlazování. V případě, že kdy kanály formu vyhřívají, jsou hodnoty v záporných číslech. Na účinnost chlazení má vliv několik faktorů, jako je vzdálenost kanálů od dutiny formy, Reynoldsovo číslo chladicího okruhu a rozdíl teplot mezi teplotou formy a teplotou chladicího média. Části, které mají záporné hodnoty účinnosti, jsou hodně vzdáleny od výrobku, a tedy slouží pouze jako přívod chladicí kapaliny. Efektivita odvodu tepla je dobrá, protože části uprostřed odvádějí teplo nejefektivněji, kde logicky musí být největší odvod tepla.

9.2.3 Reynoldsovo číslo

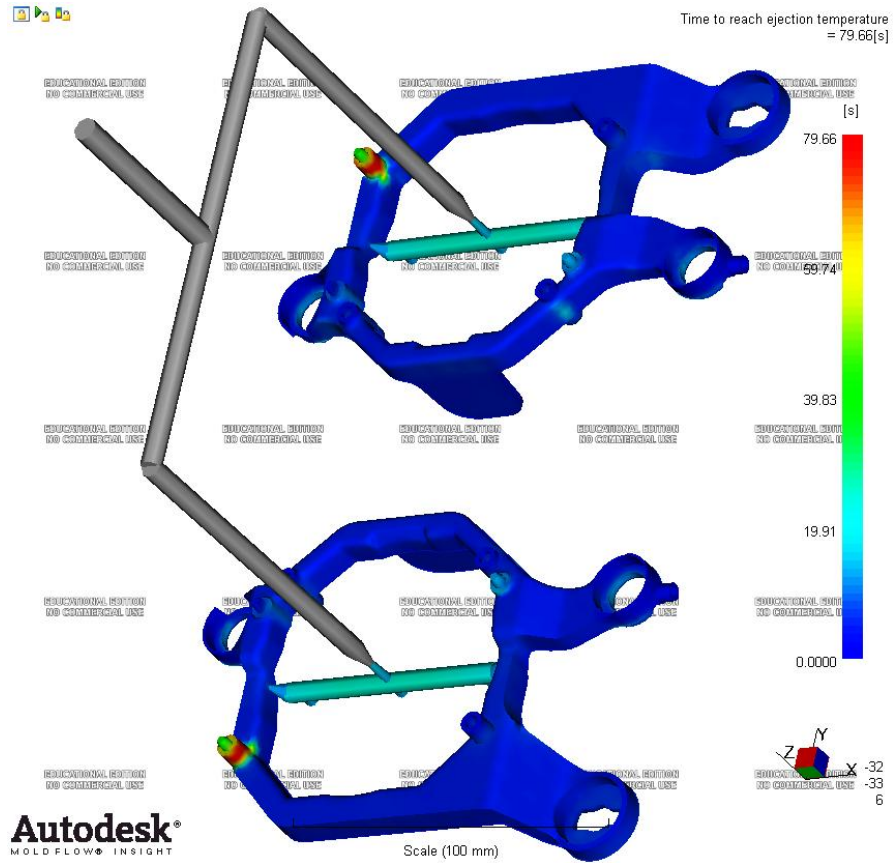
V chladicím okruhu musí být hodnota Reynoldsova čísla větší než 10 000, protože nad touto hodnotou je turbulentní proudění, které pomáhá dobrému chlazení. Turbulentní proudění je závislé na průtoku kapaliny a průměru kanálu, ve kterém teče. Čím vyšší rychlost, tím větší hodnota Reynoldsova čísla. Ve všech kanálech je dosažena mnohonásobně vyšší hodnota Reynoldsova čísla než 10 000 a tak by mělo docházet k dobrému odvodu tepla z formy.

Ve variantě chlazení 3 jsou dvě různé hodnoty Reynoldsova čísla z důvodu, že u tohoto typu chlazení je použito dvou různých průměrů pro chladicí kanály a stejného přírodního průtoku do kanálů. V chladicích kanálech, které mají průměr 10 mm, je hodnota Reynoldsova čísla 209900 a v kanálech o průměru 8 mm, je hodnota Reynoldsova čísla 262400.

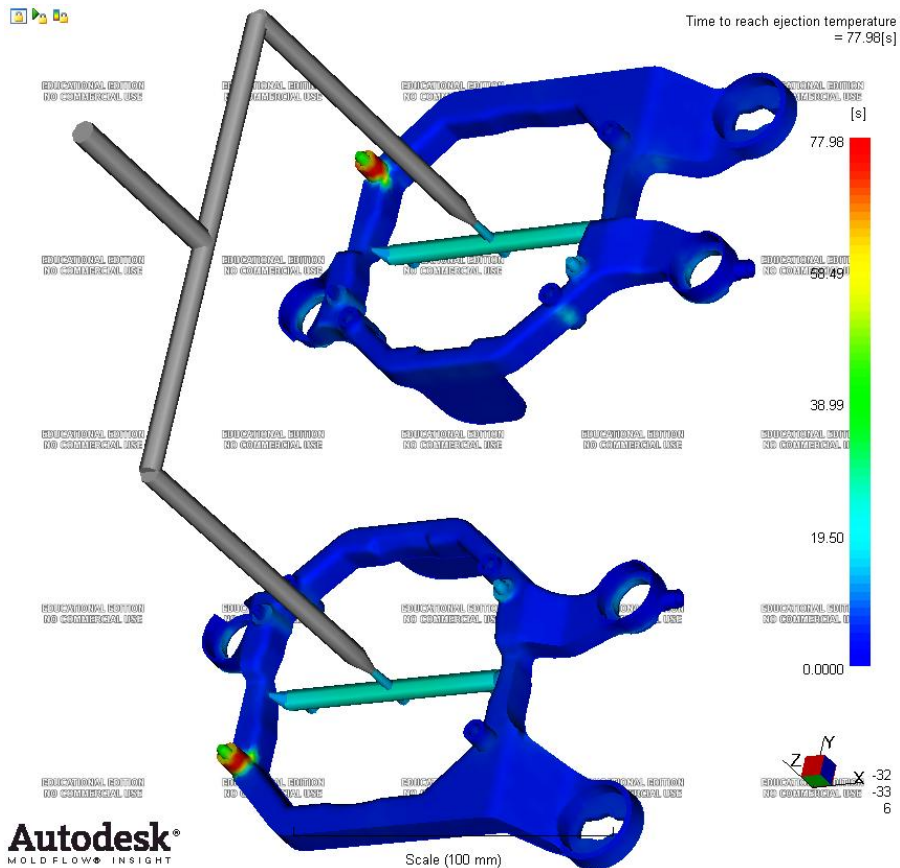
9.2.4 Čas k dosažení vyhazovací teploty



Obr. 68 Čas k dosažení vyhazovací teploty, chlazení 1



Obr. 69 Čas k dosažení vyhazovací teploty, chlazení 2



Obr. 70 Čas k dosažení vyhazovací teploty, chlazení 3

Velice důležitá analýza je čas k dosažení vyhazovací teploty. Kdy zobrazuje čas potřebný k vyhození výrobku, měřený od začátku vstřikování.

Nejdelsí čas pro ochlazení na vyhazovací teplotu je na výstupku, protože je zde docela tlustá stěna a tak by bylo vhodné upravit tuto část výrobku tak, aby zde bylo méně materiálu a tím by se i zkrátil čas na vyhození i spotřeba materiálu. Úpravy se dají provést, pokud neovlivní funkčnost výrobku.

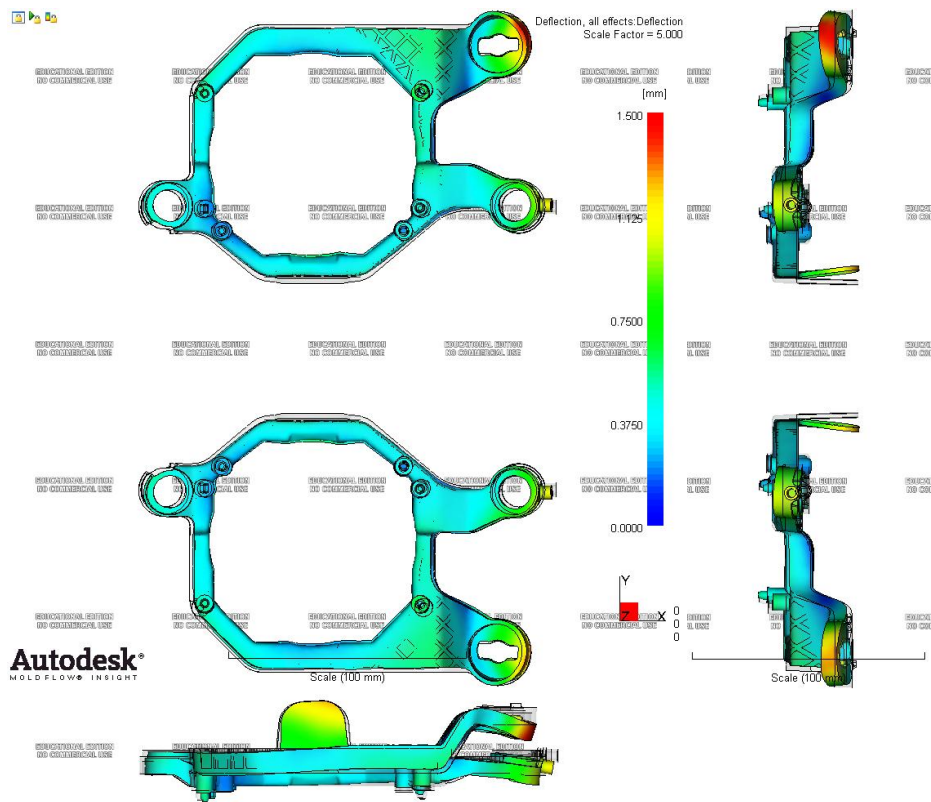
Další možností rychlejšího ochlazení by bylo vložení další přepážky k tomuto výstupku. V chlazení 3 už jsou dvě přepážky a tak by přidáním další přepážky vznikali velké tlakové ztráty v temperačním médiu. Čím vyšší počet přepážek, tím větší tlakové ztráty v temperačním médiu.

Tab. 11. Čas k dosažení vyhazovací teploty

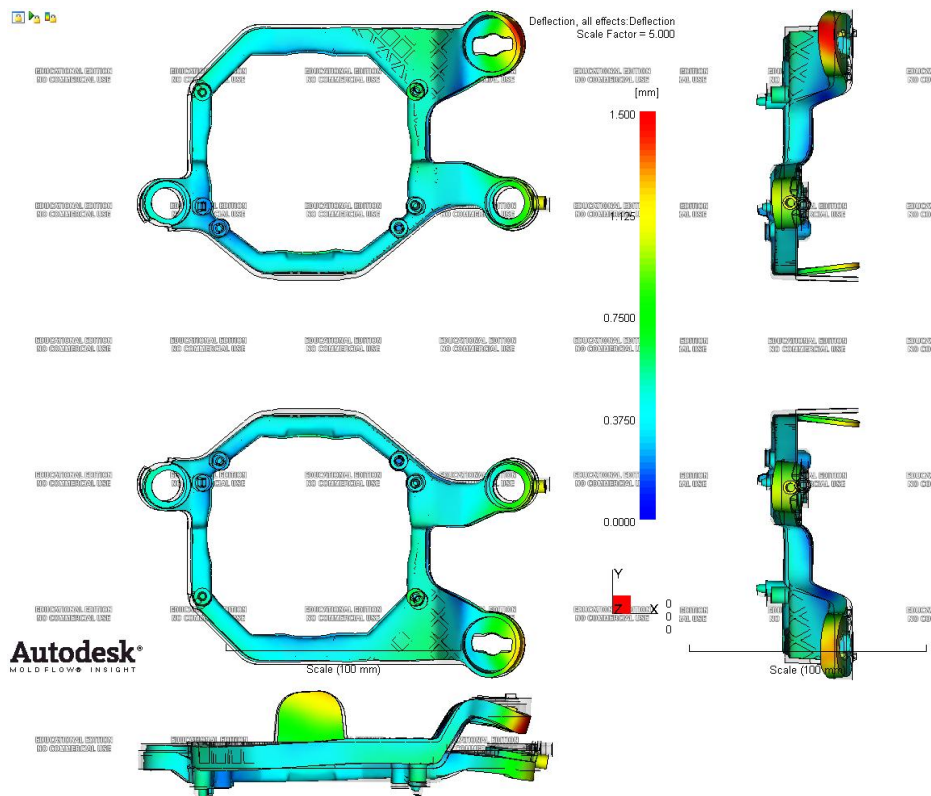
Verze chlazení	Čas k vyhození [s]	Rozdíl [%]
Chlazení 1	85,70	100,00
Chlazení 2	79,66	92,95
Chlazení 3	77,98	90,99

Rozdíl mezi verzí chlazení 1 a 3 je až 9 %, což se velice dobře projeví v ceně výrobku.

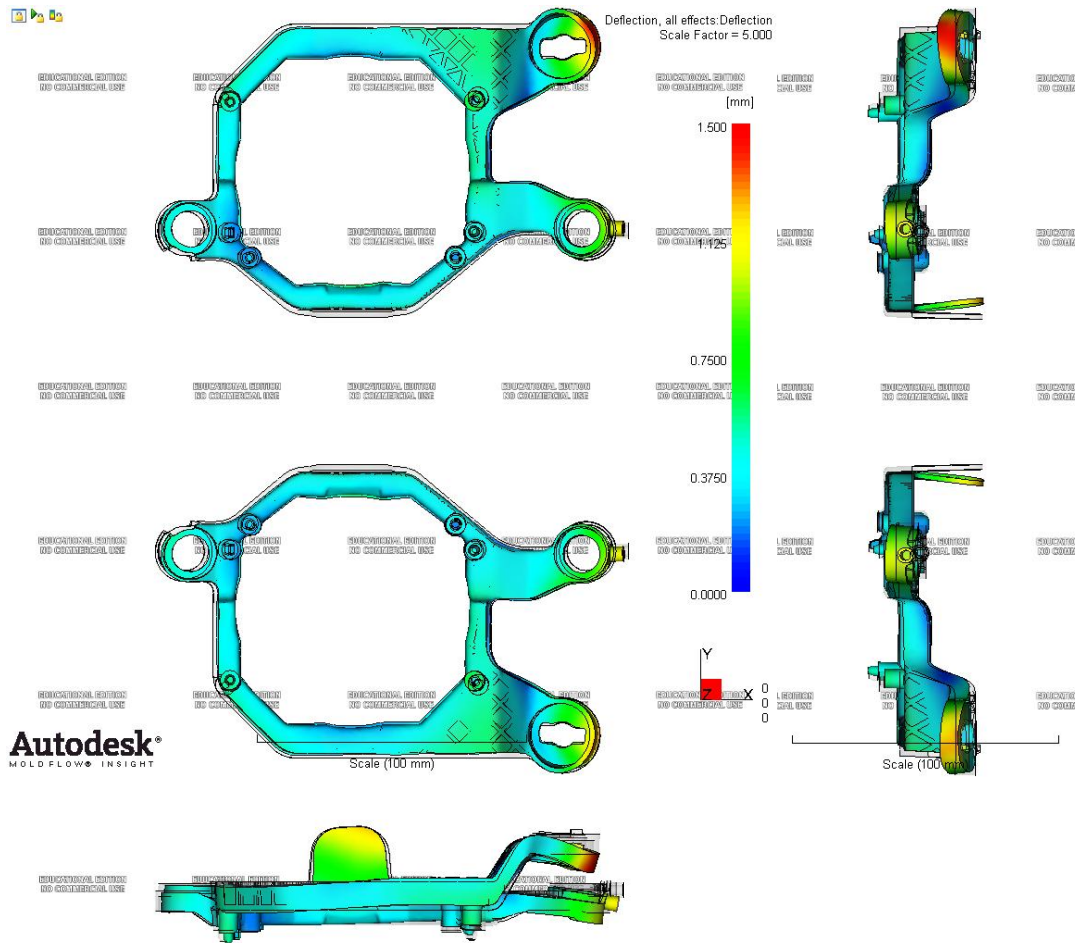
9.3 Výsledky z analýzy deformací



Obr. 71 Celkové deformace, chlazení 1



Obr. 72 Celkové deformace, chlazení 2



Obr. 73 Celkové deformace, chlazení 3

Tab. 12. Celkové deformace

Verze chlazení	Deformace [mm]	Rozdíl [%]
Chlazení 1	1,477	98,66
Chlazení 2	1,497	100,00
Chlazení 3	1,471	98,26

Na obrázcích deformace jde vidět místa s největší deformací. Tyto deformace jsou velice podobné, protože jednotlivé deformace mají stejný návrh formy, které se liší pouze chlazením. Tedy rozdíly mezi deformacemi je pouze vliv chlazení na výrobek. Rozdíl vlivu mezi jednotlivými verzemi chlazení je skoro 2 %, což je zanedbatelná velikost. Největší deformace je na bočním úchyty. Na celkové deformaci se podílí smrštění, orientace a chlazení.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Nejdříve bylo zapotřebí provést analýzy plnění dutiny vstřikovací formy včetně deformací pro zadaný plastový díl. Bylo zkoumáno, jak umístění a počet vtoků do dutiny formy ovlivní deformaci výrobku. Dále bylo zkoumáno, jak může tuto deformaci ovlivnit druh a množství plniva v materiálu.

U zadaného vstřikovaného dílu byl vybrán jako nejvhodnější materiál PBT G3F30, má přijatelnou velikost deformace. Při vyšší koncentraci plniva vychází menší deformace než u vybraného materiálu, ale zvyšují se neúměrně nároky na materiál dutiny formy, jeho opracování a tepelné zpracování a opotřebení stroje. Zhoršuje také tečení polymeru a zvyšuje hodnoty procesních podmínek při zpracování. Toto plnivo funguje podobně jako brusivo v brusné pastě.

Pro formu byla vybrána verze umístění vtoku 4, u něhož jsou deformace výrobku pro vybraný materiál nejnižší. Je až o 36,7 % menší než u materiálu a verze umístění vtoku, u kterého byla zjištěna nejvyšší deformace. Pro verzi umístění vtoku vyšla vhodnost umístění polohy vtoku 94,7 % a 50,97 %.

Při konstrukci vstřikovací formy byla použita vybraná verze umístění vtoku. Pro vyšší kvalitu a přesnost výrobku byla navržena dvojnásobná forma, kdy se bude při jednom pracovním cyklu vstřikovat výrobek pro pravý a levý světločet najednou. Tvárníky a tvárnice jsou výměnné a v případě potřeby lze vyměnit jen samostatné tvarové vložky, kterou jsou v nich uloženy.

Výrobek má jednu boční díru a tak bylo zapotřebí odformovat tuto díru prostřednictvím posuvné čelisti a šikmého čepu. Vyhazování výrobků zajistí válcové a prizmatické vyhazovače. Jako vtokový systém bude použita kombinace horkého a studeného systému. Forma byla opatřena bezpečnostními prvky proti průhybu a proti poškození dutiny formy při potenciální poruše vyhazovacího systému. Bylo navrženo několik variant forem, které se liší různými variantami chladicího systému, které byly vzájemně analyzovány a porovnány.

Kompletní analýzy plnění dutiny formy s optimalizací chladicího systému zobrazily, že vstřikování by trvalo 1,424 s. Tavenina nebude degradovat vlivem vysoké teploty, protože se ohřeje o 1,5 °C při tečení, ani vlivem smykového namáhání. Jeho hodnota je polovinou dovoleného namáhání.

Další problémy, jako jsou studené spoje, kdy teplota čela taveniny se nezchladí natolik, aby takovéto spoje vznikly, ani vzduchové kapsy, kdy může unikát vzduch pomocí vůlí mezi tvárnici a tvárníky, by taky neměly nastat. Nejvyšší tlak vyvinutý ve formě stoupne až na hodnotu 64,39 MPa a zaručí bezpečné zaplnění celé dutiny formy. Tento tlak zaručeně neotevře formu, protože vstřikovací stroj má dostatečnou uzavírací sílu proti tomuto pootevření.

Velká pozornost byla zaměřena na temperační kanály, které byly porovnávány, jaký vliv mají jednotlivé verze chladicí kanály na délku vstřikovacího cyklu a deformaci výrobku. Musí rovnoměrně ochladit výrobek v co nejkratším čase a mít co nejmenší vliv na deformaci výrobku. Chladicí kapalina se u všech verzí chlazení ohřeje průtokem stejně, což je zaručeno velkým průtokem média a tedy i velká hodnota Reynoldsova čísla. Rozdíl mezi verzí chlazení 1 a 2 je poměrně velký a to 7 % a vzhledem k třetí verzi je až 9 %, což se velice dobře projeví v ceně výrobku. Výsledek vlivu chlazení na deformaci je zanedbatelný, protože rozdíl mezi jednotlivými verzemi je pod 2 %.

Jednotlivé analýzy byly nastaveny se stejnými hodnotami, aby se co nejvíce projevil vliv umístění vtoků a různé varianty chlazení na potřebné výsledky.

ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce byly charakterizovány polymery, jejich chování při vstřikování a úprava pomocí přísad. Byl popsán proces vstřikování a konstrukce vstřikovacího stroje jako výrobní zařízení. Dále byly popsány vstřikovací formy, jejich konstrukční řešení a využití CAD/CAM programů při návrhu vstřikovacích forem.

V praktické části byla nejdříve provedena analýza plnění dutiny vstřikovací formy včetně deformací pro zadaný plastový díl, kterým je nosný rámek pro světelný modul do předního světlometu pro firmu HELLA AUTOTECHNIK s.r.o. Bylo zkoumáno, jak umístění a počet vtoků do dutiny formy ovlivní jeho deformaci. Dále bylo zjišťováno, jak může ovlivnit druh a množství plniva v materiálu tuto deformaci. Vybraná verze umístění vtoků byla použita při konstrukci vstřikovací formy.

Konstrukce vstřikovací formy byla navržena v programu CATIA V5 R18. Při tvorbě bylo využito katalogu normálií firmy HASCO, což napomohlo urychlit samotnou konstrukci. Vstřikovací forma je dvojnásobná s kombinací horkého a studeného vtokového systému. Jako horký vtokový systém byl využit produkt od firmy Synventive. Odformování výstřiků je provedeno pomocí vyhazovacích kolíků a šikmých čepů. Bylo navrženo několik variant chladících okruhů, které byly vzájemně analyzovány a srovnávány.

Provedené kompletní analýzy plnění včetně vtokového a chladicího systému "cool + fill + pack + warp" (chlazení + tečení + deformace) provedené v programu Autodesk Moldflow Insight 2010 poodhalily rozdíly mezi jednotlivými řešeními chladících kanálů. Dále analýzy předpověděly případné problémy, které by mohly vzniknout při reálném vstřikování výrobků. Při skutečném výskytu chyb zjištěné analýzami, byla navržena řešení, jak je odstranit.

3D modely vstřikovacích forem, 2D výkres sestavy vstřikovací formy, analýzy umístění verzí vtoků a kompletní analýzy plnění včetně vtokového a chladicího systému jsou obsaženy na příloženém DVD.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenská a plastikářské stroje II*. Editační středisko VUT Brno, 1990. ISBN 80-214-0213.
- [2] TOMIS, František, RULÍK, František. *Formy Gumárenské a plastikářské stroje II*. SNTL – Nakladatelství technické, Praha, 1981.
- [3] Katedra tváření kovů a plastů – *Skripta*. Dostupný z <http://www.ksp.vslib.cz/>
- [4] TOMIS, František. *Gumárenská a plastikářská technologie: Zpracovatelské procesy*. Editační středisko VUT Brno, 1987.
- [5] BOBČÍK, Ladislav a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů: I.díl –Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, v říjnu 1999 jako 2. upravené vydání.
- [6] KULHÁNEK, Jan a kolektiv. *Formy pro tváření plastických hmot*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1, 1966. ISBN 04-237-66.
- [7] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravy*. SNTL – Nakladatelství technické, Praha, 1985. ISBN 05-018-85
- [8] Přednášky z předmětu T5KF.
- [9] HALAŠKA, Petr. *Navrhování výlisků a forem pro třetí tisíciletí*. In KANDUS, Bohumil (ed.). *Nové technologie v oblasti zpracování plastů*. Mezinárodní konference, Brno, 14. - 15. září 1999.
- [10] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1, 1986. ISBN 04-247-86.
- [11] KRUMMEL, Michal a kolektiv. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1. vyd. Praha, 1977. ISBN 59-067-74.
- [12] DYM, B. Joseph. *Injection molds and molding: A Practical Manual*. Second edition. Kluwer Academic Publishers Group, 1987. ISBN 0-442-21785-4.
- [13] NEUHAUSEL, Emil. *Vstřikování plastických hmot*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1, 1973. ISBN 04-608-73.

- [14] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL - Nakladatelství technické literatury jako společné vydání s n. p., vydavatelství technické a ekonomické literatury Alfa, Praha 1, Bratislava, 1989. ISBN 04-602-89.
- [15] MAŇAS, Miroslav, VLČEK, Jiří. *Aplikovaná reologie*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, říjen 2001. ISBN 80-7318-039-1.
- [16] BOBČÍK, Ladislav a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů: II.díl –Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, v září 1999.
- [17] ČAUČÍK, P. a kolektiv. *Prísady do plastov*. 1. vydanie, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Alfa, Bratislava, srpen 1985. ISBN 63-040-85.
- [18] PECH, Jaroslav. *Výroba plastů*. SNTL – Nakladatelství technické, Praha 1, 1977. ISBN 04-624-77
- [19] HENDRYCH, Josef, WEBER, Antonín, DOLEŽEL, Jaroslav. *Standardizace rámu a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. SNTL – Nakladatelství technické, Praha 1, 1986. ISBN 04-248-86.
- [20] HENDRYCH, Josef, WEBER, Antonín, DOLEŽEL, Jaroslav. *Standardizace rámu a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. SNTL – Nakladatelství technické, Praha 1, 1986. ISBN 04-248-86.
- [21] LINDNER, Edmund, UNGER, Peter. *Gastrow Injection molds: 130 Proven Designs*. 3rd ed. Munich: Hansen Gardner Publisher, 2002. ISBN 1-56990-316-6.
- [22] REES, Herber. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hansen Gardner Publishers, 2002. ISBN 1-56990-322-0.
- [23] TRES, P. A. *Designing plastic parts for assembly*. 5th ed. Munich: Hansen Gardner Publisher, 2003. ISBN 3-446-22456-4.
- [24] MANZIONE, L. T. *Application of computer aided engineering in injection molding*. Munich: Hansen Gardner Publishers, 1987. ISBN 3-446-14703-9.
- [25] FUH, J.Y.H, ZHANG, Y.F, NEE, A.Y.C, FU, M.W. *Computer-aided injection mold design and manufacture*. New York: Marcel Dekker, 2004. ISBN 0-8247-5314-3.

- [26] BEAUMONT, J.P. NAGEL, R. SHERMAN, R. *Successful injection molding*. Munich: Hansen Gardner Publishers, 2002 ISBN 3-446-19433-9.
- [27] Santa Clara University [online]. [cit. 2010-01-21]. *Weld lines and meld lines*. Dostupné z WWW: <http://www.scudc.scu.edu/cmdoc/dg_doc/develop/trouble/weldmeld/f6000001.htm#206247>.
- [28] Bayer Material Science [online]. [cit. 2010-01-21]. *Part Details Review*. Dostupné z WWW: <http://www.bayermaterialsciencenafta.com/checklist/weld_lines.html>.
- [29] ŠENKEŘÍK, Vojtěch. *Vstříkovací formy*. 50 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta Technologická, v červnu 2008.
- [30] Internetové stránky. *Computer-aided manufacturing*. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_m	Teplota tání
T_f	Teplotu viskózního toku
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
PA	Polyamid
SVS	Studené vtokové systémy
VVS	Vyhřívané vtokové systémy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vstřikovací cyklus	14
Obr. 2 Kruhový diagram vstřikovacího cyklu	14
Obr. 3 Vstřikovací stroj	15
Obr. 4 Druhy vstřikovacích jednotek.....	17
Obr. 5 Šnekové plastikace.....	17
Obr. 6 Dosednutí trysky stroje na trysku formy	18
Obr. 7 Druhy uzavíracích ústrojí	18
Obr. 8 Oblast využití u amorfních plastů	21
Obr. 9 Oblast využití u semikrystalických plastů.....	21
Obr. 10 Tok taveniny.....	23
Obr. 11 Vznik studeného spoje	23
Obr. 12 Studené spoje.....	24
Obr. 13 Průběh smršťování výstřiku.....	27
Obr. 14 Vliv rozmístění temperačních kanálů	34
Obr. 15 Rozmístění temperačních kanálů.....	35
Obr. 16 Studený vtokový systém formy	37
Obr. 17 Průřezy rozvodných kanálů	38
Obr. 18 Přidržovače vtoku.....	38
Obr. 19 Základní typy vtokových ústí.....	40
Obr. 20 Vyhřívání trysky.....	42
Obr. 21 Vyhřívání rozvodný blok	43
Obr. 22 Vyhazovací kolíky.....	44
Obr. 23 Řez formou s šikmým válcovým kolíkem.....	45
Obr. 24 Zdvih a časové rozložení dvoustupňových vyhazovačů.....	46
Obr. 25 Řez formou se stírací deskou.....	47
Obr. 26 Model výrobku	50
Obr. 27 Verze umístění vtoků	53
Obr. 28 Rovina měření podélně s výrobkem.....	54
Obr. 29 Rovina měření příčně s výrobkem.....	55
Obr. 30 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 1 PBT GF 30	55
Obr. 31 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 2 PBT GF 30	56

Obr. 32 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 3 PBT GF 30	56
Obr. 33 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 4 PBT GF 30	57
Obr. 34 Vhodnost umístění vtoku	58
Obr. 35 Vstřikovací stroj Krauss Maffei KM 110-700 C2+ MC3F	61
Obr. 36 Dělicí roviny	62
Obr. 37 Tvárnice a tvárník	62
Obr. 38 Posuvná čelist	63
Obr. 39 Výměnné vložky pro tvárnice	63
Obr. 40 Výměnné vložky pro tvárník	63
Obr. 41 Odformování boční díry	64
Obr. 42 Vyhazovací systém	65
Obr. 43 Model horkého rozvodného bloku	66
Obr. 44 Vymodelovaný vtokový systém v MoldFlow	66
Obr. 45 Chlazení 1 se vstupy	68
Obr. 46 Chlazení 2 se vstupy	68
Obr. 47 Chlazení 3 se vstupy	69
Obr. 48 Chladicí okruh v podpůrné desce	70
Obr. 49 Pravá (pevná) strana formy	71
Obr. 50 Levá strana formy	71
Obr. 51 Sestava formy	72
Obr. 52 Čas plnění	73
Obr. 53 Rychlost smykové deformace a detail	74
Obr. 54 Teplota čela taveniny a detail	75
Obr. 55 Tlak na konci plnění	76
Obr. 56 Tlak v místě vstřiku	76
Obr. 57 Uzavírací síla	77
Obr. 58 Vzduchové kapsy a detail	78
Obr. 59 Studené spoje a detail	79
Obr. 60 Orientace plniva na povrchu	81
Obr. 61 Orientace plniva v jádře	81
Obr. 62 Teplota chladicího okruhu 1	82
Obr. 63 Teplota chladicího okruhu 2	82

Obr. 64 Teplota chladícího okruhu 3.....	83
Obr. 65 Efektivita odvodu tepla, chlazení 1.....	84
Obr. 66 Efektivita odvodu tepla, chlazení 2.....	84
Obr. 67 Efektivita odvodu tepla, chlazení 3.....	85
Obr. 68 Čas k dosažení vyhazovací teploty, chlazení 1.....	86
Obr. 69 Čas k dosažení vyhazovací teploty, chlazení 2.....	87
Obr. 70 Čas k dosažení vyhazovací teploty, chlazení 3.....	87
Obr. 71 Celkové deformace, chlazení 1.....	89
Obr. 72 Celkové deformace, chlazení 2.....	89
Obr. 73 Celkové deformace, chlazení 3.....	90

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Možnosti zlepšení vlastností polymeru přísadami.....	29
Tab. 2. Typy temperačních kapalin.....	36
Tab. 3. Typy materiálů pro anýlýzy	51
Tab. 4. Procesní podmínky.....	52
Tab. 5. Velikosti deformací pro jednotlivé materiály měřené v obecné rovině	53
Tab. 6. Velikosti deformací pro jednotlivé materiály měřené v rovině podélné	54
Tab. 7. Velikosti deformací pro jednotlivé materiály měřené v rovině příčné.....	54
Tab. 8. Vhodnost umístění vtoku pro jednotlivé verze umístění vtoku	58
Tab. 9. Vlastnosti vybraného materiálu PBT GF30.....	59
Tab. 10. Základní údaje o vstřikovacím stroji Krauss Maffei 110-700 C2+ MC3F	61
Tab. 11. Čas k dosažení vyhazovací teploty	88
Tab. 12. Celkové deformace	90

SEZNAM PŘÍLOH

P I: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PBT

P II: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PBT

P III: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PBT GF50

P IV: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PBT GF50

P V: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PBT GB50

P VI: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PBT GB50

P VII: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PA6T/6I GF50

P VIII: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PA6T/6I GF50

P IX: SESTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY V3

P X: KUSOVNÍK ČÁST 1.

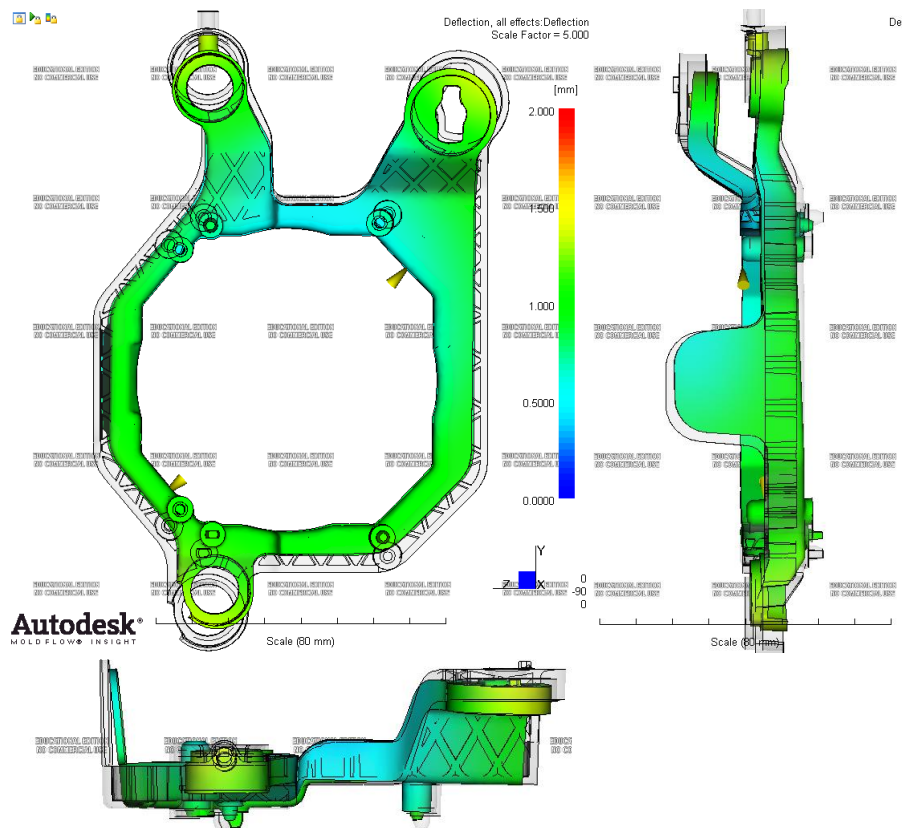
P XI: KUSOVNÍK ČÁST 2.

P XII: KUSOVNÍK ČÁST 3.

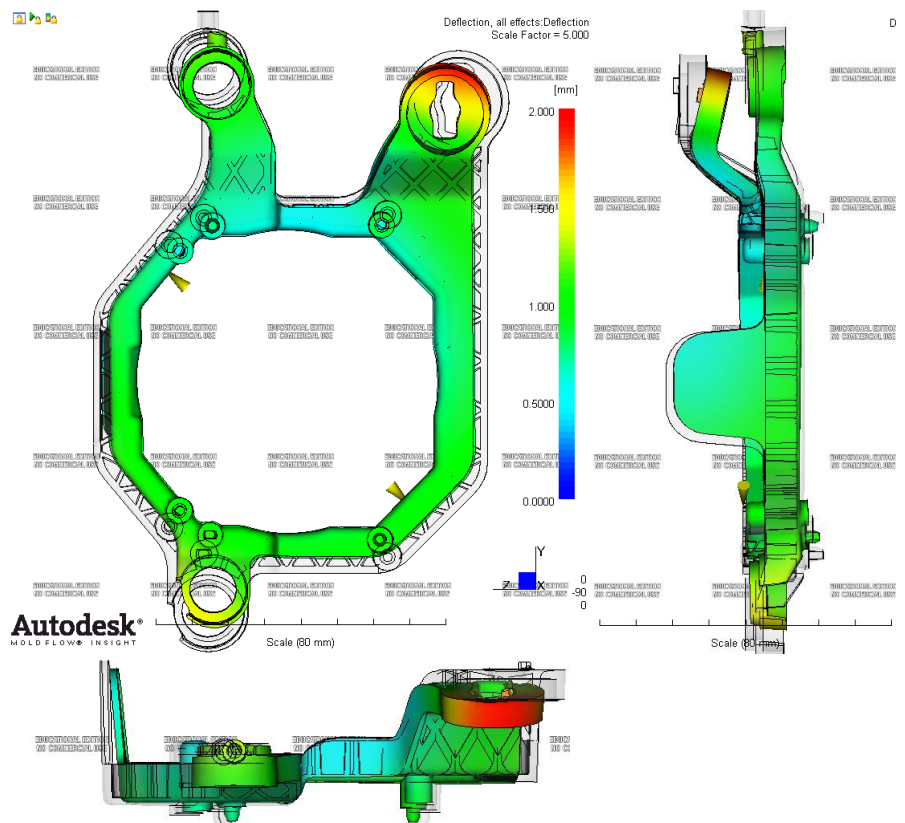
P XIII: DVD DISK OBSAHUJÍCÍ:

- Diplomovou práci
- 3D modely vstřikovacích forem ve 3 verzích v programu Catia V5 R18
- 2D sestavu vstřikovací formy V3
- Gate analýzu
- Analýzy plnění dutiny vstřikovací formy včetně deformací
- Kompletní analýzy plnění včetně vtokového a chladicího systému

PŘÍLOHA P I: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PBT

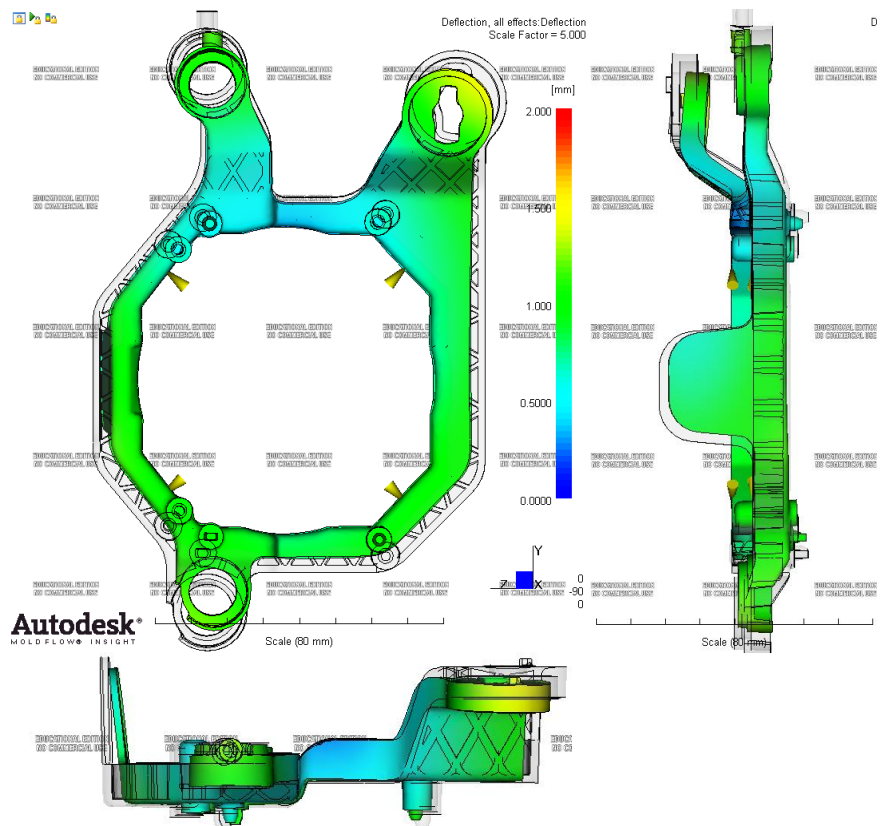


Obr. 74 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 1 PBT

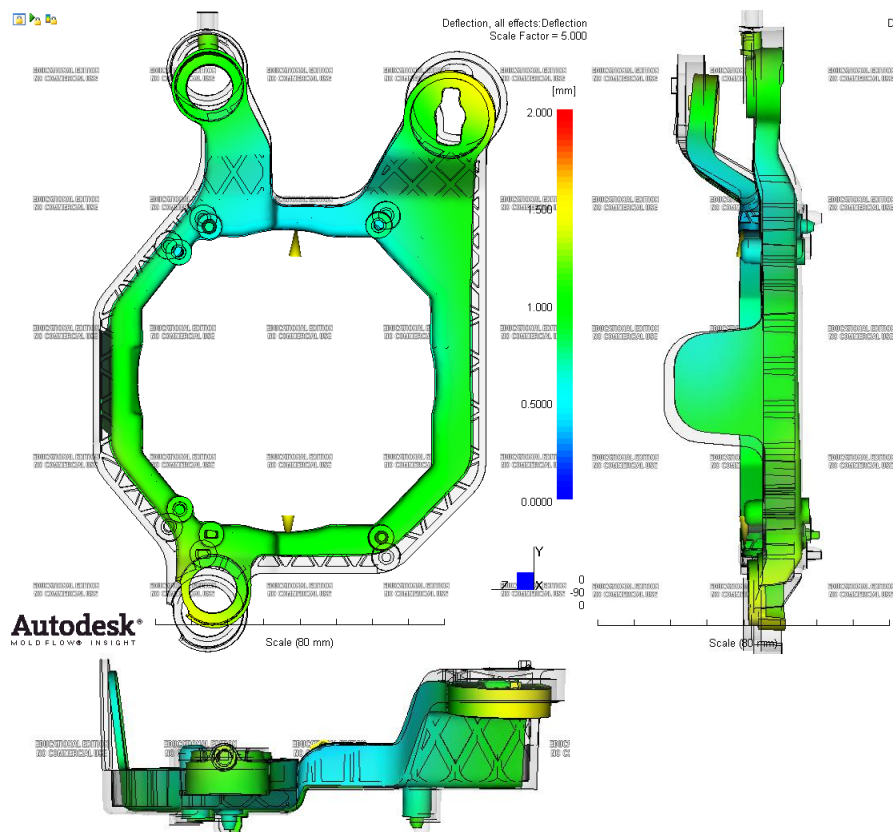


Obr. 75 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 2 PBT

PŘÍLOHA P II: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PBT

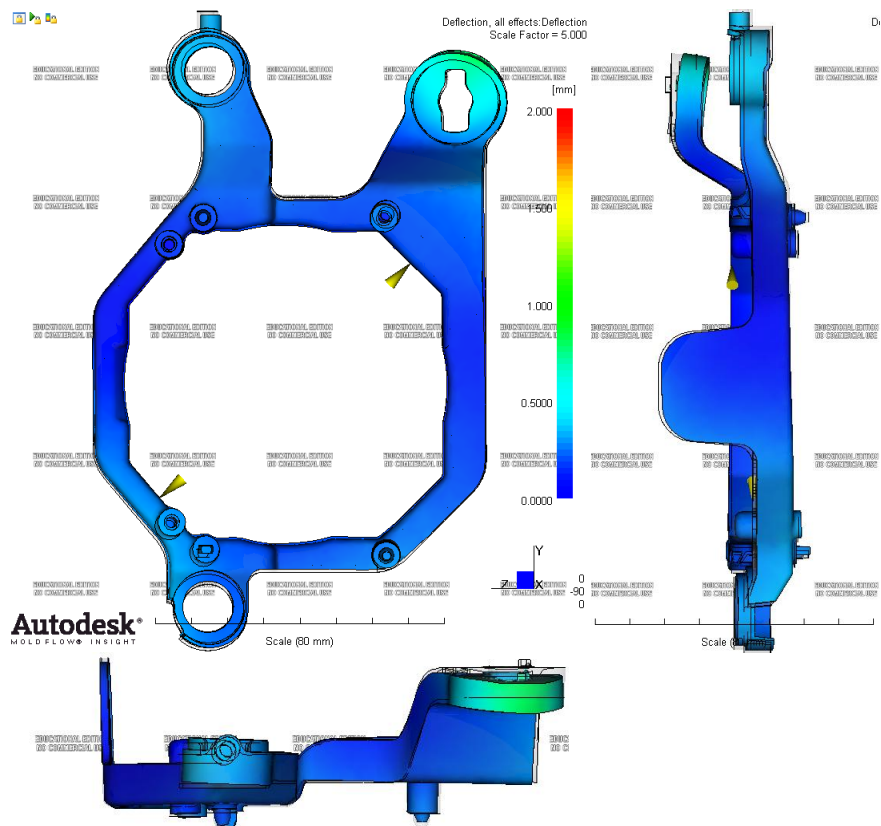


Obr. 76 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 3 PBT

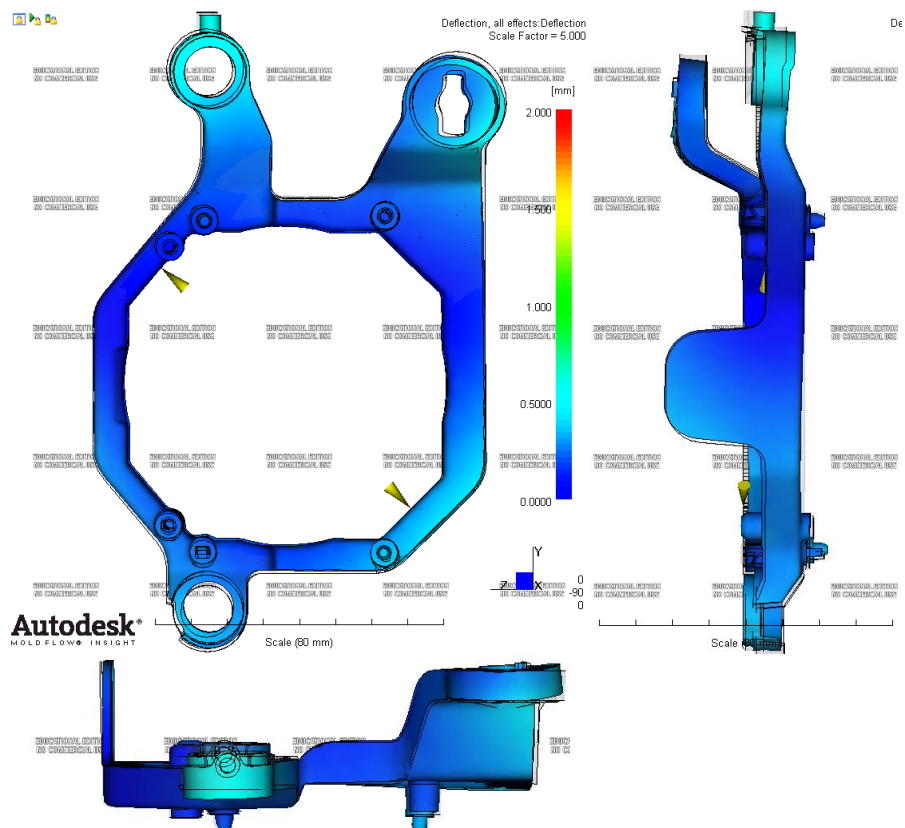


Obr. 77 Deformace výrobku pro verzi umístění vtoku 4 PBT

PŘÍLOHA P III: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PBT GF50

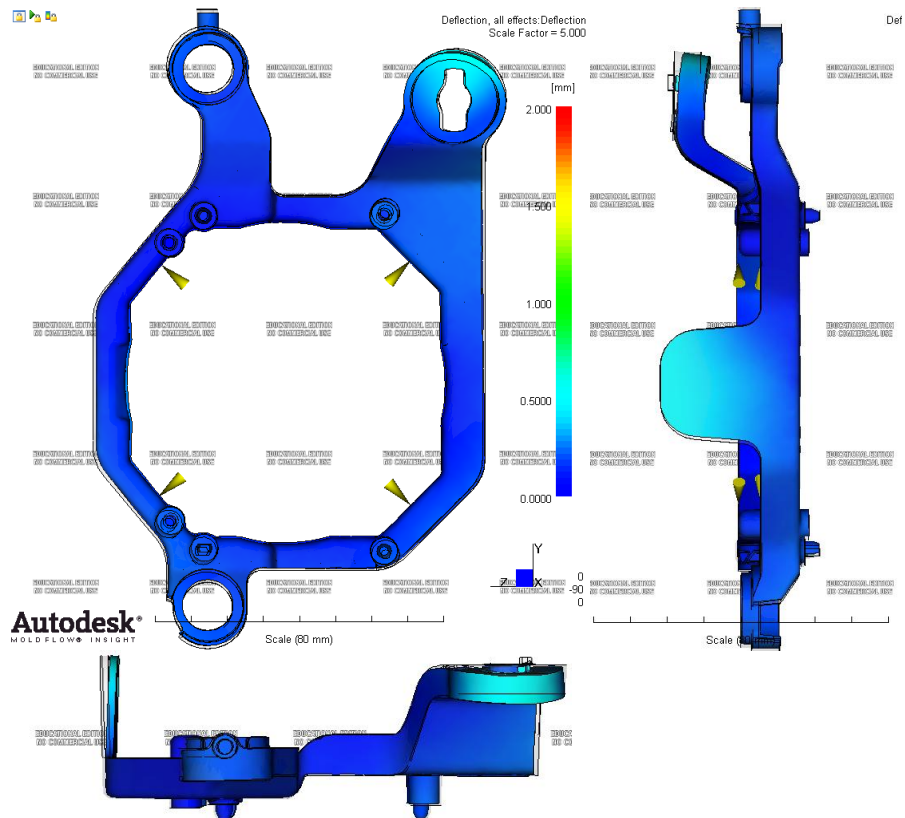


Obr. 78 Deformace verze umístění vtoku 1 PBT GF50

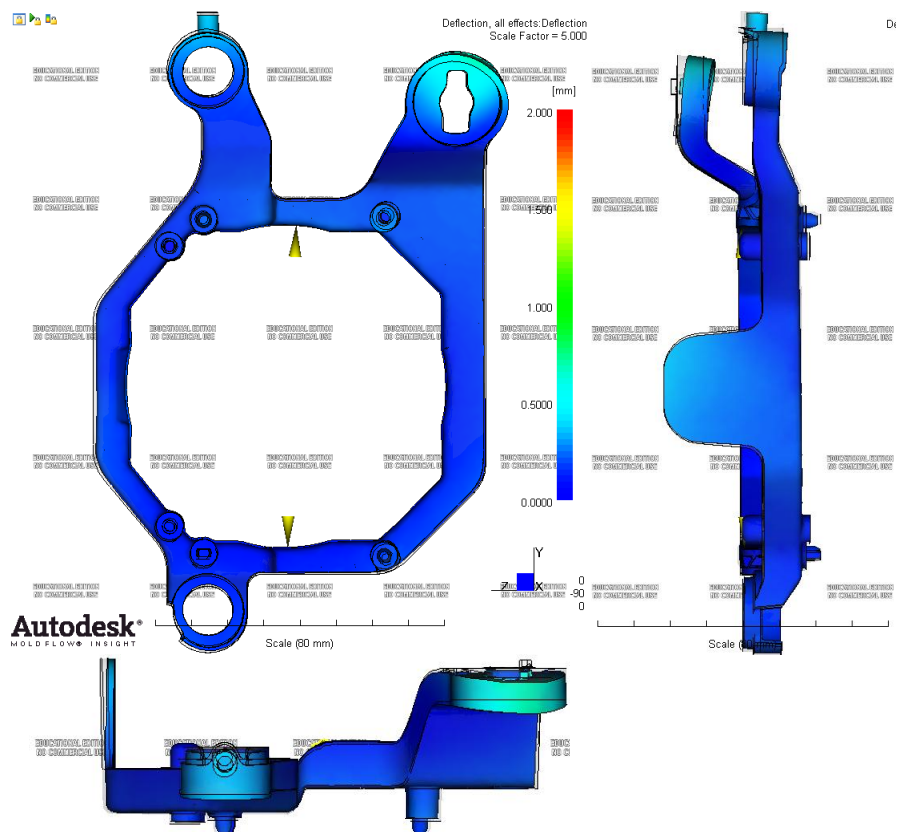


Obr. 79 Deformace verze umístění vtoku 2 PBT GF50

PŘÍLOHA P IV: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PBT GF50

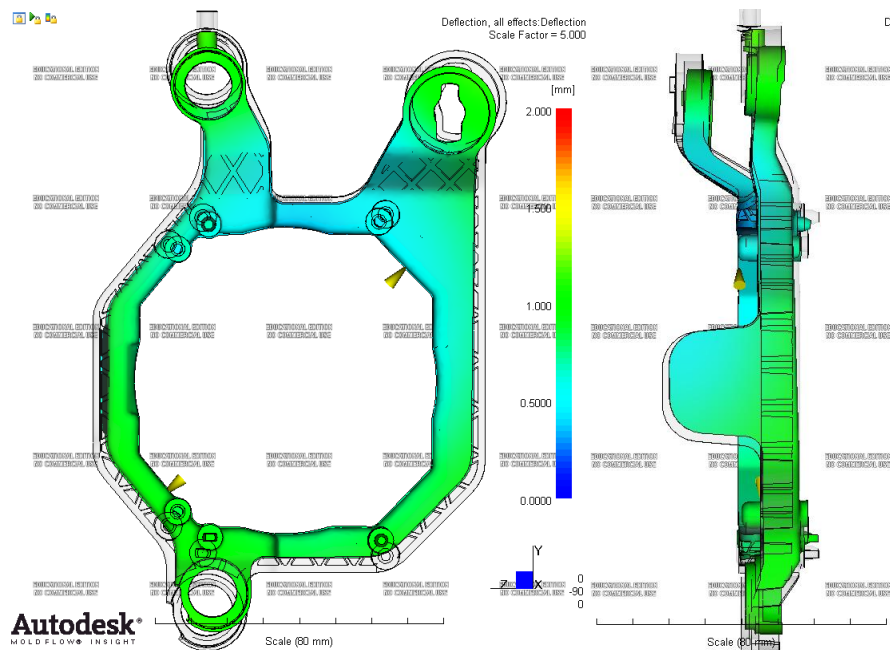


Obr. 80 Deformace verze umístění vtoku 3 PBT GF50

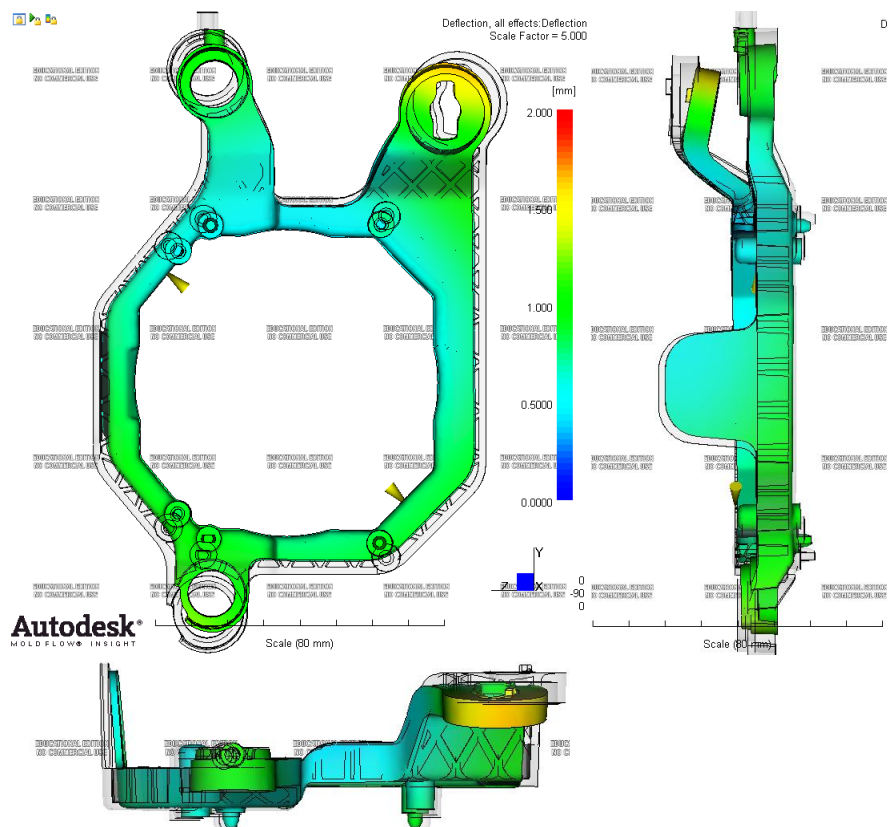


Obr. 81 Deformace verze umístění vtoku 4 PBT GF50

PŘÍLOHA P V: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PBT GB50

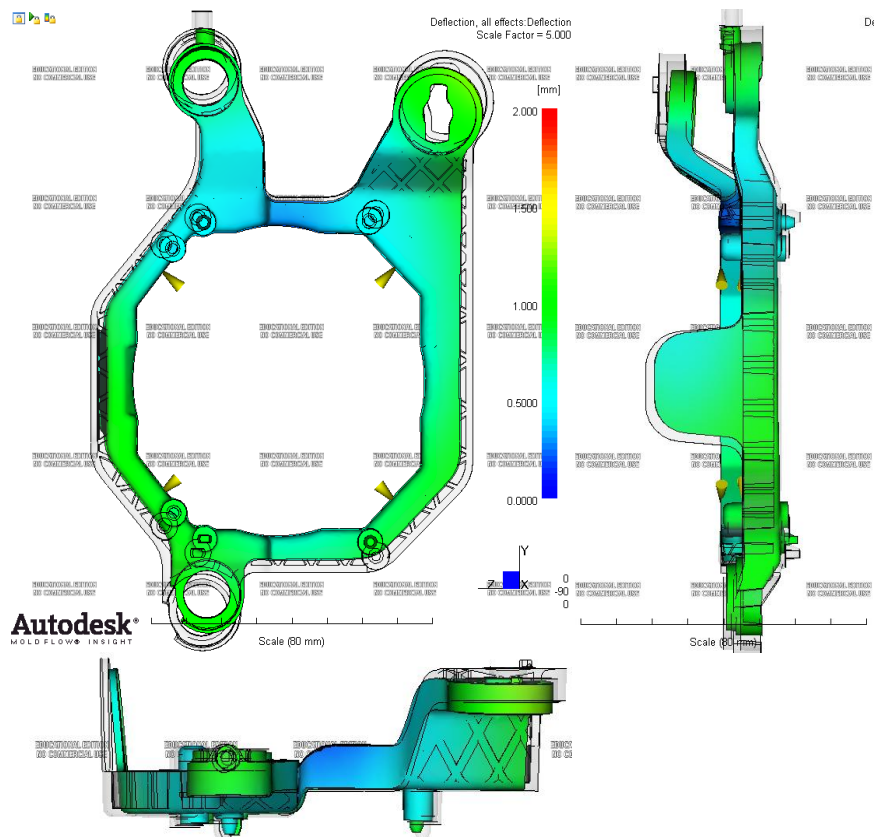


Obr. 82 Deformace verze umístění vtoku 1 PBT GB50

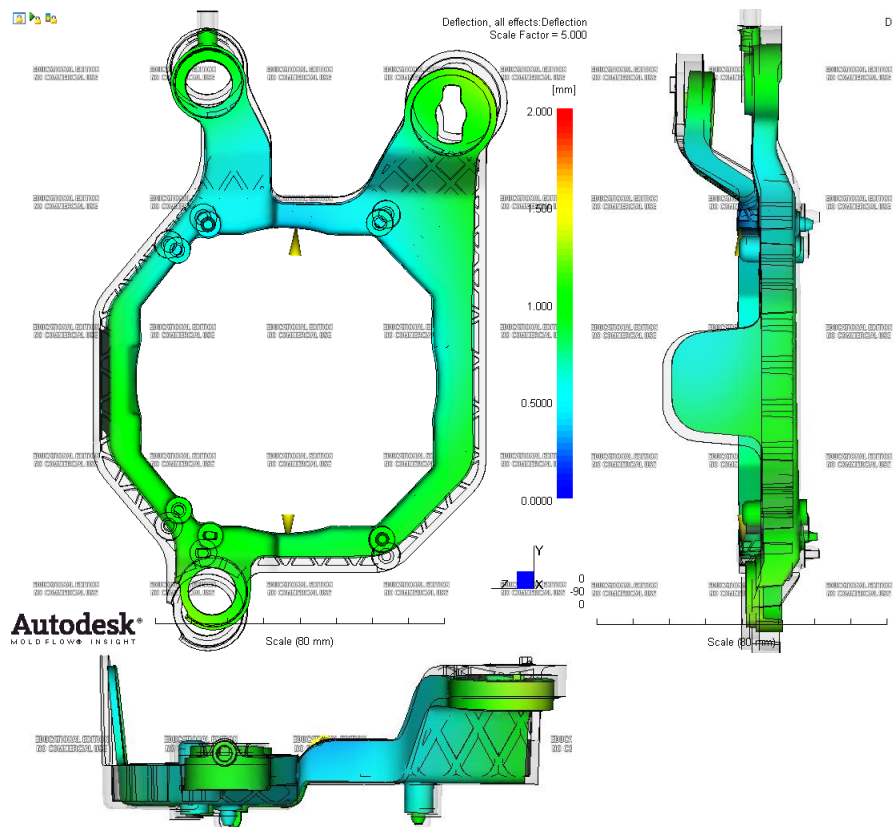


Obr. 83 Deformace verze umístění vtoku 2 PBT GB50

PŘÍLOHA P VI: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PBT GB50

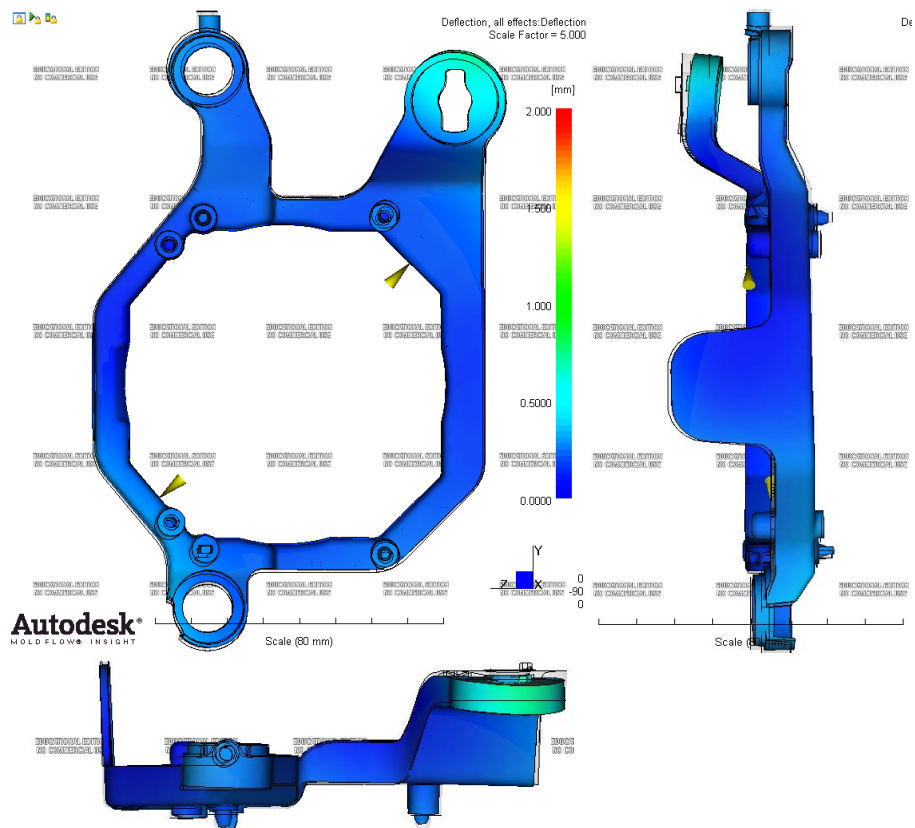


Obr. 84 Deformace verze umístění vtoku 3 PBT GB50

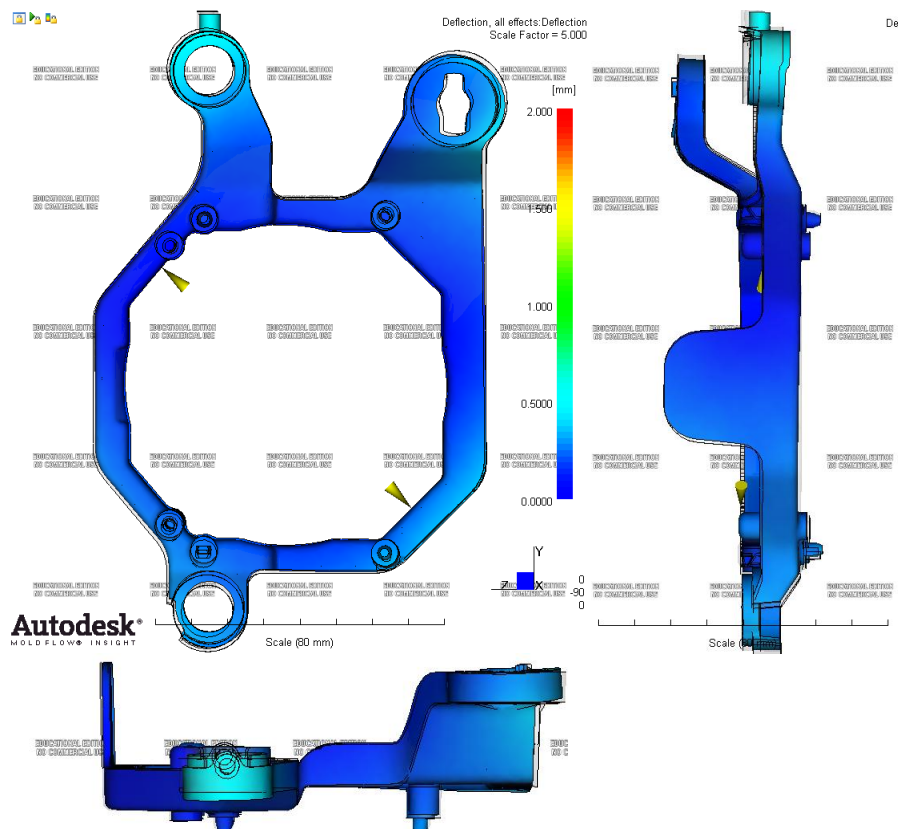


Obr. 85 Deformace verze umístění vtoku 4 PBT GB50

PŘÍLOHA P VII: DEFORMACE VERZE VTOKU 1 A 2 PA6T/6I GF50

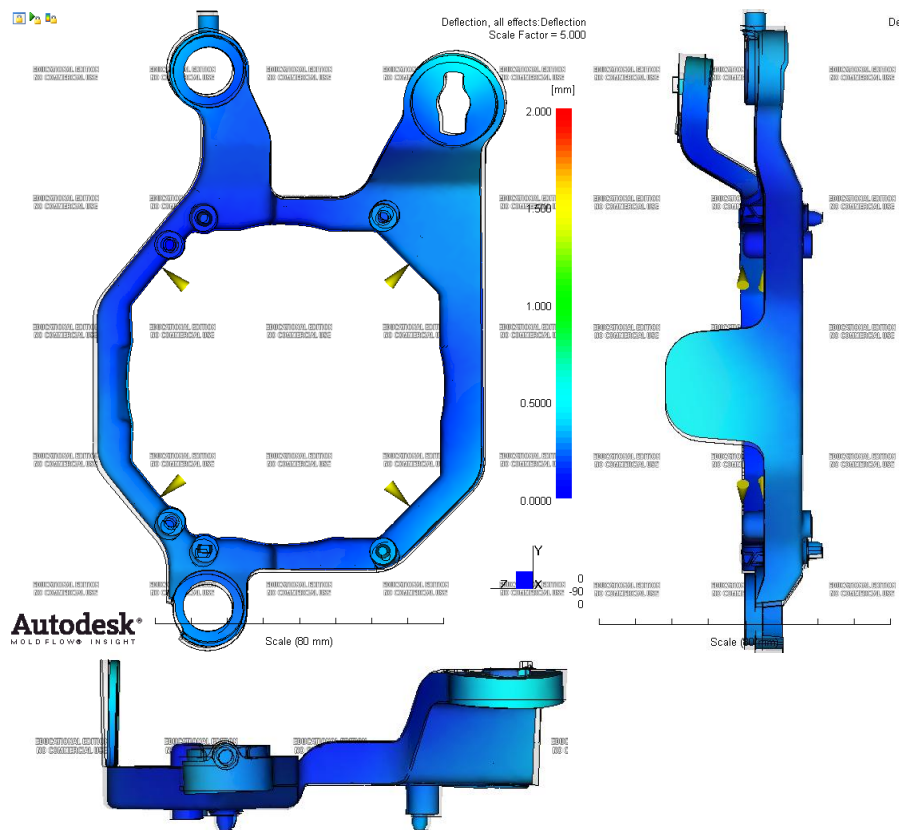


Obr. 86 Deformace verze umístění vtoku 1 PA6T/6I GF50

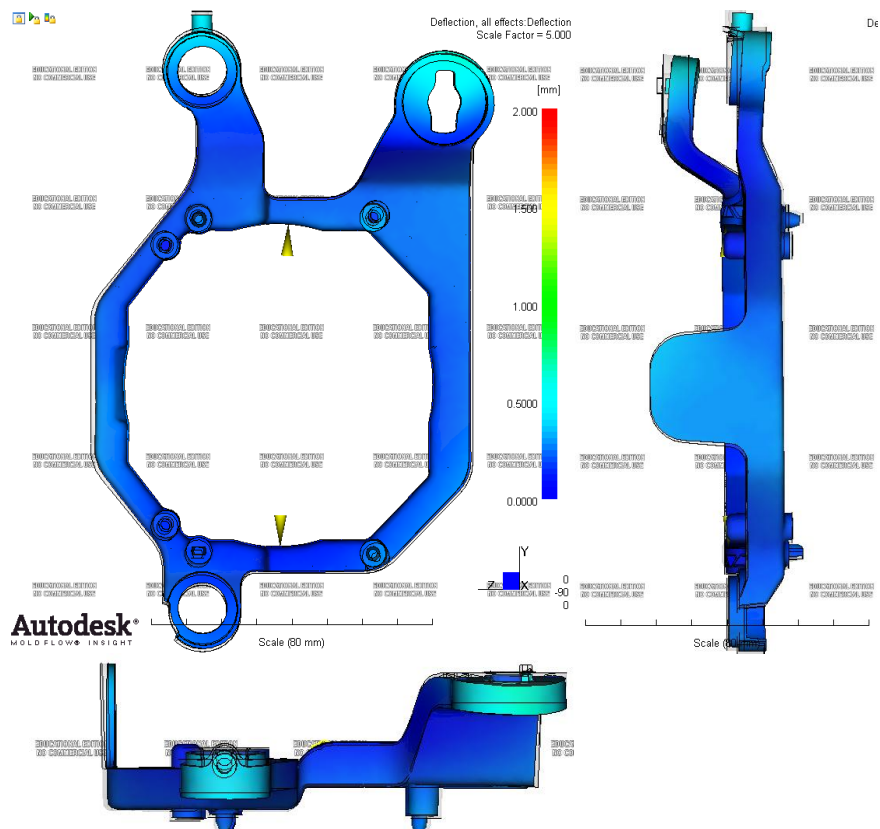


Obr. 87 Deformace verze umístění vtoku 2 PA6T/6I GF50

PŘÍLOHA P VIII: DEFORMACE VERZE VTOKU 3 A 4 PA6T/6I GF50



Obr. 88 Deformace verze umístění vtoku 3 PA6T/6I GF50



Obr. 89 Deformace verze umístění vtoku 4 PA6T/6I GF50