

Návrh vstřikovací formy včetně optimalizace teploty

Bc. Petr Svoboda

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Petr SVOBODA

Osobní číslo: T09703

Studijní program: N 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Konstrukce technologických zařízení

**Téma práce: Návrh vstřikovací formy včetně optimalizace
temperace**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma.**
- 2. Připravte 3D model plastového zadaného dílu.**
- 3. Proveďte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl.**
- 4. Optimalizujte systém temperace tvarových částí pomocí analýz.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

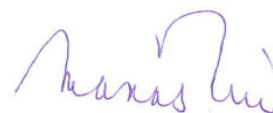
Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Svoboda Petr

Obor: Konstrukce technologických zařízení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 10.5.2011


.....

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

(1) Vysoká škola nevydávalečně 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 vzdělávacímu 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá v teoretické části problematikou vstřikování plastových výrobků.

V praktické části byly dle dílce poskytnutého firmou Hella Autotechnik, s.r.o. Mohelnice vytvořeny tvarové vložky (tvárník a tvárnice) a následně kompletní 3D model vstřikovací formy včetně výkresů sestavy a kusovníku. Dále byly vytvořeny celkem tři návrhy řešení temperačních okruhů pro daný výrobek. Návrhy formy a temperace byly vytvořeny v programu Catia V5R18. Nakonec byly pomocí programu Autodesk Moldflow Insight 2011 provedeny analýzy a jednotlivé typy temperací navzájem srovnány.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, temperace, analýza, vada výrobku

ABSTRACT

The theoretical part of my thesis deals with the question of injection molding of plastic products.

In the practical part core inserts (a fixed side and a moving side) were created according to the part provided by the company Hella Autotechnik, s.r.o. Mohelnice and subsequently a complete 3D model of the injection molding tool including an assembly drawing and a bill of materials. Furthermore three solution proposals of temperature control circuits for the given product were created in total. The tool and temperature control designs were created in the program Catia V5R18. In the end analyses were made and types of the individual temperature control systems were compared mutually by means of the program Autodesk Moldflow Insight 2011.

Keywords:

Keywords: injection molding, molding tool, temperature control, analysis, product defect.

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří mi pomohli během vypracování této diplomové práce. Za odborné vedení, rady, ochotu a čas, který mi věnovali. Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi Ph.D., dále pak Ing. Štěpánu Šandovi a externím konzultantům Ing. Jaroslavu Botkovi a Ing. Tomášovi Drgovi Ph.D.

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

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	13
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	16
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	17
2.3 ŘÍZENÍ A REGULACE	18
2.4 PERIFERNÍ ZAŘÍZENÍ	18
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	21
3.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU	23
3.1.1 Smrštění výstřiku.....	23
3.2 VTKOVÝ SYSTÉM FOREM	24
3.3 TEMPERACE FOREM	26
3.3.1 Charakterizace temperačního systému	27
3.3.2 Tepelná bilance formy	27
3.3.3 Obecné zásady volby temperačních kanálů.....	28
3.3.4 Temperační prostředky	31
3.3.5 Příklady řešení temperačních kanálů.....	32
3.4 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	33
3.5 VYHAZOVARACÍ SYSTÉM	33
4 VADY POLYMERNÍCH VÝROBKŮ	35
4.1 VADY ZJEVNÉ.....	36
4.1.1 Studený spoj	36
4.1.2 Stopy po volném proudu taveniny.....	37
4.1.3 Dieselefekt.....	37
4.1.4 Vady tvaru a rozměrové vady.....	38
4.1.5 Vady vzhledové (vady povrchu)	40
4.2 VADY SKRYTÉ	41
4.2.1 Vnitřní pnutí	42
4.2.2 Orientace polymerních řetězců a vláknitých plniv	43
4.2.3 Nadmolekulární struktura semikrystalických plastů	44
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	47
6 CHARAKTERISTIKA ZADANÉHO DÍLCE – REFLEKTORU	48
6.1 VZHLED A POPIS REFLEKTORU	48
6.2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO MATERIÁLU	49
7 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY	51

7.1	ZAFORMOVÁNÍ	51
7.2	TVORBA VLOŽEK – TVÁRNICE A TVÁRNÍKU	52
7.3	V TOKOVÝ SYSTÉM.....	54
7.4	ODVZDUŠNĚNÍ.....	55
7.5	KONSTRUKCE SESTAVY FORMY	55
7.5.1	Pravá strana formy.....	55
7.5.2	Levá strana formy.....	56
7.5.3	Vyhazovací systém.....	57
7.6	NÁVRH TEMPERAČNÍCH OKRUHŮ	59
7.6.1	1. konvenční návrh temperace.....	59
7.6.2	2. konvenční návrh temperace.....	60
7.6.3	3. nekonvenční návrh temperace	61
7.7	TVORBA DAT PRO TOKOVÉ ANALÝZY	63
8	TOKOVÉ ANALÝZY	64
8.1	VLASTNOSTI SÍTĚ VÝROBKU	64
8.2	DEFINOVÁNÍ V TOKOVÉHO SYSTÉMU	64
8.3	DEFINOVÁNÍ MATERIÁLU.....	65
8.4	DEFINOVÁNÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK VÝPOČTU	66
8.5	DEFINOVÁNÍ TEMPERAČNÍCH OKRUHŮ	66
8.5.1	1. typ temperace	66
8.5.2	2. typ temperace	67
8.5.3	3. typ temperace	67
8.6	VÝSLEDKY ANALÝZ – TOK (FLOW)	68
8.6.1	Čas plnění (Fill time)	69
8.6.2	Tlak v místě vstříku (Pressure at injection location).....	70
8.6.3	Frakce zatuhlých vrstev (Frozen layer fraction).....	70
8.6.4	Smyková rychlost (Shear rate)	71
8.6.5	Vzduchové kapsy (Air traps).....	72
8.6.6	Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall).....	73
8.7	VÝSLEDKY ANALÝZ – CHLAZENÍ (COOL)	74
8.7.1	Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature).....	74
8.7.2	Hodnota Reynoldsova čísla (Circuit Reynolds number).....	75
8.7.3	Čas k dosažení vyhazovací teploty – díl (Time to reach ejection temperature)	76
8.7.4	Čas k dosažení vyzahovací teploty – studený rozv. kanál (Time to reach ejection temperature)	78
8.7.5	Účinnost odvodu tepla z temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency).....	79
8.8	VÝSLEDKY ANALÝZ – DEFORMACE (WARP).....	81
8.8.1	Odchylky – chlazení celkově (Deflection – cooling)	81
8.8.2	Odchylky – smrštění celkově (Deflection – shrinkage)	84
8.8.3	Odchylky – všechny vlivy celkově (Deflection – all effects).....	85

9 DISKUZE KONSTRUKCE A VÝSLEDKŮ ANALÝZ VSTŘIKOVACÍ FORMY	89
ZÁVĚR	91
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	93
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	95
SEZNAM OBRÁZKŮ	96
SEZNAM TABULEK.....	99
SEZNAM PŘÍLOH.....	100

ÚVOD

Vstřikování je v dnešní době jedna z nejpřesnějších a nejrozšířenějších technologií pro výrobu přesných plastových výrobků. Zvláště pak v automobilovém průmyslu, kde se na výrobky kladou ty nejvyšší nároky ohledně přesnosti tvarů a rozměrů, vzhledu a mechanických vlastností. K tomu, aby vznikl výrobek s takovými přísnými požadavky na jeho vlastnosti, vede dlouhá cesta od prvních designérských návrhů, přes samotný návrh konstrukce výrobku, návrh nástroje a jeho výrobu. Součástí této cesty je ale také nesčetné množství analýz, které výrobě nástroje – vstřikovací formy předcházejí. Když je vstřikovací forma hotová, vznikají první zkušební vzorky, jež napomáhají k odstraňování vad a k optimalizaci výrobního procesu. Na vývoji a výrobě takového výrobku se podílí několik pracovišť s mnoha odborníky.

Diplomová práce s názvem „Návrh vstřikovací formy včetně optimalizace temperace“ zahrnuje část této cesty za vznikem nového výrobku. Začíná pracovat s již hotovou konstrukcí zadaného dílce a poskytnutých 3D dat. Pomocí těchto dat navrhuje konstrukci nástroje (vstřikovací formu) pro tento zadaný dílec. V další části práce je poté pozornost soustředěna na návrh temperačního systému vstřikovací formy. Správný návrh chlazení dílce předchází během vstřikovacího procesu vzniku velkého množství vad výrobku. K návrhu konstrukce vstřikovací formy s optimálním temperačním systémem napomáhají v dnešní době simulační programy, které napodobují vstřikovací cyklus a děje odehrávající se uvnitř nástroje a napomáhají tak vzniku optimálního výrobního procesu. V poslední části této práce je simulační program využit právě k analýzám temperačních systémů vstřikovací formy. Závěrem jsou návrhy vyhodnoceny a diskutovány.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

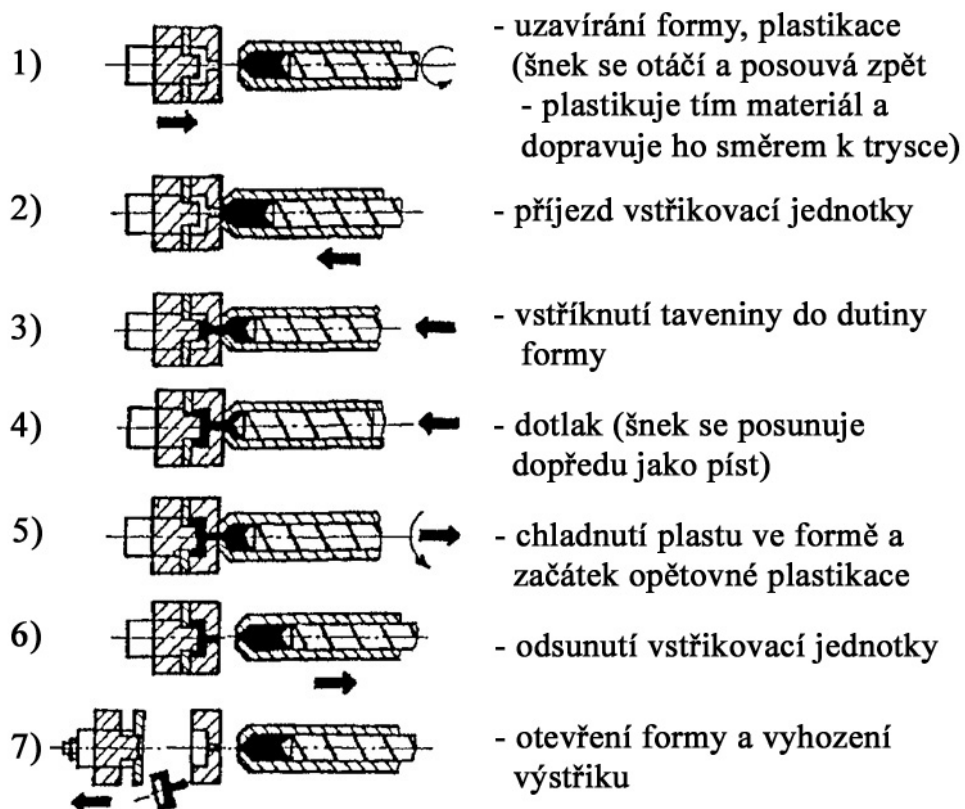
Vstřikování plastů je diskontinuální (cyklický) způsob výroby takových výrobků, které mají buď charakter konečného výrobku a nebo jsou polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Je to nejrozšířenější technologie na zpracování plastů. [1]

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou:

- krátký čas cyklu;
- schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou;
- konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací.

Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem. Technologie vstřikování je tedy vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde se za současného účinku tření a topení plast taví a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje (Obr. 1). [1]



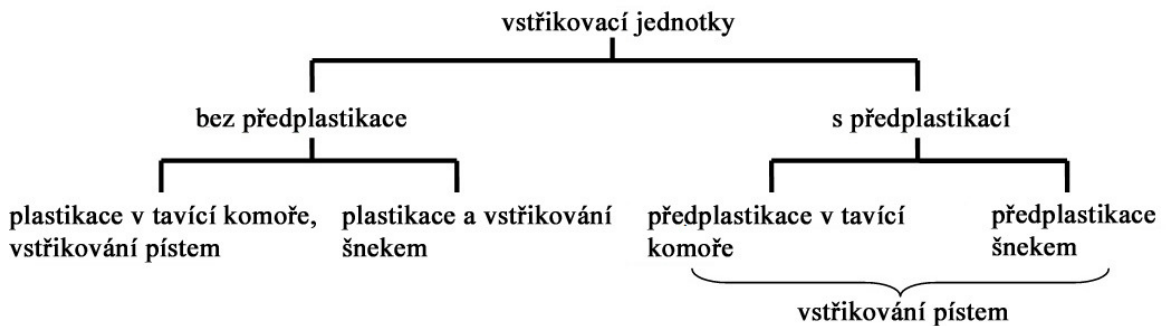
Obr. 1. Popis vstřikovacího cyklu

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

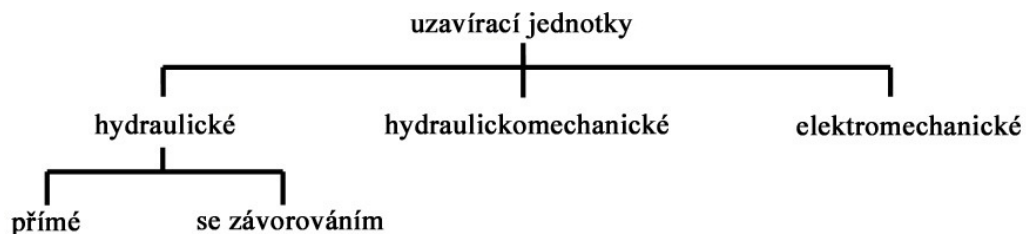
Předpokladem k dobré optimalizaci procesu vstřikování je plně funkční vstřikovací stroj, u kterého je prováděna pravidelná údržba, včetně čištění olejové náplně. Vstřikovací stroj se skládá celkem ze tří částí:

- vstřikovací jednotky;
- uzavírací jednotky;
- a z řízení a regulace.

Typy jednotlivých vstřikovacích strojů se nejčastěji dělí podle konstrukce vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky (Obr. 2 a 3).

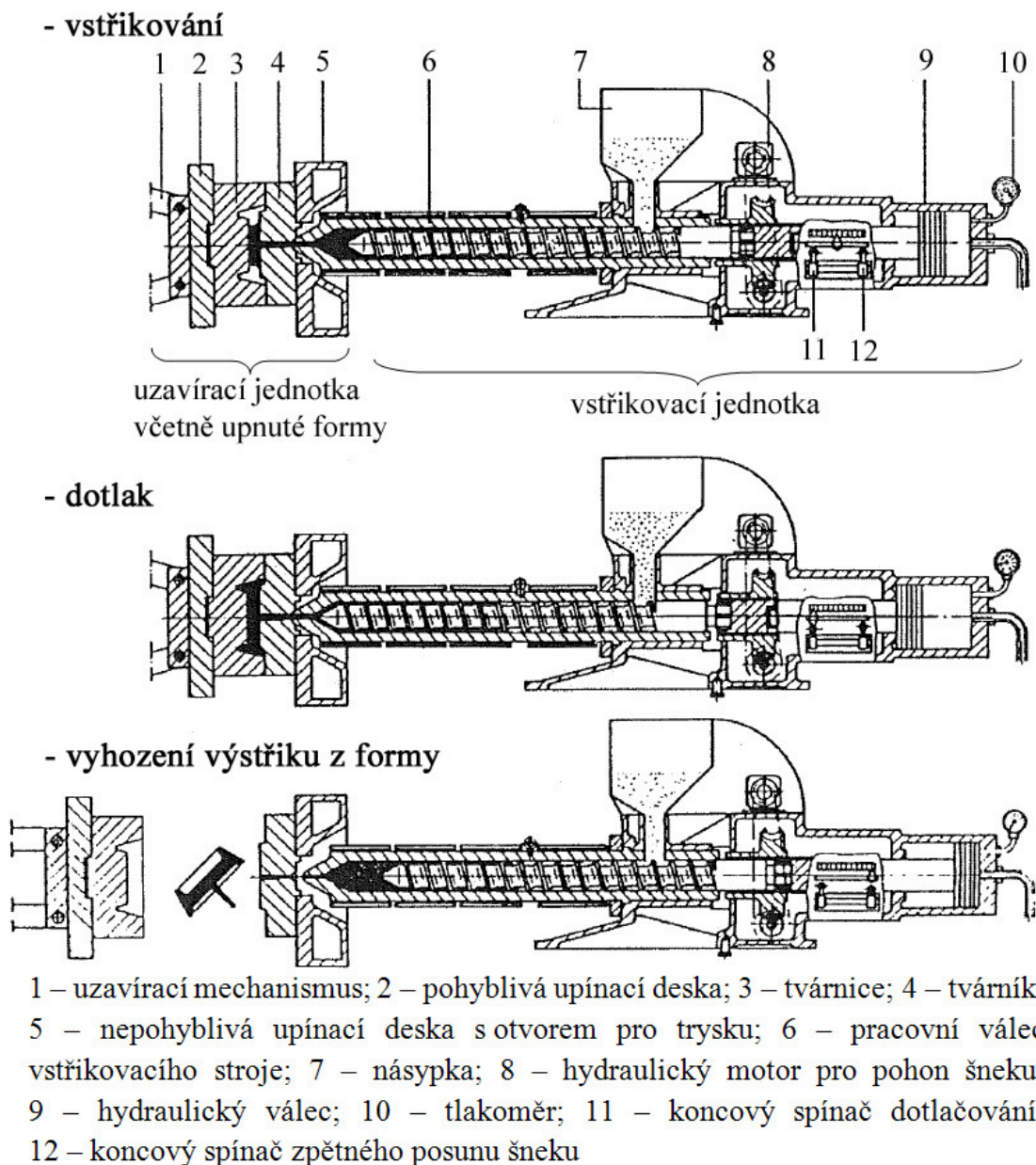


Obr. 2. Dělení vstřikovacích strojů dle vstřikovací jednotky [2]



Obr. 3. Dělení vstřikovacích strojů dle uzavírací jednotky [2]

Ze všech používaných vstřikovacích jednotek se nejvíce osvědčily a v dnešní době nejvíce používají vstřikovací jednotky s plastikací a vstřikováním pomocí šneku (Obr. 4). Jejich největšími výhodami je spolehlivá plastikace a dobrá homogenizace roztaveného plastu, zabránění přehřívání materiálu v tavicí komoře, vysoký plastikační výkon i velký zdvihový objem, odstranění potíží při čištění komory při výměně materiálu, zaručené přesné dávkování hmoty, nízké ztráty tlaku během pohybu hmoty a vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu.



Obr. 4. Pracovní cyklus vstřikovacího stroje se šnekovou plastikační jednotkou

2.1 Vstřikovací jednotka

Mezi dva nejdůležitější úkoly vstřikovací jednotky patří přeměna granulátu na homogenní taveninu o dané viskozitě a vstřikování této taveniny vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy.

Činnost plastikační jednotky se šnekem je následující: při plastikaci se šnek otáčí a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje ho do vytápěných částí tavící komory, kde se materiál taví a jako tavenina se hromadí před čelem šneku. Šnek se ve fázi plastikace otáčí a ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý

pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstříkuje taveninu do dutiny formy. Jelikož plastikace nové dávky plastu může probíhat ještě ve fázi chlazení výstřiku ve formě, je výrobní cyklus kratší oproti pístovým strojům. K dalším přednostem patří jednoduché dávkování, možnost hmotu dodatečně barvit a plnit plnivy nebo přidávat další přísady až při zpracování (těsně před vstupem do násypky vstříkovacího stroje). [1]

K hlavním parametrům vstříkovací jednotky se šnekovou plastikací se řadí:

- poměr $L [mm]/D [mm]$ – tj. poměr délky šneku k průměru šneku;
- vstříkovací kapacita $Q_V [cm^3]$ – je maximální množství taveniny plastu, které lze při jednom pracovním zdvihu šneku vstříknout do dutiny formy;
- plastikační kapacita $Q_P [kg \cdot h^{-1}]$ – je maximální množství taveniny v kilogramech, kterou je stroj schopen za jednu hodinu zpracovat do plastického stavu;
- max. vstříkovací tlak $p_{vstř} [MPa]$. [1]

2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstříkování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy jsou používány: síla přisouvací F_p a síla uzavírací F_u . Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstříkovací formy.

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje; pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy; upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstříkovací formy; vedení pro pohyblivou desku; a z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Vstříkovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanické způsobu (závorování) a v poslední době se používají i elektrické systémy. [1]



Obr. 5. Ukázka vstřikovacího stroje německé firmy Arburg [3]

2.3 Řízení a regulace

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 výstřiků. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. [4]

2.4 Periferní zařízení

Kromě samotného vstřikovacího stroje a nástroje – vstřikovací formy, vstupují do procesu vstřikování ještě další nutná zařízení. Tato zařízení jsou důležitá z pohledu vlastní technologie a nejčastěji jimi bývají – zařízení pro sušení navlhavých materiálů, zařízení pro chlazení nebo ohřívání forem na předepsanou teplotu, nebo slouží k plné či částečné automatizaci výrobního procesu. [5]

Každý výstřik vyžaduje s ohledem na individuální požadavky na něj kladené – dohoda mezi výrobcem a odběratelem – samostatný přístup a tím i použití příslušných periferních zařízení.

K těmto zařízením patří:

- zařízení pro sušení granulátů:
 - sušárny se samostatnou cirkulací ohřátého vzduchu;
 - sušárny s nuceným oběhem ohřátého vzduchu;
 - sušárny s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu;
 - podtlakové sušárny (Obr. 6a);
 - tlakovzdušné sušárny;
- temperační zařízení vstřikovacích forem:
 - s maximální pracovní teplotou do 95 °C – vodní (Obr. 6b);
 - s maximální pracovní teplotou až do 200 °C – vodní přetlakové;
 - se zvýšenou pracovní teplotou pro různé temperační média kromě vody;
 - s regulací průtoku temperačního média, s měřením teploty formy, apod.
- zařízení pro dávkování aditiv, nejčastěji barevných koncentrátů:
 - objemová (Obr. 6c);
 - hmotnostní;
- zařízení pro dopravu granulátu;
- separátory kovových částic při dávkování drtě do originálního materiálu;
- roboty pro manipulaci s výstřiky při jejich vyjímání z formy, apod.;
- manipulátory pro odstraňování vtokových zbytků z výstřiků;
- dopravníky, mlýny pro přípravu drtě, kontrolní zařízení, atd. [5]



Podtlakové sušárny

Řada podtlakových sušících strojů LPD se sušícím výkonem 15-450 kg/hod. Patentovaná technologie s extrémně krátkými sušícími časy navlhavých materiálů 20-40 min. Během sušení nedochází k degradaci materiálu. Úspora energie oproti konvenčním sušárnám s vysoušedlem o 70-80 %. Možnost výměny materiálu za provozu. Standardně do 160 °C. Minimalizace nákladů na údržbu, oproti konvenčním sušárnám žádná kontrola stavu vysoušedla a revizi rosného bodu. Integrovaná doprava materiálu do nebo ze sušícího stroje.



Beztlaké vodní temperační přístroje

Dvě velikosti přístrojů s příkonem topení 3 kW a s volitelným příkonem 3,6 nebo 9 kW. Max. teplota 95 °C, regulace PID. Velkoobjemová nádrž s vodou cirkulující v uzavřeném okruhu. Nepřímé ochlazování technologickou vodou uživatele. Automatické dopouštění vody, reverzní chod čerpadla pro odsávání z formy, bezpečnostní termostat. Řídící jednotka Zelio pro nastavování parametrů, vyhodnocení nestandardních stavů s alarmem.



Beztlaké vodní temperační přístroje

Gravimetrické barvicí jednotky s výkonem 0,005-6 kg/hod pro vstříkovací stroje a 0,08-18 kg/hod pro extrudery. Jednoduché nastavování bez výpočtu: Vstříkovací dávka u vstříkování nebo výkon extruderu u vytlačování a podíl barvy v % bez nutnosti kalibrace. Odchylka od požadované hodnoty max. 0,2 %. Ochrana motoru při přetížení dávkovací jednotky. Informace o spotřebě dávkovaného materiálu. Automatická rekalibrace při výměně materiálu.

Obr. 6. Periferní zařízení nabízené firmou A.M.spol.s r.o. [6]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve formě v krátkém čase, za působení dostatečného tlaku a teploty a dalších nutných parametrů. Z toho vyplývají základní požadavky na stroj a formu, které spolu úzce souvisí.

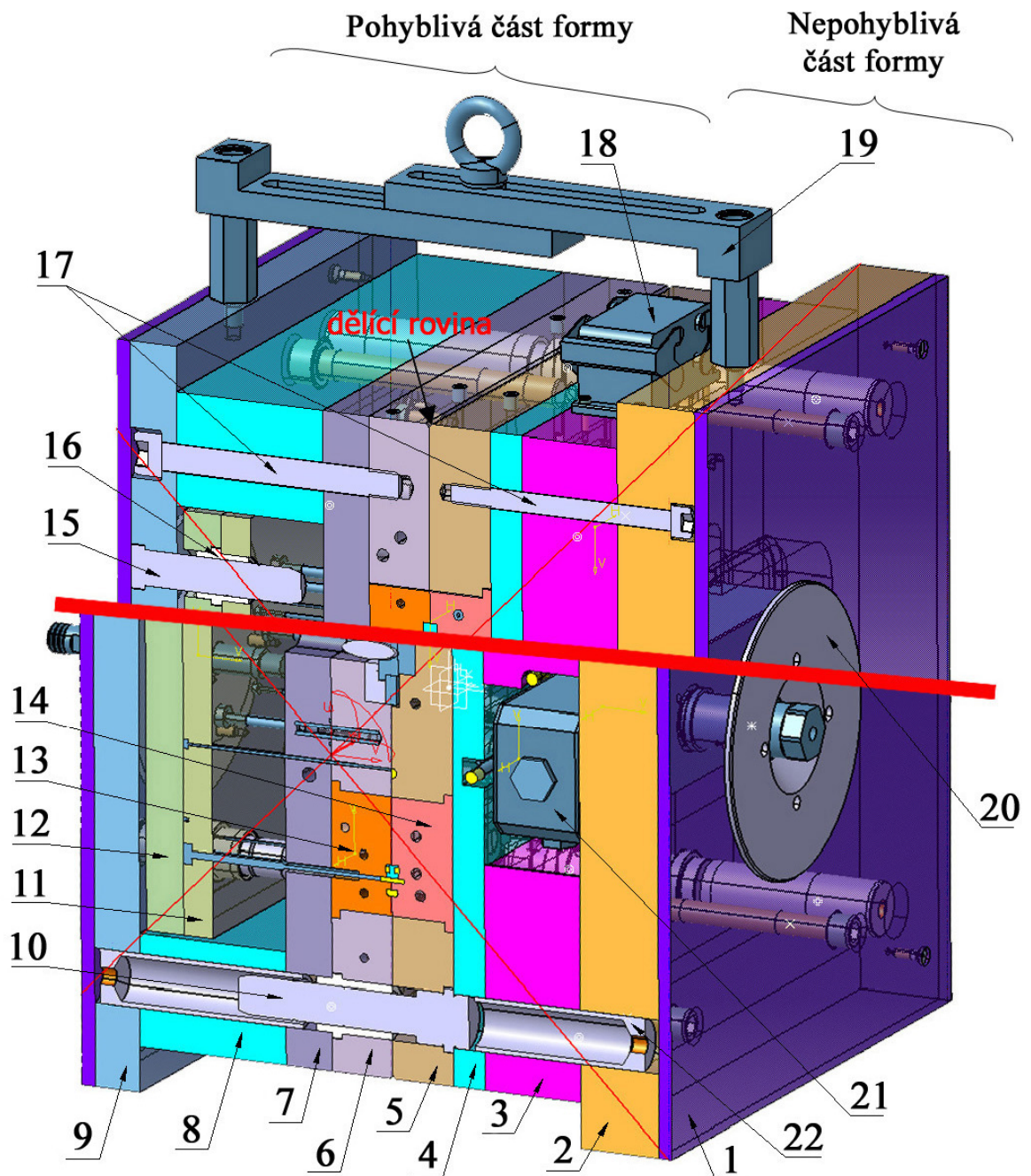
U formy se vyžaduje:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů;
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celků, pro zachycení potřebných tlaků;
- správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, temperování, odvzdušnění, apod.;
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou. [4]

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné;
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelistové, vytáčecí, apod.;
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymežujících tvarovou dutinu formy, z chladicího (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému, z upínacích a vodících elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. Pro představu o tvarové a konstrukční složitosti vstřikovacích forem je na (Obr. 7) ukázka 3D modelu vstřikovací formy vytvořená v programu Catia V5R18. [1]



- 1 - isolační deska; 2 - upínací deska nepohyblivá; 3 - mezideska pro horký blok;
 4 - mezideska pro trysky; 5 - tvarová deska nepohyblivá; 6 - tvarová deska pohyblivá; 7 - opěrná deska; 8 - rozpěrná deska; 9 - upínací deska pohyblivá;
 10 - vodící sloupek; 11 - kotevní vyhadzovací deska; 12 - opěrná vyzahovací deska; 13 - tvárník; 14 - tvárnice; 15 - vodící sloupek; 16 - vodící pouzdro;
 17 - šroub; 18 - těleso zásuvky; 19 - transportní můstek; 20 - středící kroužek;
 21 - horký blok; 22 - středící pouzdro

Obr. 7. Ukázka konstrukce vstřikovací formy – řez 3D modelem

3.1 Zaformování výrobku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí roviny patří k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu.

Dělicí rovina bývá zpravidla jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí roviny. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí rovině může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělicí rovina:

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy;
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře slícovaná;
- probíhala v hranách výrobku;
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a sousost výstřiků, pokud je v obou polovinách formy;
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových vad;
- u více dělicích rovin volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet.

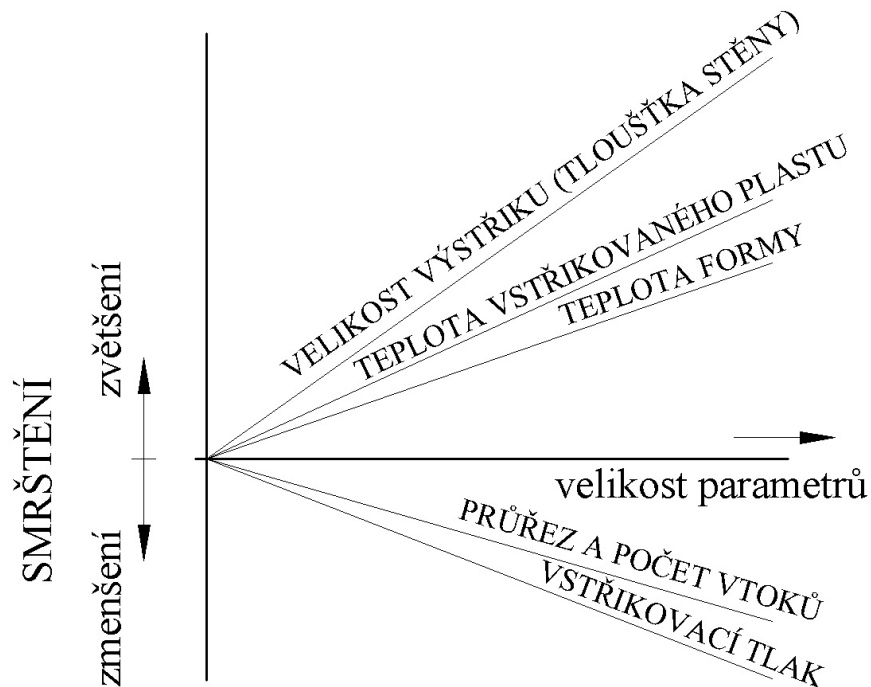
Pozitivní úlohu hraje dělicí rovina při odvzdušňování dutin formy. I k tomu je třeba přihlídnout. [4]

3.1.1 Smrštění výstřiku

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Udává se většinou v % a jeho velikost závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činitelích, tj. na tvaru výstřiku, technologii vstřikování, vstřikovací formě (vtoková soustava a teplota temperace) (Obr. 8). Od jeho velikosti se odvíjí konstrukce formy (vtoková soustava, temperace formy, apod.).

Velikost smrštění v jednotlivých směrech výstřiku nemusí být totožné. Vzniklá struktura (asymetrické plnivo – vlákna) u semikrystalických plastů a také směr proudu taveniny způ-

sobuje anizotropii smrštění. V tomto případě je definována jako rozdíl smrštění ve směru rovnoběžném a kolmém na směr toku taveniny. Je důležité ji zohlednit při volbě umístění ústí vtoku.



Obr. 8. Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění

3.2 Vtokový systém forem

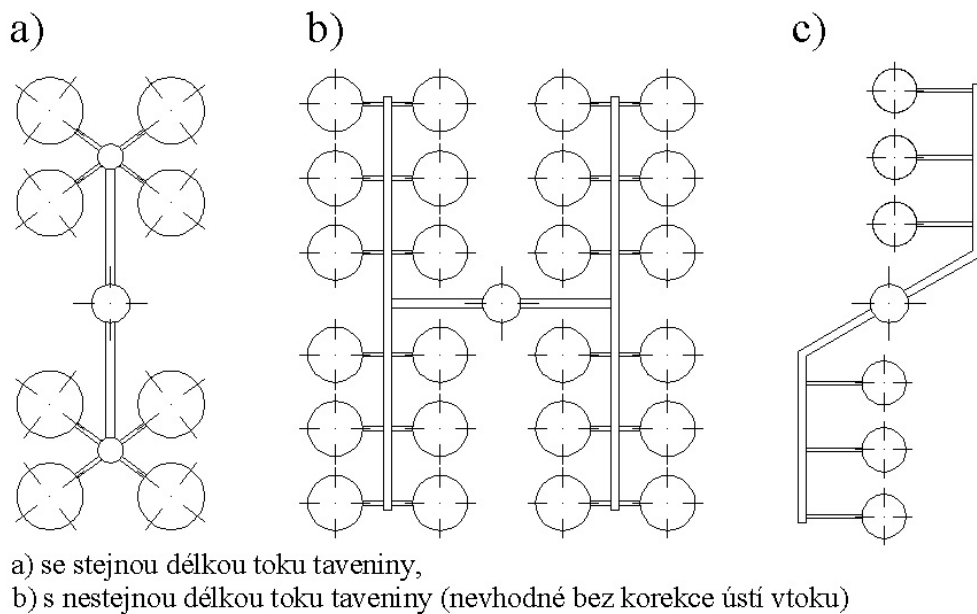
Vtokový systém je systém kanálů a ústí vtoku, který má za úkol zajistit: správné naplnění dutiny formy termicky homogenní taveninou plastu v nejkratším možném čase a s minimálními odpory; snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku z dutiny formy.

Tvar, rozměry, umístění vtoku a ústí vtoku do dutiny formy ovlivňuje:

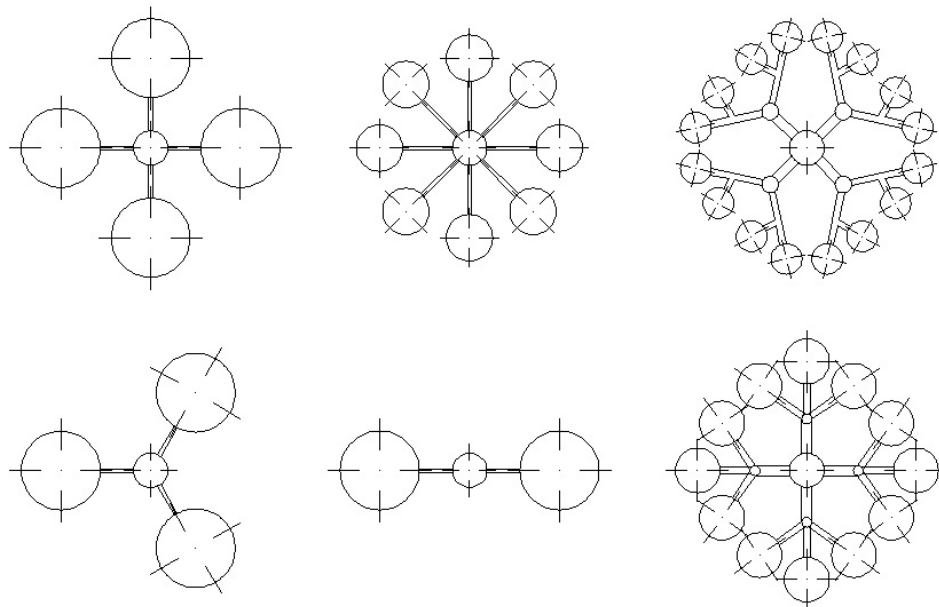
- rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku;
- spotřebu plastu;
- náročnost začištění vtoku na výstřiku;
- energetickou náročnost výroby.

Vtoková soustava a její celkové uspořádání je dána konstrukcí formy a počtem tvarových dutin (násobností formy). Zejména u termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv

na: proudění taveniny ve formě; vytváření tzv. studených spojů; orientaci makromolekul a plniva; rovnoměrnost krystalizace při chlazení výstřiku; anizotropii vlastností a rozměrů; povrchový vzhled apod. Vtok má být řešen tak, aby naplnění formy proběhlo co nejkratší možnou cestou bez teplotních a tlakových ztrát a pokud možno všude ve stejném čase. Pokud je forma řešena jako vícenásobná, musí dojít k naplnění všech dutin současně a při stejných technologických podmínkách, tj. při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. Uspořádání vtokového systému u vícenásobných forem je na (Obr. 9 a 10). [4]



Obr. 9. Řadové uspořádání vtokové soustavy u vícenásobných forem



Obr. 10. Symetrické uspořádání studené vtokové soustavy

Charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby pak určí, zda se použije:

- studený vtokový systém, který je vhodný pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu,
 - horký vtokový systém, který je vhodnější pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu.
- [4]

3.3 Temperace forem

Cílem temperace je udržení konstantního teplotního režimu formy, který zabezpečí optimální (co nejkratší) pracovní cyklus vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Temperací rozumíme buď ochlazování nebo vyhřívání částí vstřikovací formy. [7]

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. U vstřikování termoplastů se během vstřiku forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy. Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy (např. PC: 100 až 120 °C). V tomto případě mohou být tepelné ztráty formy větší, než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívat. Také při zahájení výroby je třeba nejprve formu vyhřát na pracovní teplotu. [7]

Hlavními úkoly temperace tedy je:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny (podle druhu zpracovávaného plastu);
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl optimální délku.

Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, zvýší se její tepelná a tím i rozměrová stabilita a sníží se nebezpečí deformace, vzniklé při vysokých vstřikovacích tlacích. Lokální nerovnoměrné rozložení teplot má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy se však záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění plastu. [7]

3.3.1 Charakterizace temperačního systému

Ohřívání, případně ochlazování formy na předepsanou teplotu záleží na energetické bilanci formy i okolního prostředí. Teplo se z formy odvádí (přivádí) především temperačním systémem. Mimo toho se projeví ztráty tepla z formy vedením do upínacích ploch vstřikovacího stroje, dále odvodem tepla okolním vzduchem a také vyzářením do okolí. Formy na plasty, které se zpracovávají při vyšší teplotě, je třeba naopak ohřívát.

Teplota forem a zvláště jejich dutin není během vstřikování konstantní. Po vstřiku nejprve stoupá, potom klesá v důsledku odvodu tepla temperačním systémem. Kolísání teplot má být co nejmenší. Proto je nutné optimalizovat temperační proces. To znamená volit správně velikost a rozmístění kanálů i rychlost a správné nastavení teploty temperačního média. Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí na požadované výši. U forem pro zpracování plastů o vyšší teplotě se používá pro ohřev většinou elektrického vytápění. [7]

Temperační systém bývá umístěn:

- v pevné (vtokové) části formy;
- v pohyblivé části formy.

Každý z okruhů se může řešit zvláště, podle způsobu zaformování výstřiků i ostatních konstrukčních a technologických podmínek. Množství tepla \dot{Q} [W], které projde stěnou o ploše S [m²] a tloušťce s_k [m] je závislé na rozdílu teplot Δt [K] a součiniteli tepelné vodivosti materiálu λ [W.m⁻¹.K⁻¹], kterým prochází. [7]

Platí vzorec:
$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{s_k} \cdot S \cdot \Delta t .$$

3.3.2 Tepelná bilance formy

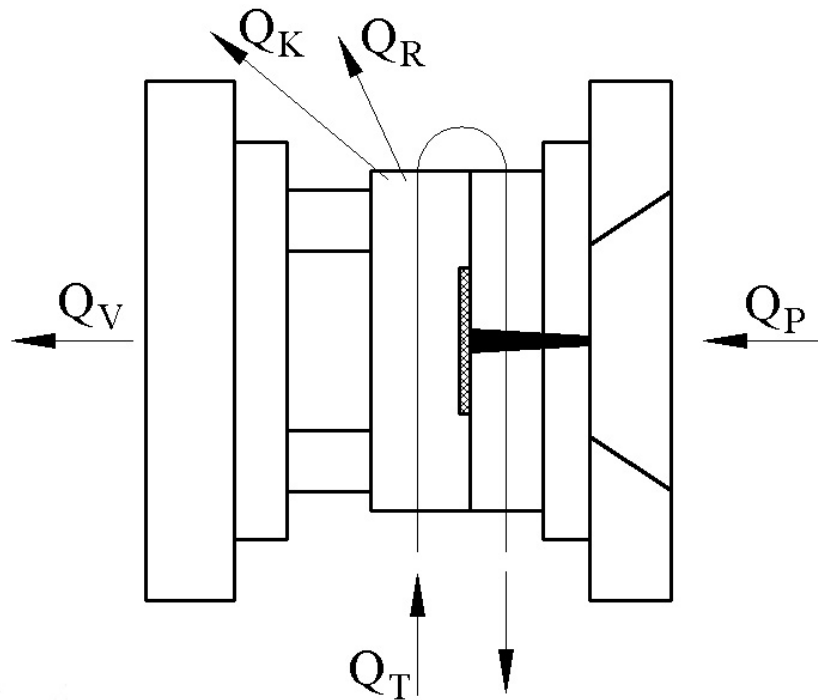
Při ustáleném vstřikovacím cyklu platí, že teplo přivedené taveninou plasty do formy se rovná teplu odvedenému z formy temperací a ostatními ztrátami (Obr. 11).

Platí:
$$Q_p = Q_t + Q_z$$

kde Q_p [W] je teplo přivedené polymerem, Q_t [W] je teplo odvedené temperací a Q_z [W] je teplo ztrátové, pro které platí:

$$Q_z = Q_V + Q_K + Q_R$$

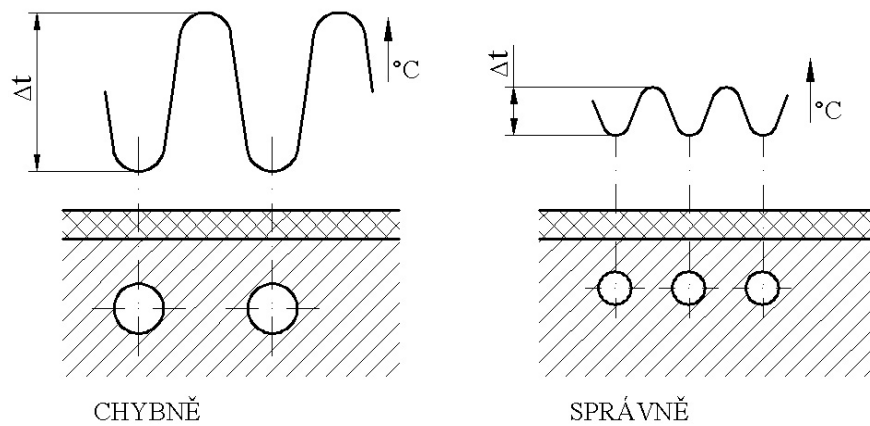
kde Q_V [W] jsou ztráty tepla odvodem do upínacích ploch vstřikovacího stroje, Q_K [W] jsou ztráty odvodem tepla do okolí a Q_R [W] jsou ztráty tepla vyzařováním. [F]



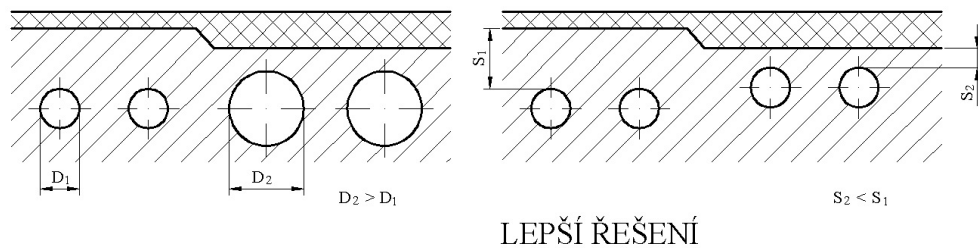
Obr. 11. Tepelná bilance vstřikovací formy [7]

3.3.3 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se předává nebo odvádí teplo z formy vhodným temperačním prostředkem nebo jiným zdrojem tepla. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od funkční dutiny má být optimální. Je třeba pamatovat na dostatečnou pevnost a tuhost stěny funkční dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního média a naopak. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi než naopak. Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a stále ve stejné vzdálenosti. V oblasti tlustší stěny výstřiku, případně v jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přibližují k dutině formy (Obr. 12 a 13). [7]



Obr. 12. Vliv rozmístění kanálů na průběh teploty na povrchu dutiny formy [7]



Obr. 13. Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny [7]

Průřez kanálů se volí podle velikosti výstřiku, druhu plastu a rámu formy. Nejběžnější průřez je kruhový. Orientační hodnoty průměru kanálu v závislosti na výstřiku a jeho rámu jsou v (Tab. 1). Zbytečně se nemá průměr zvětšovat, protože intenzita výměny tepla se zvýší jen nepatrně. Zato ale stoupá potřebné množství temperačního media. Také tuhost formy se sníží. Vedle kruhových kanálů se používají i kanály s obdélníkovými průřezy (vyfrézované drážky). Ty se vodotěsně překryjí nebo se do nich mohou uložit tenkostěnné měděné trubky. Pro dobrý tepelný styk se zalijí nízkotavitelným kovem (Sn, Zn, ...). [7]

Tab. 1. Orientační hodnoty průměru kanálu [7]

výstřik [g] rám [mm]	1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800
	160x160	6	6	6	6	6								
160x230		6	8	8	8	8	8	8						
230x230		8	8	8	8	8	8	8	8					
230x300			8	8	8	8	8	8	8	10				
300x300			8	8	8	8	8	8	8	10	10			
300x370				8	8	8	8	8	8	10	10	10		
370x370				8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	
370x440					8	8	8	8	8	10	10	10	12	12
440x440					8	8	8	8	10	10	12	12	12	12
440x510						8	8	10	10	10	12	12	12	12
510x510							8	10	10	10	12	12	12	12
510x650								10	10	12	12	12	12	12

Při volbě temperačního systému je třeba dodržovat následující pravidla:

- kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny formy, při zachování její dostatečné tuhosti;
- kanály umístit a dimenzovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny (u vtoku);
- průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu formy – u ohřívání naopak;
- průřez kanálů volit z výrobních důvodů kruhový. Je však možné volit i jiný průřez (např. obdélníkový);
- rozmístění kanálů se volí s ohledem na tvar výstřiku;
- kanály mají procházet celistvým materiálem formy. Pokud to není možné, je třeba stykové spoje utěsnit. Pokud je ve směru cesty temperačního média mnoho spojů a utěsnění by bylo obtížné, lze temperační kanál nahradit drážkou, do které se upevní měděná tenkostěnná trubka;
- po cestě temperačního média se nemají vytvářet mrtvé kouty, protože se v nich usazují nečistoty a jsou počátečními body ohnisek koroze a tím zarůstání kanálů;
- kanály se obvykle neumísťují v blízkosti hran výstřiku;
- průměr kanálů nemá být menší než 5 mm, jinak hrozí nebezpečí ucpání nečistotami, vodním kamenem apod. Menší kanály vyžadují použití upravené vody. Vysoké účinnosti temperačních systémů se dosáhne pasivací stěn kanálů, pravidelným čistěním a použitím nerezavějících materiálů. Před vstupem do úzkých temperačních kanálů má být umístěn čistitelný filtr;
- kanály konstruovat tak, aby se daly jednotlivé větve propojit hadicemi různým způsobem a pořadím;
- směr proudícího temperačního média se volí s přihlédnutím k možné rozdílné rychlosti odvodu tepla z různých míst. Chladná kapalina se má přivádět do nejteplejších míst. Tím se využije největšího teplotního spádu. V každém případě je třeba zvýšenou účinnost chlazení zajistit v blízkosti horkých ústí vtoku a v oblasti trysky i proti ní. [7]

Součinitel přestupu tepla závisí na kvalitě povrchu kanálu. Nemá být znečištěn rzi nebo jinými usazeninami, které účinnost kanálů snižují. Výkon temperačního okruhu lze zvýšit:

- zvýšením rozdílu teploty formy a temperačního média (snadno vzniká nerovnoměrná teplota formy);
- vytvořením podmínek pro zvětšení součinitele prostupu a přestupu tepla, vzdálenosti temperačních kanálů od líce formy, vznikem turbulentního proudění, použitím materiálu s větší tepelnou vodivostí λ , apod.;
- zapojením zvláštní větve chlazení.

V praxi se stále ve velké míře navrhuje temperační systémy na základě zkušeností konstruktéra. Takto provedené návrhy jsou dobré, ale u složitějších případů málokdy optimální. S rozvojem výpočetní techniky se stále více používají simulační programy, které poskytují nové možnosti sledovat tepelné děje ve formách. Výsledek pak má vliv na kvalitu i produktivitu výroby výstřiků. [7]

3.3.4 Temperační prostředky

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

- aktivní, které působí přímo ve formě. Teplo do formy přivádí nebo naopak odvádí;
- pasivní jako takové, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy.

Jejich volba je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby výstřiků a používají se obvykle ve vzájemné vazbě.

K aktivním temperačním prostředkům patří:

- kapaliny, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály, vytvořenými uvnitř formy. Dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. Obvykle se používají kapaliny, jejichž charakteristika je zřejmá z následující tabulky (Tab. 2).

Tab. 2. Aktivní temperační prostředky – kapaliny

Typ:	Výhody:	Nevýhody:
voda	dobrý přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena,	použitelné do 90 °C *), vznik koroze **),

	ekologická nezávadnost	usazování vodního kamene,
olej	možnost temperace i nad 100 °C	zhoršený přestup tepla
glykoly	omezení koroze a ucpání systému	stárnutí, znečišťování prostředí

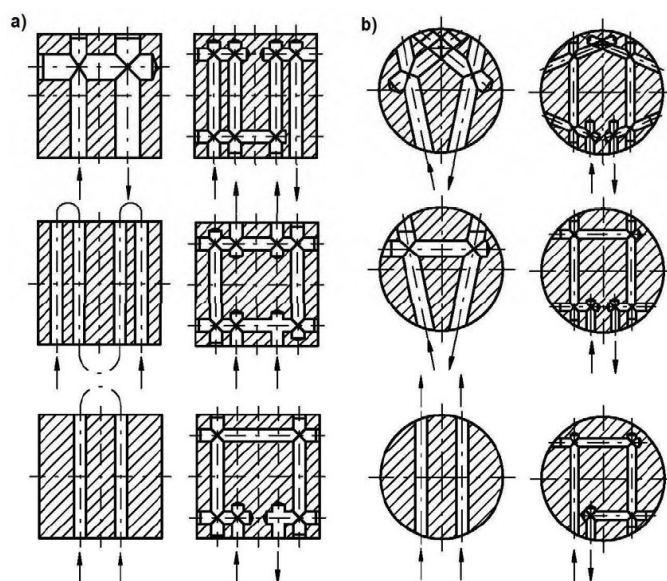
Vysvětlivky: *) v tlakových okruzích možno vodu používat i při vyšších teplotách,
**) lze potlačit uvravením vody

- vzduch – který se používá buď při volném proudění (při odvodu tepla z povrchu formy a při chlazení tvarových částí po čas otevření formy), nebo nuceného proudění působením přetlaku či podtlaku.
- Topné elektrické články – které se využívají zejména k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou v případech, kdy ztráty do okolí jsou větší než teplo dodané vstříkovaným polymerem.

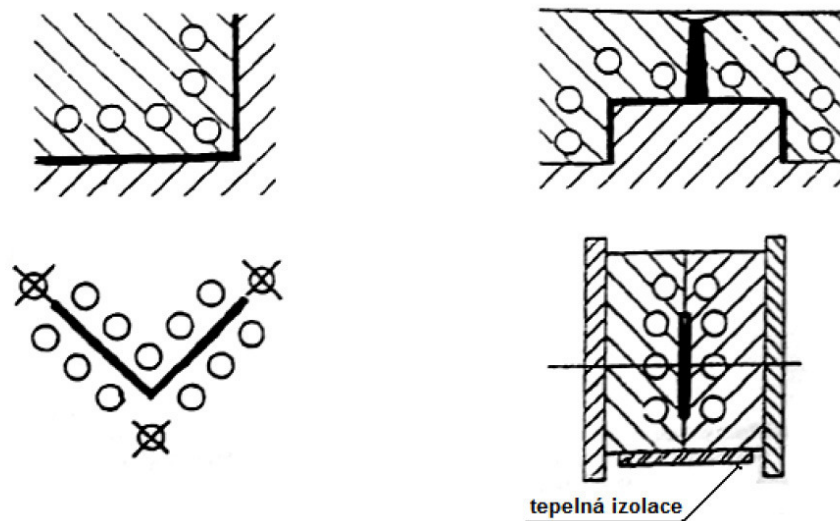
Temperační prostředky pasivní působí na formu svými fyzikálními vlastnostmi a řadí se k nim tepelně izolační materiály a tepelně vodivé materiály. [7]

3.3.5 Příklady řešení temperačních kanálů

U různých tvarů desek se temperace řeší dle (Obr. 14). Pokud je to možné, umísťují se kanály především v nejteplejších místech formy. U tvárnic se temperační kanály zhotovují dle (Obr. 15). Neumísťují se v blízkosti hran výstřiků. Minimální vzdálenost temperačních kanálů od dutin formy je dána pevností a tuhostí materiálu a vstřikovacím tlakem. [7]



Obr. 14. Příklady chlazení hranatých (a) a kruhových (b) desek [7]



Obr. 15. Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran výstřiků [7]

3.4 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarové dutiny u vstřikovacích forem je velmi důležité, protože doba vstřiku je velmi krátká a mohlo by dojít k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny taveninou plastu, k nebezpečnému zvýšení tlaku, k poklesu pevnosti v místech studených spojů nebo k tzv. diesel efektu, kdy může dojít až ke spálení materiálu. Proto je nutné zajistit intenzivní odvod vzduchu z tvarové dutiny formy, a to nejenom netěsnostmi v dělicí rovině, ale i konstrukcí odvzdušňovacích kanálků, které však nesmějí být příčinou vzniku otřepů na výrobku. Odvzdušnění má být provedeno v dělicí rovině na protilehlém místě vtoku. Na dostatečné odvzdušnění formy má vliv umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, umístění vyhazovačů, přítomnost tvarových vložek, apod. [1]

3.5 Vyhazovací systém

Protože se výstřiky při chladnutí v dutinách formy smršťují, vznikají mezi nimi a povrchy dutin třecí síly. Ty poté znesnadňují vyjímání výstřiků z forem. Vyhazovací systém forem má za úkol výstřiky po otevření formy vyhodit a pracuje ve dvou fázích:

- pohyb vpřed (vlastní vyhození);
- pohyb vzad (návrat vyhazovacího systému do původní polohy).

Pro správnou činnost vyhazovacího systému je třeba, aby měl výstřik hladký povrch a stěny měly úkosy minimálně $0^\circ 30'$. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby

se zabránilo přičení výstřiku a tím vzniku trvalých deformací nebo dokonce jeho poškození. Tvar, rozložení a umístění vyhazovačů je velmi rozmanitý a záleží na tvaru výstřiku.

V některých případech lze vyhazovače využít i k výrobě funkčních dutin nebo jako části tvárníku. U hlubokých tvarů umožňují odvodušnění. Ve většině případů zanechávají vyhazovače stopu na výstřiku. V případech, kdy je tato stopa na závadu, se výstřik buď dodatečně opraví nebo se vyhazovače umístí na stranu, kde stopa po jejich činnosti nebude vadit.

Kromě vyhazování výstřiků se vyhazují také vtokové zbytky. V některých případech uspořádání je dokonce možné oddělit vtokový zbytek od výstřiku.

4 VADY POLYMERNÍCH VÝROBKŮ

Vadou polymerního výrobku je defekt, kterým se liší vzhled, rozměry, tvar a vlastnosti od předem stanoveného normálu (standardu). Tím může být výkres výrobku, referenční vzorek nebo schválené přijímací podmínky.

Vady polymerních výrobků mohou mít příčiny ve:

- zpracovávaném plastu;
- v konstrukci výrobku;
- vstřikovacím stroji;
- vstřikovací formě;
- ve zvolených technologických podmínkách.

Vady se dělí na vady zjevné a skryté. [8]

Vady zjevné jsou takové vady, které lze zjistit při vizuálním porovnání s předepsaným a schváleným referenčním vzorkem. Dělí se dále na vady tvaru a vady povrchu.

K vadám tvaru patří např. propadliny, nedostříkнутé výrobky, přetoky a otřepy, vrásnění nebo zvlnění, vrstvení a delaminace, stopy po vyhazovačích, deformace dílu vlivem nevhodných parametrů vstřikování či nesprávné konstrukce formy (např. malé úkosy, poddimenzovaný vyhazovací systém, nevhodná vtoková soustava, vadný temperační systém, nedokonalé odvodušení), rozměrové vady a další.

K vadám povrchu patří nerovnoměrný lesk, stříbření, opalescence, matná místa, povrch gramofonové desky, povrch pomerančové kůry, stopy po studeném spoji, špatně vykopírovaný dezén, mikrotrhlínky, tokové čáry, nedokonalé vybarvení či změna barvy, žloutnutí u přírodních plastů, stopy po jiném či zdegradovaném materiálu (černé tečky, šmouhy, spálená místa), stopy po vlhkosti, uzavřeném vzduchu v tavenině a další. [8]

Vady skryté jsou vady, které nelze postihnout běžnou vizuální kontrolou. Jsou však nebezpečné, protože ovlivňují negativně vlastnosti výstřiků. U termoplastů mohou vznikat skryté vady v důsledku:

- nerovnoměrné orientace makromolekul nebo vláken (u vyztužených plastů);
- vnitřního pnutí;

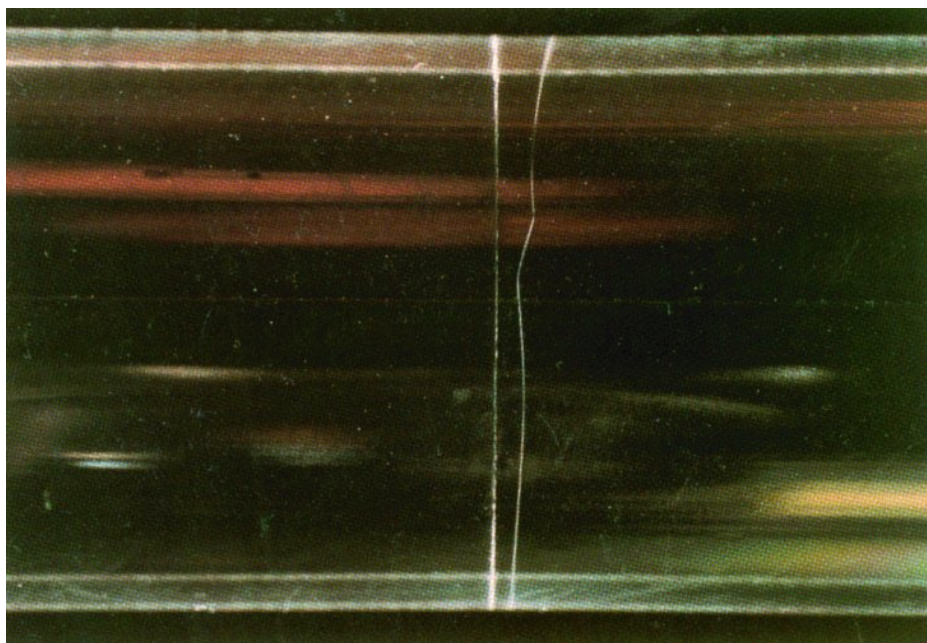
- nerovnoměrné krystalizace semikrystalických plastů;
- degradačních procesů vedoucích ke snížení pevnosti a houževnatosti;
- vnitřních defektů, jako jsou lunkry (vakuoly), uzavřený vzduch, plynné složky z degradačních procesů. [8]

4.1 Vady zjevné

Zjevné vady polymerních výrobků jsou tedy takové, které jsou patrné již vizuálním pozorováním. Mohou a nemusí zasahovat pod povrch výrobku.

4.1.1 Studený spoj

Studené spoje způsobují pevnostní zeslabení výstřiku a zároveň jsou i vzhledovými vadami povrchu. Vznikají vždy, když se hlavní proud taveniny vyplňující tvarovou dutinu formy rozdělí tvarovými prvky (např. jádry) na dva nebo více toků a znovu se spojí buď čelně (primární studený spoj) nebo bočně či tangenciálně (sekundární studený spoj). Čelní spoj je z pevnostního i vzhledového hlediska vždy nebezpečnější. U mechanicky namáhaných plastových dílů je pevnostní hledisko určující. Proto je též důležitý prvotní výběr termoplastu pro konkrétní aplikaci. Zatímco amorfní polymery vykazují značné pevnostní zeslabení v místě studeného spoje, který může přecházet až v podobu vrubu (Obr. 16), semikrystalické plasty jsou na tom z pevnostního hlediska studeného spoje podstatně výhodněji.



Obr. 16. Vruby u amorfního polymeru vzniklé v místě studeného spoje [8]

Sférolitická struktura totiž většinou prorůstá studeným spojem a pevnostní zeslabení pozitivně ovlivňuje. Velmi záleží na způsobu namáhání plastového výrobku. Při tahovém namáhání nehrozí tak značné nebezpečí poruchy (lomu) jako při namáhání v ohybu nebo dokonce v rázu, kdy u amorfních polymerů (zejména styrenových) dosahuje pokles houževnatosti (Charpy) v místě čelního studeného spoje i 50 % a více. U semikrystalických polymerů se pokles houževnatosti pohybuje pod 20 %. Pevnost v místě studeného spoje ovlivňuje též tloušťka stěny: čím je tloušťka menší, tím je pevnostní pokles výraznější. [8]

4.1.2 Stopy po volném proudu taveniny

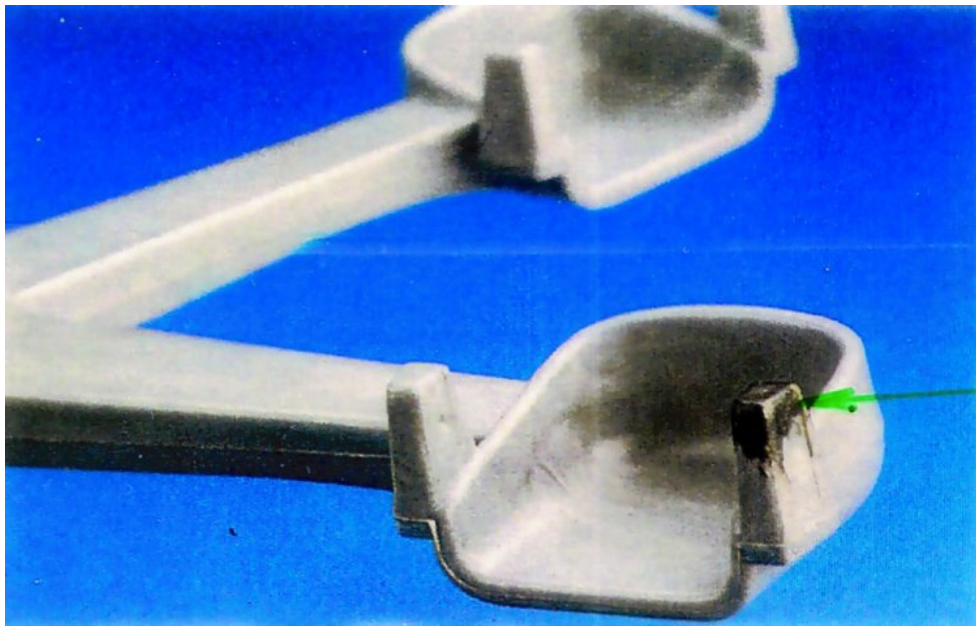
Stopy po volném proudu taveniny vznikají při nevhodné konstrukci a umístění vtoku, a to zejména u amorfních termoplastů (např. ABS). Jedná se o kombinaci vady vzhledové spojené s menším pevnostním zeslabením výstřiku v důsledku sekundárního studeného spoje. Tato vada je spojena s umístěním vtoku obvykle do čelní plochy výstřiku. Proud taveniny (zejména při pomalé rychlosti vstřikování) volně postupuje středem tvarové dutiny a zastaví se u protilehlé stěny nebo při dosažení nějaké překážky. Teprve potom následuje zaplnění celé tvarové dutiny. Prvotní proud taveniny se na povrchu ochladí, a tím vznikne viditelná stopa po volném proudu jako vzhledový defekt. Jedná se tedy o sekundární studený spoj se všemi důsledky.

Technologicky se tato vada dá odstranit velmi obtížně (zvýšením či profilací plnicí fáze, pozitivně působí i zvýšení teploty taveniny a formy). Většinou je však nutné přemístit ústí vtoku tak, aby tavenina po vstupu do tvarové dutiny formy narazila na stěnu a pokračovalo tak klasické zaplnění celé tvarové dutiny. V případě, že vtokové ústí nelze z konstrukčních důvodů přemístit, je nutno vytvořit proti ústí umělou překážku (např. zakomponováním jádra či kolíku), na kterou tavenina narazí a volný proud se tak rozruší. [8]

4.1.3 Dieselefekt

Vada dieselefekt vzniká při nedostatečném odvzdušnění dutiny formy a při vyšší vstřikovací rychlosti (Obr. 17). Vzduch, který se nepodařilo při plnění formy odstranit, se komprimuje, čímž nastává ohřev způsobující lokální degradaci materiálu. V krajním případě dochází i k jeho spálení. Na výstřiku v místě lokální komprese vzduchu vznikají nedoplněná místa a tmavé až černé stopy po spáleném materiálu. U tlustostěnných výstřiků může docházet k rozptýlení vzduchu v tavenině a tvorbě drobných bublin. Tato vada se někdy ne-

správně zaměňuje s tvorbou vakuol, které vznikají též v oblasti velké tloušťky stěny, avšak v důsledku objemového smrštění. Navíc bývají vakuoly obvykle větší. V místě zavírání vzduchu je nutno realizovat odvzdušňovací kanály, jejichž tloušťka závisí na typu zpracovávaného polymeru a technologických podmínkách vstřikování (tlaky, rychlosti, teploty). Hloubka plochých odvzdušňovacích kanálů by neměla být větší než 0,02 mm (délka min. 20 mm). U větší hloubky je nebezpečí vzniku nežádoucích otřepů či přetoků na výstřiku. [8]



Obr. 17. Dieselefekt – spálený polymer v místě komprese vzduchu [8]

Problémy s odvzdušněním se vyskytují především u nových forem, které mají dobře slícované dělicí roviny, tvarové prvky, čelisti a vyhazovače, u forem pro vstřikování plastů vyžadujících vysokou teplotu formy (150 až 205 °C), jako jsou PEI, PSU, PPS, PEEK, LCP, fluoroplasty a další. [8]

4.1.4 Vady tvaru a rozměrové vady

Vady tvaru jsou takové vady, u kterých tvar a rozměr dílu neodpovídají schválenému výkresu, 3D modelu či referenčnímu vzorku. Jedná se o díly deformované či narušené v důsledku výrobního procesu. Mezi nejčastější vady tvaru patří:

- přestříky, přetoky, otřepy;
- neúplné výstřiky;
- propadliny, staženiny, zvlňný povrch;

- stopy po vyhazovačích;
- deformace výstřiku při vyhození z formy;
- delaminace povrchu, stopy po studené tavenině;
- nedodržení rozměrů a předepsaných tolerancí.

Příčiny všech výše vyjmenovaných vad bývají ve zpracovávaném polymeru, v technologickém procesu vstřikování, ve vstřikovací stroji, formě a v nesprávně zvoleném tvaru výstřiku. [9]

Rozměrové vady plastového výstřiku plynou z nevhodného návrhu a konstrukce tvarové dutiny formy. Konstruktor vstřikovací formy musí počítat se smrštěním vstřikovaného dílu a to nejen v průběhu technologického procesu, ale i po jeho ukončení, kdy probíhá dosmršťování. V praxi jsou popisovány celkem čtyři druhy smrštění, které jsou popsány dále.

Objemové smrštění začíná ve formě po zaplnění tvarové dutiny taveninou a po ukončení dotlakové fáze. Probíhá dále během procesu chlazení a i po vyhození výstřiku z formy do té doby, než se výstřik neochladí na teplotu okolí. Objemové smrštění lze odečíst z pVt diagramů příslušných polymerů. Fyzikální příčinou smrštění tavenin polymerů je jejich teplotní roztažnost, vyjádřená součinitelem délkové teplotní roztažnosti.

Lineární smrštění (výrobní smrštění) je rozdíl mezi rozměrem tvarové dutiny formy a rozměrem výstřiku vztaženým na rozměr formy (při konstantní teplotě) a vyjadřuje se v procentech. Hodnotu smrštění předurčuje stavba polymeru (amorfní, semikrystalické) a použitá aditiva a plniva. Závisí dále na orientaci makromolekul či vláknitých plniv, u semikrystalických polymerů též na velikosti a rozložení krystalického podílu. Smrštění lze ovlivnit technologickými parametry, zejména velikostí dotlaku, dobou dotlaku a teplotou formy. U výstřiků s klasickou vtokovou soustavou (otevřené ústí vtoku) lze vysledovat nepřímou úměru mezi hmotností výstřiku a hodnotami smrštění. V těchto případech lze využít kontrolu hmotnosti pro informaci o smrštění ihned po vyjmutí výstřiku z formy.

Dodatečné smrštění je změna rozměru po delší době, případně po aplikaci dílu při zvýšené teplotě (temperaturi), kdy pokračuje zmenšování objemu a dosmršťování výstřiku až na konstantní hodnotu. Vyjadřuje se v procentech vztažených na původní rozměr výstřiku.

Anizotropie smrštění je rozdíl smrštění ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny vztažený na hodnotu smrštění ve směru toku. U amorfních i semikrystalických

polymerů jsou tyto rozdíly velmi malé (amorfní plasty mají smrštění ve směru toku nepatrně menší než ve směru kolmém, u semikrystalických plastů je tomu naopak). Anizotropie se výrazně projevuje u polymerů vyztužených skleněnými vlákny. [9]

4.1.5 Vady vzhledové (vady povrchu)

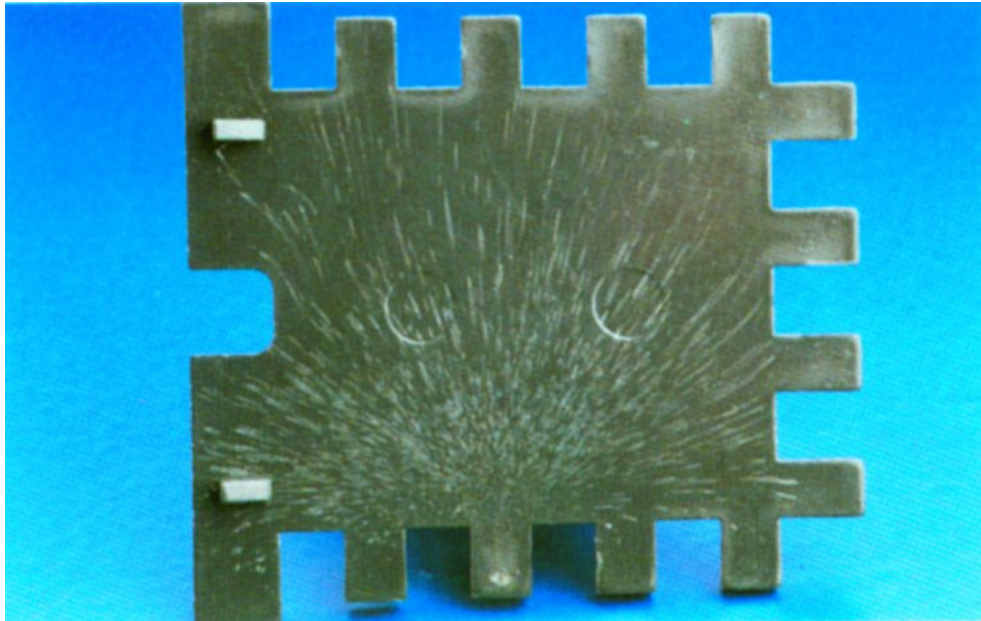
Podle vzhledu a estetického provedení (designu) se odvozuje hodnota plastových výrobků. Nejprísnější hledisko na vzhled je uplatňováno u domácích spotřebičů a u pohledových dílů motorových vozidel (automobilový průmysl). Specifická kritéria pak platí pro díly optického charakteru (u motorových vozidel se jedná o reflektory, kryty světel, odrazová světla a další).

Vady povrchu většinou výrazněji neovlivňují mechanické či užité vlastnosti plastových dílů. Výjimku tvoří například studené spoje (vedle stop na povrchu dochází v místě studeného spoje též k pevnostnímu zeslabení) nebo stopy po volném proudu taveniny (zde vznikají sekundární studené spoje s menším účinkem na pevnostní hodnoty). Příčiny povrchových vad nalézáme ve zpracovávaném plastu, v nastavených technologických podmínkách, ve vstřikovací stroji, formě a v nevhodné konstrukci plastového výstřiku. [10]

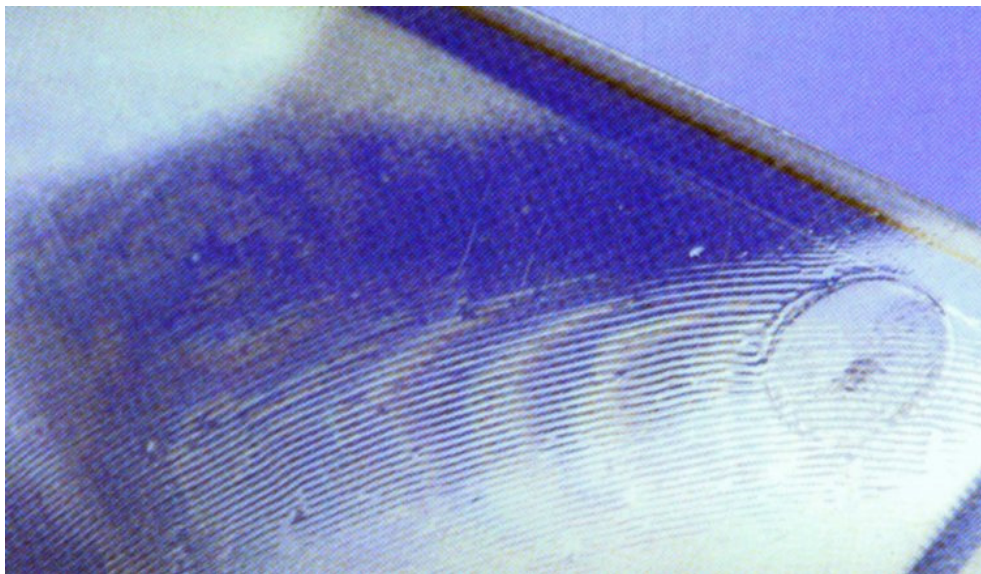
Mezi vady povrchu se řadí:

- šmouhy, šlíry, nehomogenita probarvení;
- tmavé body či šmouhy na povrchu výstřiku;
- stopy po vlhkosti (Obr. 18);
- stopy po uzavřeném vzduchu, plynných produktech (drobné bublinky);
- rozdíly v lesku u leštěných povrchů a nepravidelnosti na strukturovaném povrchu;
- stříbření, opalescence, napět'ové trhlinky;
- studené tokové linie (proudnice), tokové čáry;
- vzhled gramofonové desky (Obr. 19), pomerančové kůry, jemně rýhovaný povrch;
- stopy po studeném spoji;
- kresba po volném proudu taveniny (meandrový tok);
- místní degradace až spálení materiálu v důsledku komprese vzduchu (dieselefekt).

[10]



Obr. 18. Vlhký materiál (PP + plnivo) [10]



Obr. 19. Vzhled gramofonové desky [10]

4.2 Vady skryté

Vady skryté jsou takové vady výstřiků, které nelze postihnout vizuální kontrolou. Lze je však zjistit pomocí laboratorních metod použitím potřebného zkušebního zařízení. Z aplikačního hlediska jsou tyto vady nebezpečné, neboť mohou negativně ovlivnit rozměrovou přesnost a mechanické vlastnosti výstřiku. Nejnebezpečnější skrytou vadou je vnitřní pnutí.

[11]

4.2.1 Vnitřní pnutí

Vnitřní pnutí je stav napjatosti ve výstřiku, který není vyvolán vnějším mechanickým zatížením, ale deformacemi vlivem nerovnoměrných objemových změn při vstřikování. Vnitřní pnutí je jedním z měřítek stavu výstřiku, odrážejícího teplotní a tlakové poměry při plnění, dotlaku a ochlazování taveniny ve formě. Je tudíž odrazem tepelné historie tváření výstřiku za spolupůsobení tlaku. Proto je ovlivňováno teplotami taveniny a formy, průběhem ochlazování, tlakem, dotlakem, dobou jeho působení i rychlostí plnění formy.

Příčiny vnitřního pnutí mohou být v konstrukci výrobku, vstřikovací formě, nevhodně zvoleném typu plastu nebo v oblasti technologie. Stav napjatosti mohou ovlivnit dodatečné úpravy výstřiků (např. temperování, kondicionování) nebo i následné operace, jako např. svařování, obrábění, dodatečné tvarování aj. Vnitřní pnutí může ve výstřiku vzniknout i při jeho vyhazování z tvarové dutiny formy jako důsledek poddimenzované plochy vyhazovačů, malých úkosů na výstřiku či jiných konstrukčních vadách formy.

Dle původu se člení u výstřiků vnitřní pnutí na tepelné pnutí, pnutí z nerovnoměrné orientace, pnutí z nerovnoměrné krystalizace a pnutí vlivem dotlakové fáze. [11]

Tepelné pnutí vzniklé v důsledku nerovnoměrného ochlazování jednotlivých částí výstřiku. Povrch výstřiku a oblast bezprostředně související s relativně studenou stěnou formy tuhne dříve a jejich smrštění je ukončeno v čase, kdy se střed ještě nachází ve viskózně tekutém stavu. Tekuté jádro tuhne a smršťuje se v pevné slupce, která může podléhat elastickým deformacím. Po ztuhnutí celého průřezu výstřiku je v povrchové vrstvě tlakové pnutí a ve středu výstřiku pnutí tahové. Tepelné pnutí tahové vzniká také kolem zastříknutých kovových vložek a je způsobeno rozdílem teplot a rozdílem teplotní roztažnosti kovové vložky a okolního plastu. [11]

Pnutí z nerovnoměrné orientace vzniká jako následek rozdílné orientace makromolekul nebo vláknitých plniv po průřezu výstřiku, případně podél tokové dráhy. Toto pnutí bývá výrazné zejména u tenkostěnných výstřiků z amorfních termoplastů a často vede k nepravidelným deformacím a k povrchovým defektům. [11]

Pnutí z nerovnoměrné krystalizace vzniká následkem rozdílné krystalizace po průřezu výstřiku u semikrystalických termoplastů. Při rychlém ochlazení taveniny na stěně formy dochází v povrchových vrstvách k potlačení krystalizace. Ve středu výstřiku jsou zachovány podmínky k plnému rozvinutí krystalické struktury. Rozdílný je tedy nejen obsah krystalic-

kého podílu, ale i velikost a rozložení sférolitů. Projeví se tudíž tzv. skin-core efekt vyvolávající stav napjatosti. Přispívá k tomu nejen rozdílný teplotní gradient po průřezu výstřiku, ale též objemové změny v důsledku rozdílné hustoty rychle ochlazených povrchových oblastí a vnitřních částí výstřiku s plně rozvinutou krystalickou strukturou. [11]

Pnutí vlivem dotlakové fáze. Úkolem dotlakové fáze (úroveň a doba dotlaku) je doplnění objemových ztrát, které vznikají v tvarové dutině formy v důsledku objemového smrštění. Cílem je zamezení vzniku propadlin a vnitřních dutin (lunkrů) a dosažení požadované hmotnosti a rozměrů výstřiku. Bohužel doplňování taveniny do chladnoucího výstřiku je provázeno vznikem vnitřního pnutí, které je úměrné součinu úrovně dotlaku a doby jeho působení. [11]

4.2.2 Orientace polymerních řetězců a vláknitých plniv

U polymerních materiálů dochází při vstřikování v důsledku značného smykového namáhání k orientaci makromolekul nebo u vlákniny vyztužených termoplastů k orientaci vláken. Orientace je příčinou anizotropie vlastností, zejména pevnostních hodnot materiálu, smrštění a dodatečného smrštění. Má tedy značný vliv na tvarovou a rozměrovou stabilitu výstřiku.

Vliv technologických parametrů na orientaci byl vysledován experimentálně na výřezech výstřiků z polystyrenu. K vyhodnocení bylo použito jak fotoelasticimetrie, tak deformačních změn při teplotě nad teplotou T_g . Pro amorfní termoplasty byl prokázán pozitivní vliv teploty taveniny a vstřikovací rychlosti, částečně též teploty formy a dotlakové fáze, která ovlivňuje zejména oblast výstřiku v okolí vtoku. Obecně platí, že čím je teplota taveniny a vstřikovací rychlost vyšší, tím je menší anizotropie smrštění výstřiku, neboť se sníží stupeň orientace ve směru toku taveniny. U semikrystalických polymerů není vliv výše zmíněných parametrů tak výrazný, neboť dominantní vliv na vlastnosti zde má obsah a rozložení krystalické struktury. Příklad vlivu anizotropie smrštění na deformaci víka je na (Obr. 20). [12]

Podobně jako orientace makromolekul probíhá při vstřikování plastů vyztužených vláknitými plnivy (nejčastěji skleněnými vlákny) orientace vláken. Těsně u povrchu je uspořádání nepravidelné, pod povrchem převládá orientace ve směru toku a ve středu výstřiku jsou vlákna orientována kolmo na směr toku taveniny. V případě, že proud taveniny narazí na

překážku (zálisek, jádro formy apod.), změní se charakter orientace ve střední části, kde převládne orientace ve směru toku. [12]



Obr. 20. Deformace víka z PP a PE vlivem anizotropie smrštění jako důsledek rozdílné orientace [12]

4.2.3 Nadmolekulární struktura semikrystalických plastů

Nadmolekulární struktura předurčuje pevnostní chování a rozměrovou přesnost výstřiků při aplikačním použití. Nadmolekulární struktura polymeru je specifikována obsahem krystalického podílu ve výstřiku, velikostí a rozložením sférolitů, případně skin-core efektem.

Krystalizace z taveniny polymeru závisí především na teplotě a čase. Schopnost krystalizace souvisí se stavbou makromolekuly a může být pozitivně ovlivněna přítomností aditiv (nukleačních látek). Z technologických parametrů má na obsah krystalinity vliv především teplota formy a doba ochlazování. Čím vyšší je teplota formy a delší doba ochlazování, tím je obsah krystalického podílu větší. Obsah krystalinity je přímo úměrný specifické hmotnosti polymeru, a proto je snadné ho ze specifické hmotnosti vypočítat. Obsah krystalického podílu se mění po průřezu výstřiku – u povrchu je nižší než ve středových oblastech. Závisí též na rozložení teploty tvarové dutiny formy (oblast u ústí vtoku bývá teplejší a jsou tam tedy lepší podmínky pro krystalizaci). Z hlediska vlastností výstřiku platí, že čím je obsah krystalinity vyšší, tím větší je smrštění proti formě a též je větší tuhost, pevnost a tvarová stálost za tepla. [12]

Důležitým faktorem ovlivňujícím pevnostní chování dílů ze semikrystalických polymerů je velikost a rozložení sférolitů. Ideálním stavem jsou drobné a pravidelné sférolity po celém průřezu výstřiku. Pozitivně působí i potlačení skin-core efektu (eliminace povrchové bezsférolitické vrstvy). Velikost a rozložení sférolitů z technologických parametrů ovlivňuje opět především teplota formy a doba ochlazování. Čím jsou tyto parametry vyšší, tím je vyšší strukturní homogenita. Na krystalickou strukturu a velikost sférolitů má velký vliv i přítomnost nukleačních látek v polymeru (nukleačními látkami mohou být např. aktivní saze, anorganické pigmenty, skleněná vlákna atd.). Tyto látky ovlivňují též teplotu začátku krystalizace a čas krystalizace, potřebný k dosažení optimální struktury. [12]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární rešerši na dané téma;
- dle zadaného dílce (včetně 3D modelu) vytvořit pomocí programu Catia V5R18 3D model tvárníku a tvárnice;
- následně vytvořit 3D sestavu vstřikovací formy pro daný díl;
- navrhnout alespoň dva typy řešení temperace navržené formy;
- zhotovit výkresy sestavení včetně seznamu položek všech dílů formy;
- návrh formy a temperace ověřit pomocí programu Autodesk Moldflow Insight 2011 a navrhnout řešení optimalizace temperace.

V teoretické části byla popsána charakteristika vstřikování, typy vstřikovacích strojů, základní zásady, kterých je třeba dbát při návrhu vstřikovacích forem, a nakonec druhy vad polymerních výrobků, které se nejčastěji vyskytují při výrobě.

V praktické části budou dle dílce, který dodala firma Hella Autotechnik, s.r.o. Mohelnice, vytvořeny 3D modely vložek (tvárníku a tvárnice). S přihlédnutím ke známým skutečnostem o zadaném výrobku, kterým je BL reflektor, bude vytvořena s využitím normálíí výrobce HASCO kompletní 3D sestava formy. Následně budou navrhnuty minimálně dva typy temperačních okruhů. Jeden bude konvenční, tzn. běžný systém vrtaných kanálů a druhý nekonvenční, vyrobený pomocí technologie DMLS.

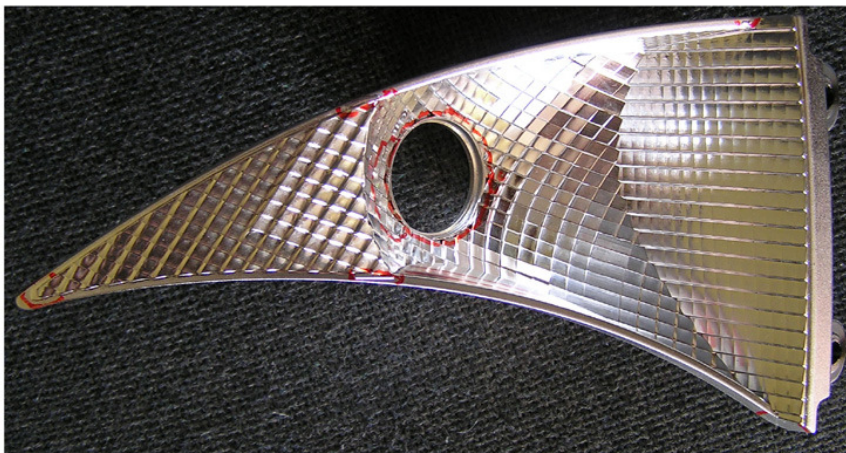
Návrhy formy a temperací budou zanalyzovány v programu Autodesk Moldflow Insight 2011. Výsledky analýz budou zhodnoceny a porovnány.

6 CHARAKTERISTIKA ZADANÉHO DÍLCE – REFLEKTORU

Reflektor byl pro diplomovou práci poskytnut jako fyzický díl i ve formě 3D dat programu Catia V5R18.

6.1 Vzhled a popis reflektoru

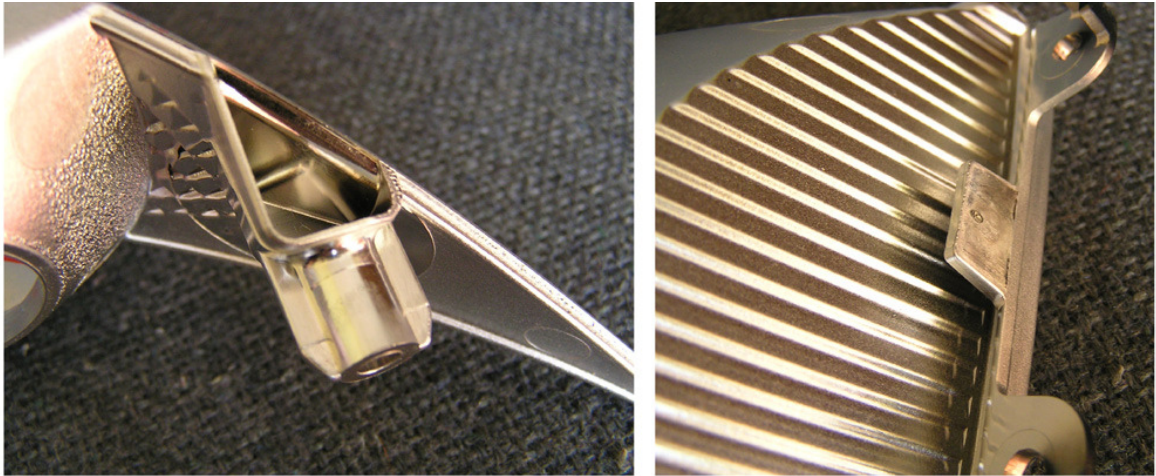
Zadaným dílcem je BL reflektor, který je součástí komplexního výrobku – světlometu pro osobní automobil.



Obr. 21. Zadaný dílec – reflektor

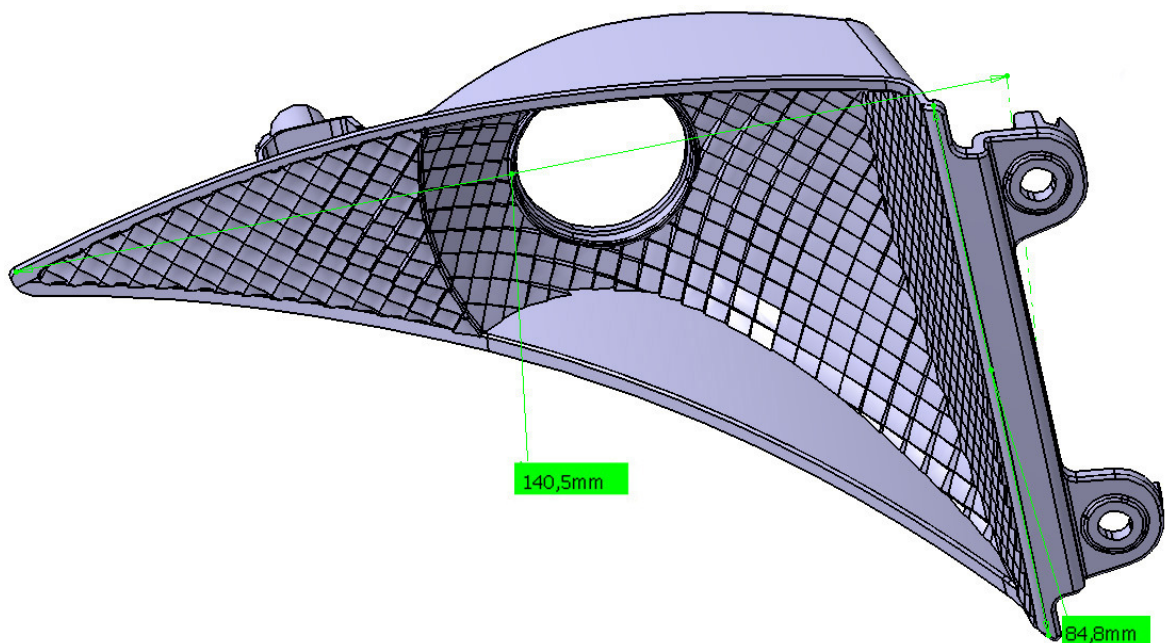
Na (Obr. 21) nahoře je přední – funkční strana reflektoru s danými optickými vlastnostmi a dole je zadní – nepohledová část reflektoru. Ve středovém otvoru se poté již v komplexním výrobku (světlometu) nachází žárovka.

Na (Obr. 22) vlevo je detail otvoru, který se odformovává rovnoběžně s dělicí rovinou a bude tedy vyžadovat boční posuvnou čelist. Na stejném obrázku vpravo je patrný detail umístění vtokového ústí.



Obr. 22. Detaily míst zadaného dílce

Na následujícím obrázku (Obr. 23) je 3D model reflektoru se dvěma naměřenými orientačními rozměry.



Obr. 23. 3D model zadaného dílce

6.2 Charakteristika použitého materiálu

Materiálem použitým při výrobě dílce je polykarbonát (PC). Tento polymer je zcela amorf- ní, průhledný a řadí se do skupiny polyesterů. Polykarbonát je použitelný pro technicky namáhané dílce i za zvýšených teplot. Vyrábí se z něj např. trubky, tyče, profily, fólie, ozubená kola, kluzná ložiska, tiskařské fólie, vlákna, CD a optické dílce (brýle, kryty lamp, automobilové světlomety, ...).

Charakteristické vlastnosti PC:

- teplota tečení $T_f = 148 \text{ }^\circ\text{C}$;
- hustota $\rho = 1,2 - 1,5 \text{ g/cm}^3$;
- modul pružnosti $E = 2000 - 3000 \text{ MPa}$;
- mez pevnosti $60 - 80 \text{ MPa}$;
- tažnost $80 - 120 \%$.

Dlouhodobě používat polykarbonát lze v rozmezí teplot -70 až $130 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dílec je v poslední části své výroby pokovován, aby získal požadované optické vlastnosti.

7 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

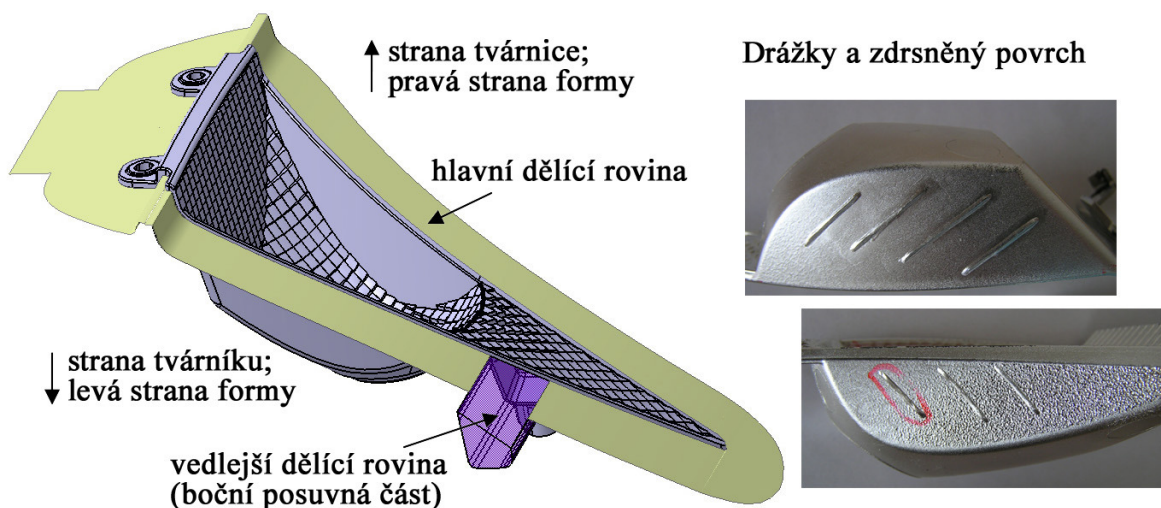
Pro tvorbu návrhu vstřikovací formy byl použit software Catia V5R18. Návrh formy byl tvořen s ohledem na dané známé skutečnosti o již v současné době vyráběném dílci, který je blíže popsán v následující podkapitole. Mezi tyto informace patří:

- forma je 1+1 násobná, tzn. že při jednom vstřikovacím cyklu se vyrobí naráz dva výrobky – pravý a levý reflektor. Výrobky jsou vůči sobě osově symetrické.
- vtokový systém je kombinovaný. Obsahuje jednu horkou trysku a jednu větev studeného rozvodného kanálu do každé z obou dutin. Vtok je tunelový s daným místem vtokového ústí.

Při návrhu byly využity normálie firmy Hasco, které byly do sestavy vkládány z katalogu Hasco Dako Modulu.

7.1 Zaformování

Poloha hlavní dělicí roviny je patrná z (Obr. 24). Není rovnoběžná s upínacími plochami stroje a tvoří ji více různoběžných rovin. Prochází hranou výrobku a to tou vzdálenější od strany pohledové části výrobku. To proto, aby případné menší vady vzniklé v dělicí rovině nezneškodnocovaly celý výrobek. Vedlejší dělicí rovina je tvořena boční posuvnou čelistí.



Obr. 24. Poloha hlavní a vedlejší dělicí roviny

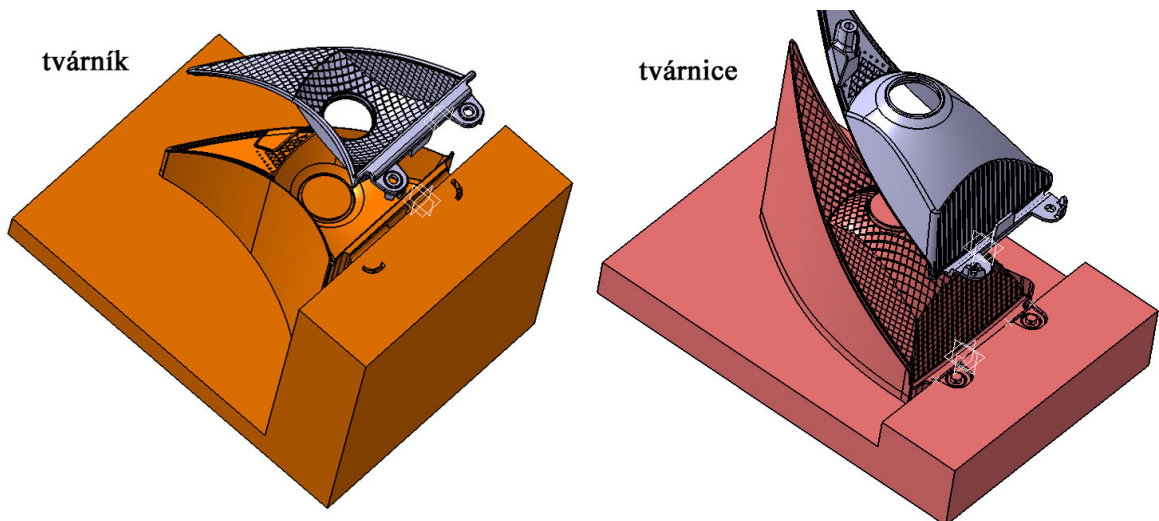
Orientace výrobku vzhledem k dělicí rovině není optimální z hlediska vyhazování. Výrobek by měl při postupném smršťování způsobeném ochlazováním „přilnout“ vlivem třecích

sil k tvarovým plochám tvárníku. Výrobek by poté při otevírání formy zůstal na straně tvárníku, což je žádoucí.

V tomto případě je ovšem výrobek orientován naopak. Vlivem smršťování během chlazení se zvyšují třecí síly mezi výrobkem a plochami tvárnice. Naopak mezi výrobkem a plochami tvárníku se třecí síly zmenšují, což je nežádoucí. K tomu, aby výrobek při otevření formy zůstal na straně tvárníku napomáhá nejen boční posuvná čelist, ale také drážkování a zdrsnění povrchu výrobku na bočních stěnách (Obr. 24).

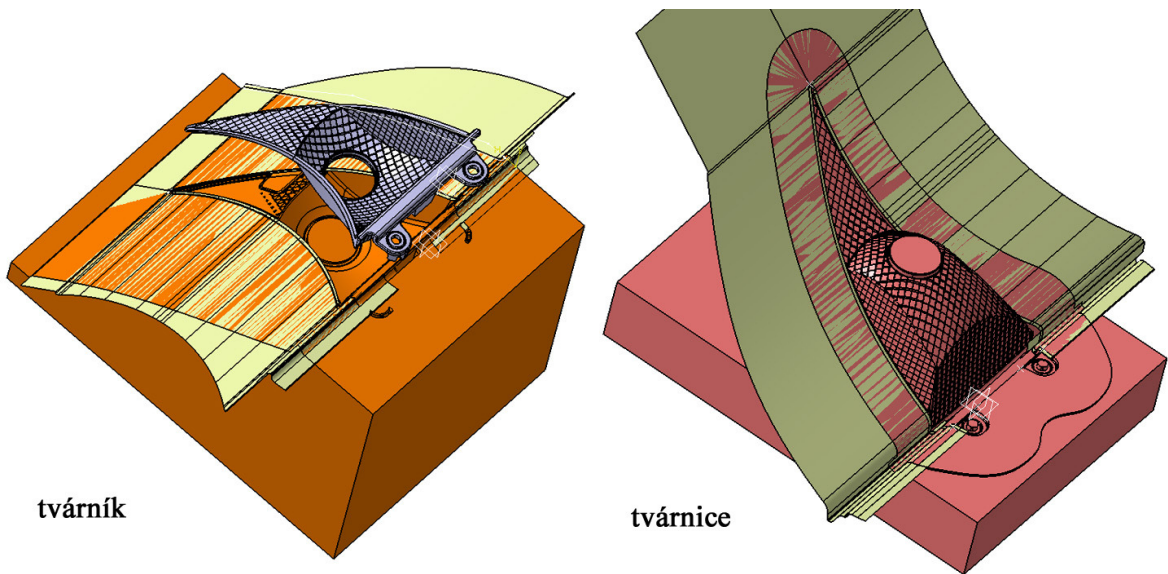
7.2 Tvorba vložek – tvárnice a tvárníku

Tvorba samotných vložek (tvárníků a tvárnice) byla nejsložitější částí z celého návrhu formy. Pro tvorbu byl k dispozici 3D model výrobku. Ten byl zvětšen měřítkem ve směru všech os o násobek 0,006 (smrštění PC 0,6 %). Z takto zvětšeného modelu mohly být vytvořeny dutiny ve tvárníku a tvárnici (Obr. 25). Všechny plochy tvořící přímý povrch dutiny formy byly vytvořeny pomocí booleanských operací.



Obr. 25. Tvorba dutin tvárníku a tvárnice

Protože je dělicí rovina tvořena množstvím rovin, které nejsou rovnoběžné, muselo být pro její tvorbu využito ploch. Ty se vysunovaly ve vodorovném směru z jednotlivých hran výrobku (Obr. 26). K těmto připraveným plochám mohla být ze základny vysunuta skica a vznikl tak solid, z něhož poté dalším odebráním byla vytvořena samotná dělicí rovina.

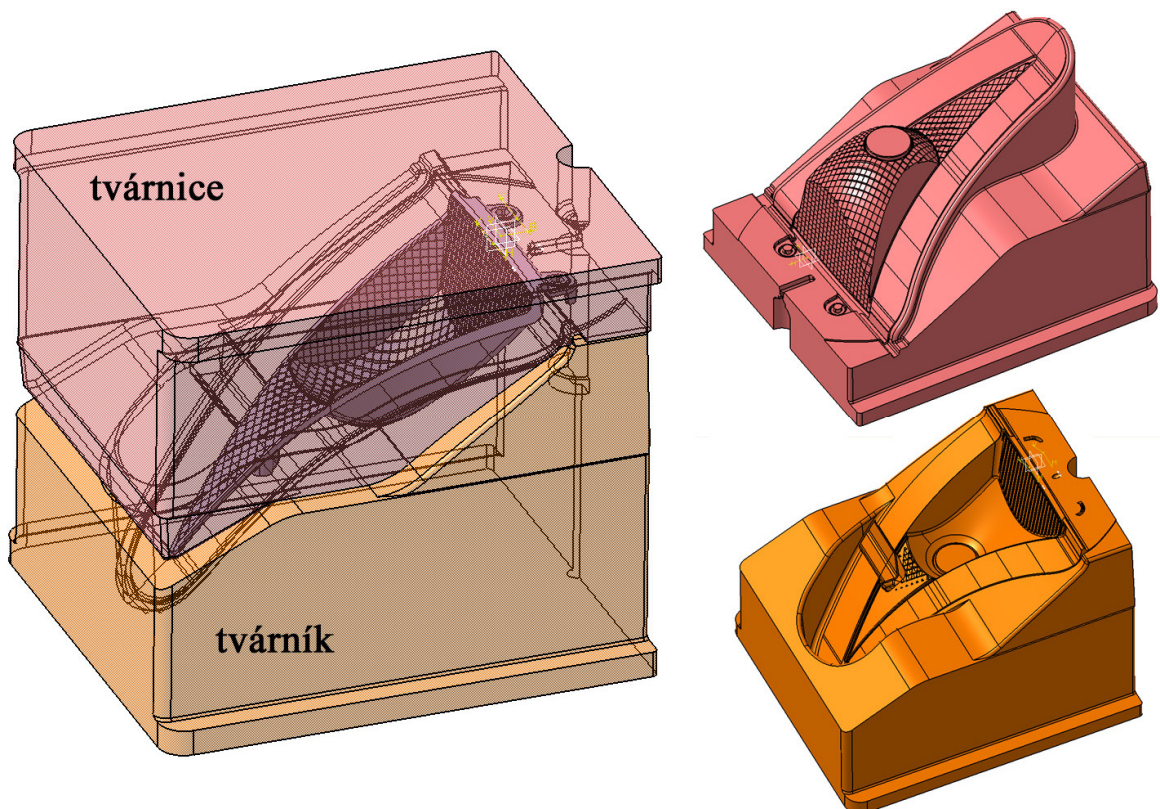


tvárník

tvárnice

Obr. 26. Tvorba dělicí roviny tvárníku a tvárnice

Konečný vzhled tvárníku a tvárnice je na (Obr. 27).



tvárnice

tvárník

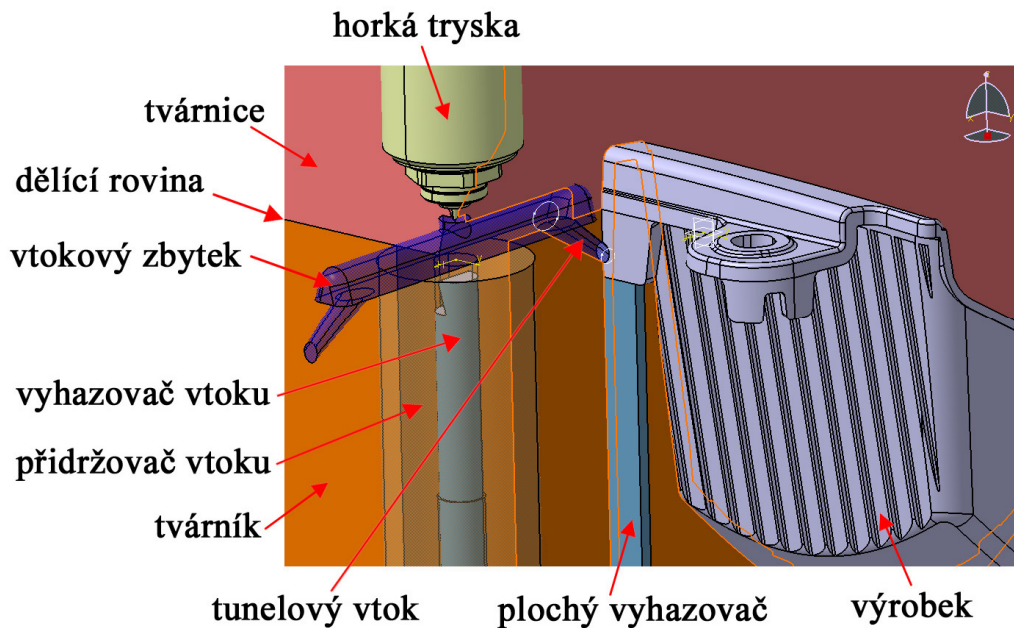
Obr. 27. Konečný vzhled vložek (tvárníku a tvárnice)

Rozměry vložek jsou: 150 mm na šířku (+ 10 mm patky pro ukotvení) a 191 mm na délku. U jednoho z návrhů byly vložky prodlouženy o 15 mm na celkovou délku 206 mm. Plocha, kterou na sebe tvárník s tvárnicí při uzavření formy dosedá, má šířku 20 mm a tvoří dělicí rovinu. Zbytek je odlehčený a při uzavření formy se nedotýká. Po vytvoření tvárníku a

tvárnice byly vytvořeny zrcadlově převrácené kopie. Forma je 1+1 násobná a při vstřikovacím cyklu vznikají dva různé (zrcadlově převrácené) výrobky.

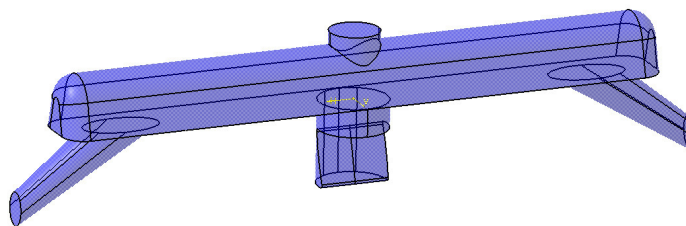
7.3 Vtokový systém

Vtokový systém je kombinací horké trysky a studeného rozvodného kanálu. Horká tryska firmy Synventive má průměr 4 mm. Větve studeného rozvodného kanálu jsou vytvořeny na straně tvárnice. Ve tvárníku je pak vytvořen tunelový vtok (Obr. 28). Vtokový zbytek je při otevření formy přidržen na levé straně pomocí přidržovače vtoku. Ten má konstantní průměr dutiny, aby se při vyhazování snadněji odformoval a nešpinil formu odřezky polymeru. Při vyhazování je vtokový zbytek odstříhnut od výrobku o ostrou hranu ve vtokovém ústí. K odstříhnutí napomáhá plochý vyhazovač.



Obr. 28. Řez vložkami podél vtokového systému

Vzhled vtokového zbytku je na (Obr. 29).



Obr. 29. Vtokový zbytek

V případě kratších vložek zaujímá vtokový zbytek objem $0,8659 \text{ cm}^3$. Objem výrobku je $28,23 \text{ cm}^3$. Objem celkové vstříknuté dávky včetně vtokového zbytku je poté $57,33 \text{ cm}^3$.

Technologickým odpadem je tedy 1,52 % z celkové vstřikovací dávky. U rozšířených vložek zaujímá vtokový zbytek objem 1,313 cm³, což je 2,27 % z celkové vstřikovací dávky.

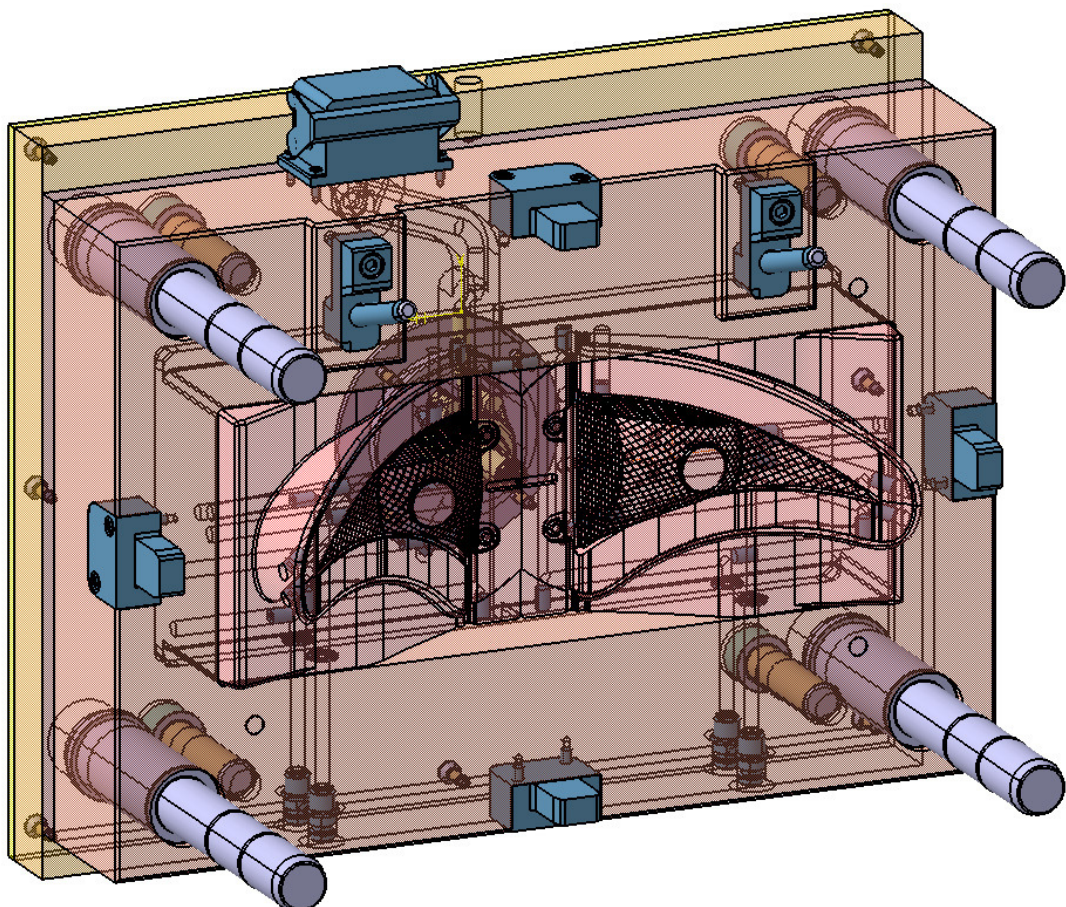
7.4 Odvzdušnění

Odvzdušnění dutiny formy při naplňování taveninou je řešeno únikem vzduchu vůlemi mezi vyhazovači a tvárníkem a také vůlemi v hlavní a vedlejší dělící rovině.

7.5 Konstrukce sestavy formy

Byly vytvořeny celkem 3 sestavy formy se třemi různými typy temperací, které jsou popsány v následující kapitole. Sestavy se mezi sebou liší pouze umístěním přípojek a kanálů pro temperaci, vnitřními rozměry kotevních desek a velikostí vložek (tvárníků a tvárnic). Sestavy jsou složeny ze 206 až 262 dílů. Většina z nich jsou normáliemi, které byly do sestavy vloženy pomocí katalogu Hasco Dako Modul.

7.5.1 Pravá strana formy

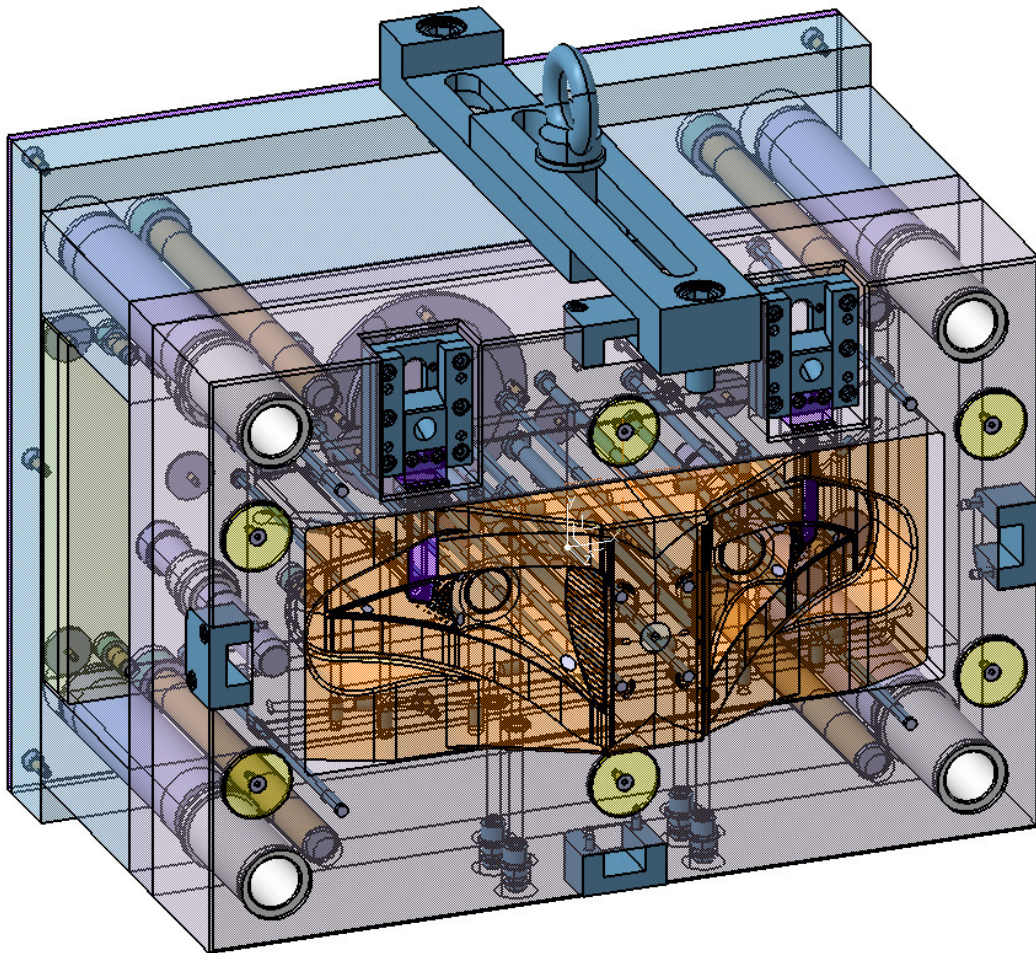


Obr. 30. Vzhled pravé strany formy pro 1. a 3. návrh temperace

Pravá strana formy se skládá z kotevní desky, ve které jsou ukotveny tvárnice, dále pak z mezidesky a pravé upínací desky (Obr. 30). Isolační deska slouží k zamezení vedení tepla z povrchu formy na vstřikovací stroj. Rám upínacích desek byl zvolen velikosti 396 mm na výšku x 496 mm na šířku. Rám kotevních desek je poté 346 mm na výšku x 496 mm na šířku. Celková délka formy je 455 mm.

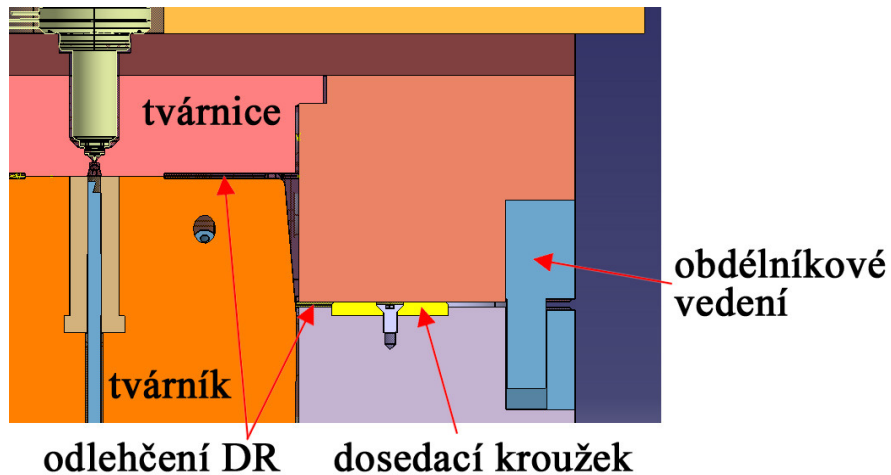
7.5.2 Levá strana formy

Levá strana formy se skládá z kotevní desky, ve které jsou umístěny tvárníky, z mezidesky, rozpěrných desek a upínací desky (Obr. 31). Stejně jako pravá strana obsahuje i levá isolační desku.



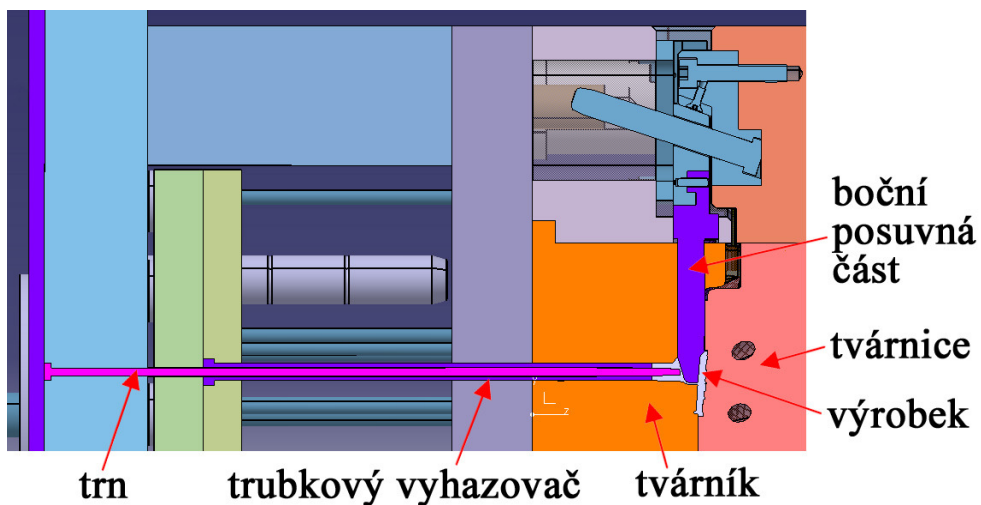
Obr. 31. Vzhled levé strany formy pro 1. a 3. návrh temperace

Na levé straně formy se v dělicí rovině nacházejí dosedací kroužky (Obr. 32). Na ně při uzavření formy dosedá pravá strana formy. Tyto kroužky jsou z kalené oceli a mají vyšší tvrdost oproti pravé kotevní desce. Jejich úkolem je unést tlak vyvozený uzavírací silou a lepší odvod vzduchu z dělicí roviny.



Obr. 32. Detaily levé strany formy

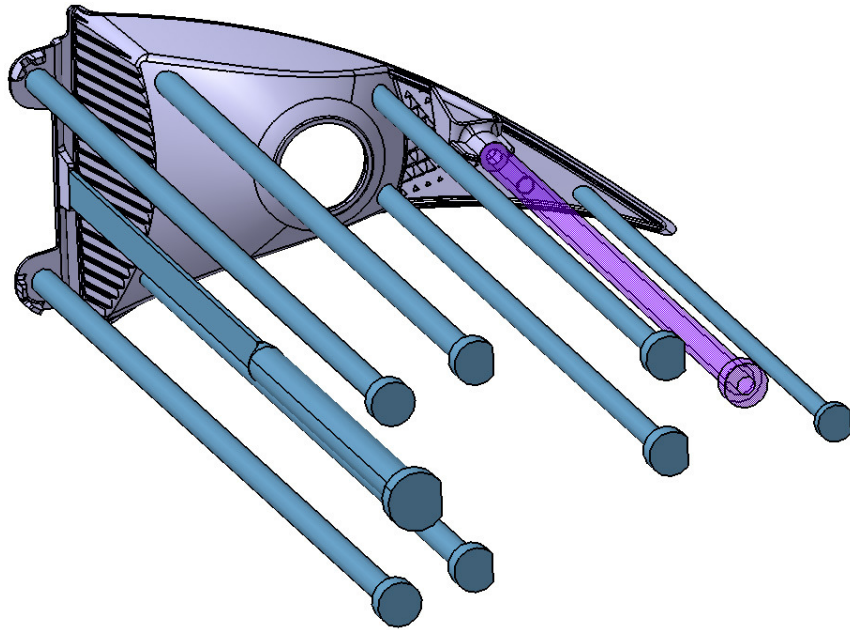
Detail odformování bočního otvoru pomocí boční posuvné čelisti je znázorněn na (Obr. 33). Přímo pod touto částí se nachází druhý otvor, který při vstřiku tvaruje trn, jež je ukotven v levé upínací desce. Pro odformování této části je použit trubkový vyhazovač, který setře výrobek z trnu.



Obr. 33. Způsob odformování bočního otvoru

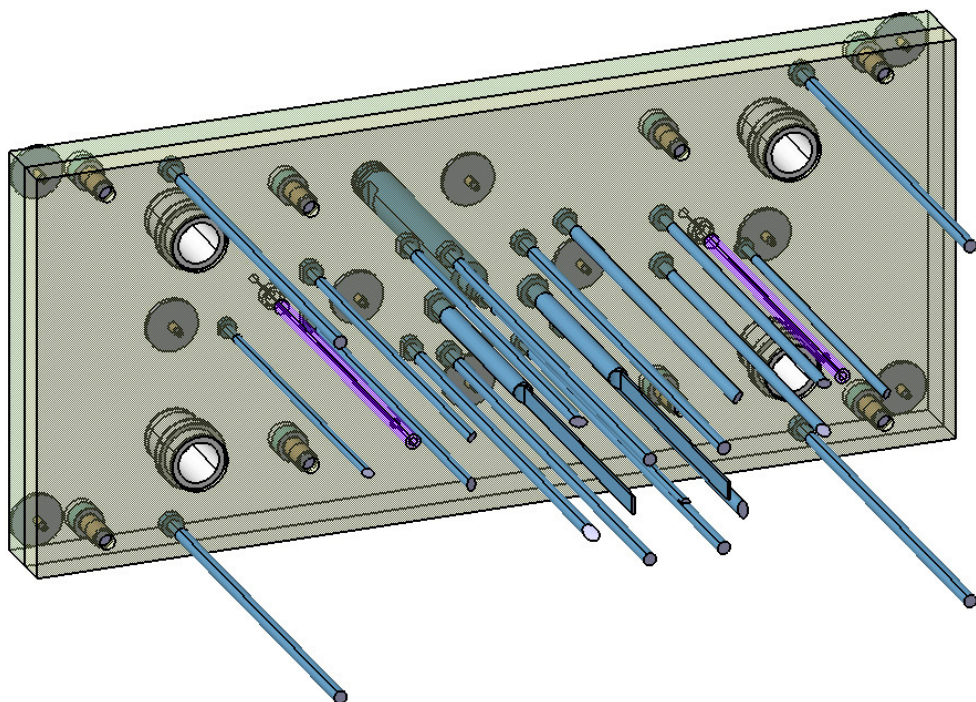
7.5.3 Vyhazovací systém

Rozestavení vyhazovačů je názorné z (Obr. 34). Všechny jsou normáliemi firmy Hasco. Pro rovinné i obecné plochy výrobku jsou použity válcové vyhazovače. Část hlavy kulatých vyhazovačů je frézovaná a tím zajištěná v kotevní vyhazovací desce proti otočení. Plochý vyhazovač slouží při odformování k oddělení vtokového zbytku od výrobku. Zdvih vyhazovacího systému činí 94 mm a je postačující k vyhození dílce z formy.



Obr. 34. Rozmístění vyhazovačů na výrobku

V rozích vyhazovacích desek jsou umístěny kolíky (vyhazovače), které neplní funkci vyhazování dílce z formy (Obr. 35). Jejich úkolem je ochrana leštěných ploch ostatních vyhazovačů v případě, že by se nevykonal po vyhození dílce z dutiny formy zpětný pohyb vyhazovacích desek. Rychle pohybující se levá strana formy s vyhazovacím systémem poté narazí na tyto ochranné kolíky a vrátí vyhazovací systém do původní polohy bez poškození ostatních vyhazovačů.



Obr. 35. Vzhled vyhazovacího systému formy pro 1. a 3. návrh temperace

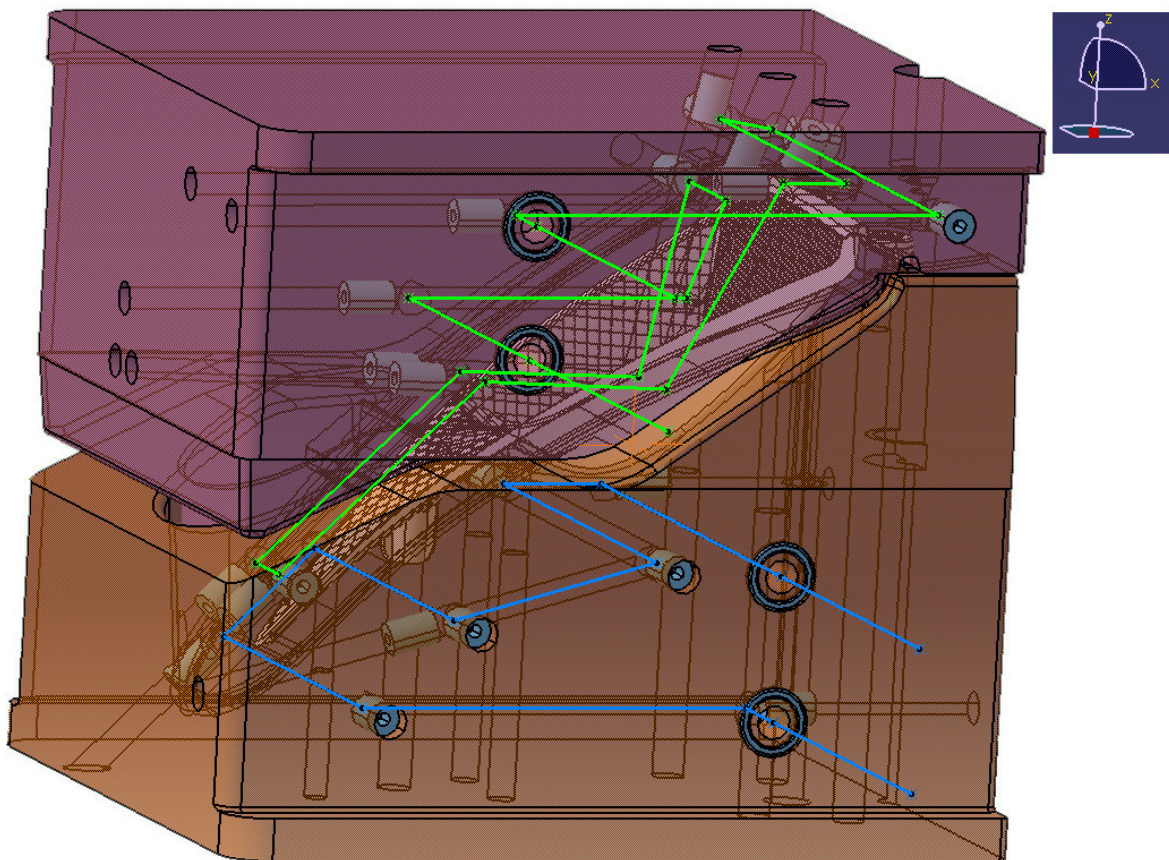
7.6 Návrh temperačních okruhů

Byly vytvořeny celkem tři návrhy temperačních okruhů. První dva z nich jsou výrobitelné konvečním způsobem, tzn. že jsou tvořeny vrtanými otvory a obsahují ucpávky, které usměrní tok temperačního prostředku. Třetí návrh je nekonvenční, vyrobený pomocí technologie DMLS.

Všechny návrhy obsahují celkem 4 temperační okruhy, které jsou řešeny zvlášť vždy pro každý tvárník i tvárnici. Formy tedy neobsahují žádné paralelní ani sériové zapojení temperačních cest. Průměry děr, a to jak vrtaných tak vyrobených nekonvenční technologií, jsou u všech tří navrhovaných typů temperací 8 mm.

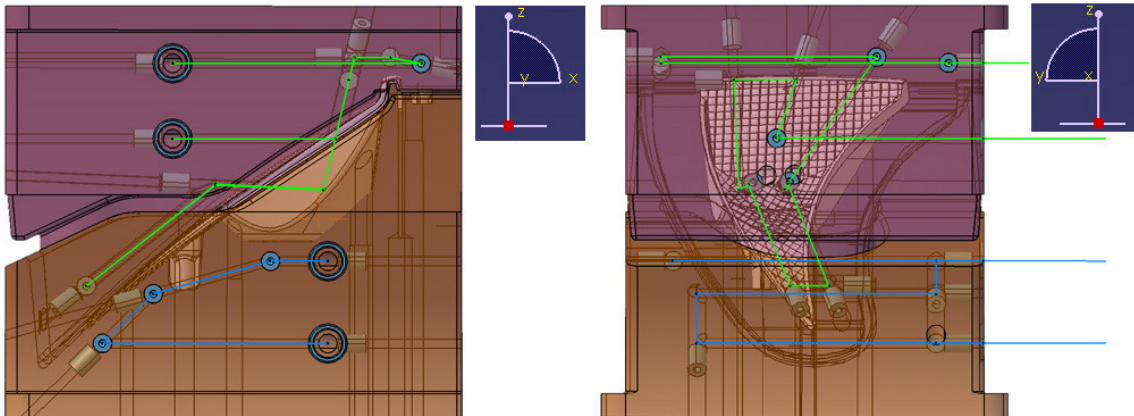
7.6.1 1. konvenční návrh temperace

Tvar a umístění temperačních cest je patrný z (Obr. 36 a 37). Návrh temperace v tvárnici byl jednodušší, protože tato vložka neobsahuje kromě temperačních cest žádné jiné otvory.



Obr. 36. 1. konvenční návrh temperace

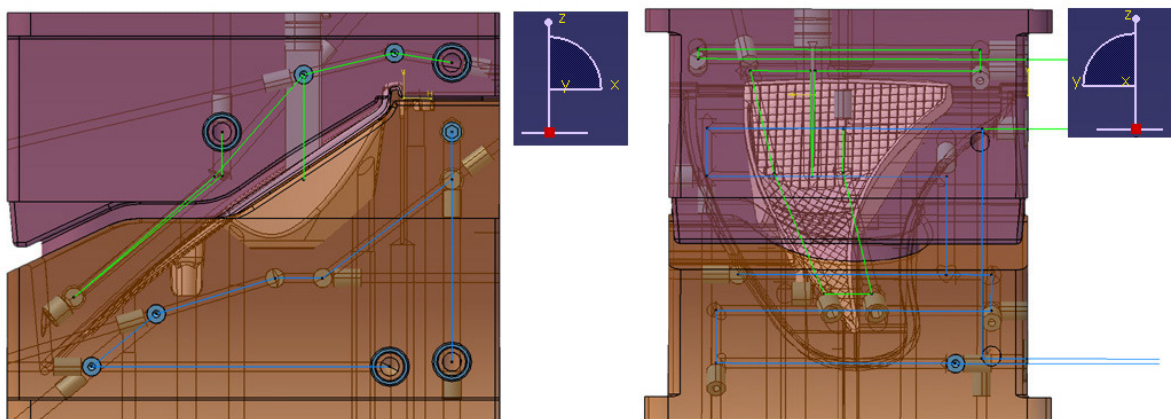
Návrh temperace tvárníku byl u všech tří navrhovaných typů složitější. Tvárník totiž obsahuje celkem 9 otvorů, ve kterých se pohybují vyhazovače. Návrh temperačních cest musí být vytvořen s ohledem na tuhost formy. Nejmenší vzdálenost mezi temperačním kanálem a otvorem pro vyhazovač nebo mezi dvěma temperačními kanály je 4 mm. Sestava formy s 1. návrhem temperace obsahuje celkem 46 ucpávek a 8 temperačních přípojek. Těsnost mezi vložkami a kotevními deskami je zajištěna 8 pryžovými o-kroužky.



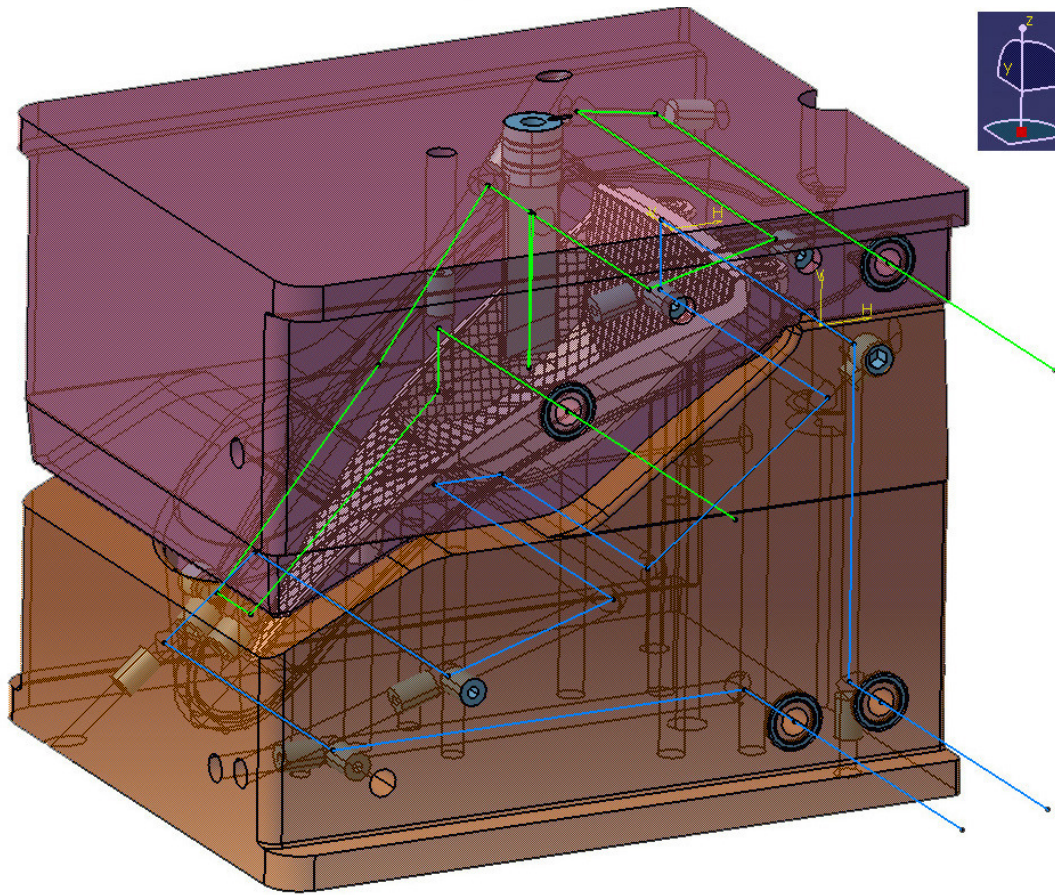
Obr. 37. 1. konvenční návrh temperace – pohled zepředu a z boku

7.6.2 2. konvenční návrh temperace

U 2. návrhu temperace (Obr. 38 a 39) byla prodloužena délka vložek o 15 mm. Důvodem byla snaha lepšího chlazení ve tvárníku v oblasti vtoku. Kromě vrtaných kanálků byla pro chlazení výrobku ve tvárnici využita i jedna obtoková přepážka. Sestava formy s 2. návrhem temperace obsahuje celkem 44 ucpávek, 8 o-kroužků, 2 obtokové přepážky a 8 temperačních přípojek.



Obr. 38. 2. konvenční návrh temperace – pohled zepředu a z boku



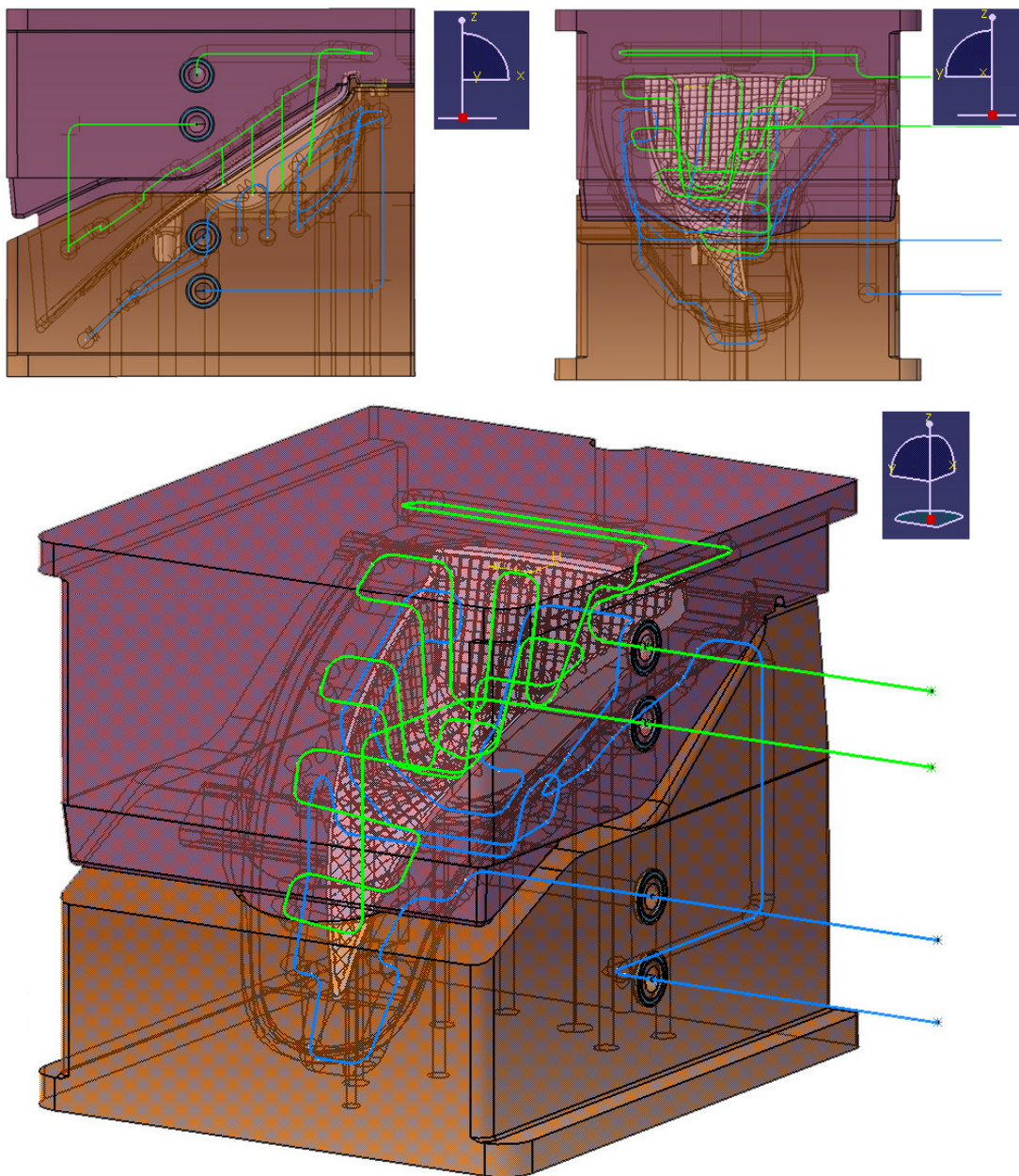
Obr. 39. 2. konvenční návrh temperace

7.6.3 3. nekonvenční návrh temperace

3. návrh temperace (Obr. 40) je vyroben technologií DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Jedná se o technologii, pomocí které lze vyrobit funkční kovové díly přímo z 3D CAD dat. Přitom odpadají investice do výrobních nástrojů a technologií, což přináší značnou úsporu nákladů a času. Platí, že čím je geometrie výrobku složitější, tím je technologie DMLS ekonomicky efektivnější. [13]

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

přesně řízen ve směrech os x a y. Osa z je řízena posunem platformy o 20 mikronů při změně vrstvy, což umožňuje dodržení tvarových tolerancí v rozmezí $\pm 0,1$ mm. Pracovní prostory umožňují výrobu dílů malé až střední velikosti v rozmezí několika hodin či dnů oproti dnům až týdnům při využití tradičních technologií. Po spuštění procesu zařízení pracuje v plně automatickém režimu 24 hodin denně. Po skončení výrobního procesu je platforma s výrobkem vyjmuta z pracovního prostoru zařízení a díly jsou odděleny od platformy. Po dokončovacích operacích vzniká hotový díl. [13]



Obr. 40. 3. nekonvenční návrh temperace

Sestava formy s 3. návrhem temperace obsahuje celkem pouze 8 pryžových o-kroužků a 8 temperačních přípojek.

7.7 Tvorba dat pro tokové analýzy

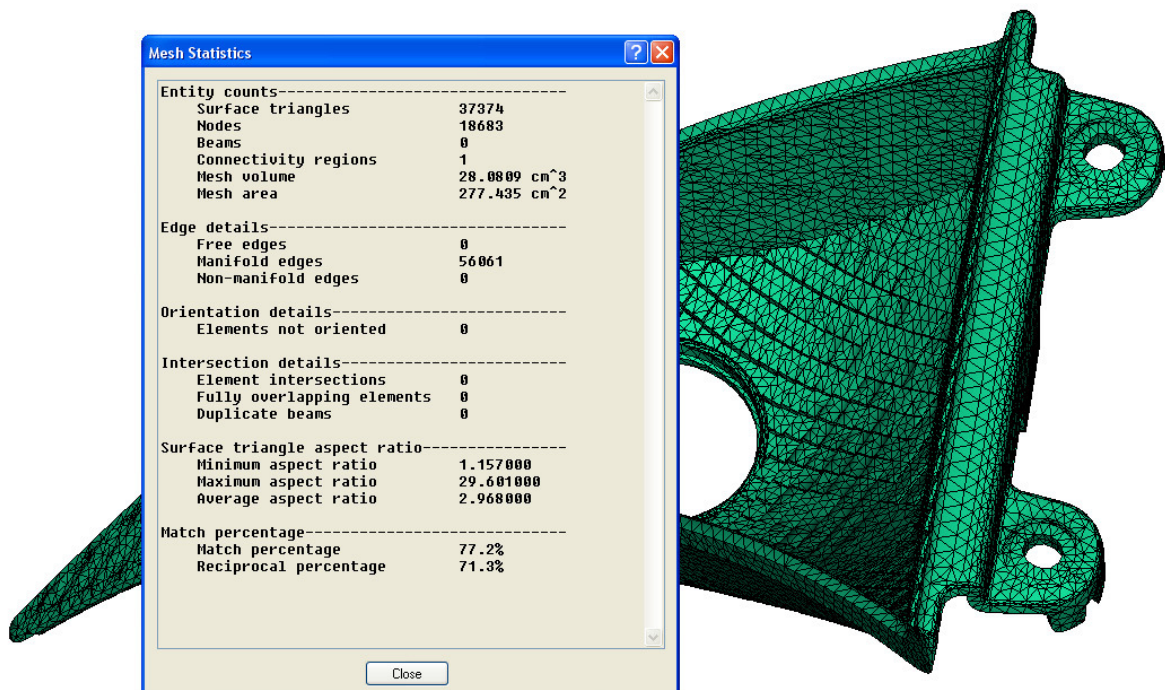
Z 3D modelu výrobku, který byl zvětšen o smrštění byl vytvořen soubor ve formátu *.stl. Trajektorie všech typů temperací a trajektorie toků polymeru byly po vytvoření v programu Catia V5R18 uloženy do formátu *.igs.

8 TOKOVÉ ANALÝZY

Temperační okruhy pro navržené formy jsou řešeny vždy zvlášť pro každý tvárník i tvárnici. Pro celou formu jsou tedy potřeba 4 vstupní a 4 výstupní přípojky pro temperaci. Studený vtokový systém navazující na ústí horké trysky je symetrický a tím tedy balancovaný. Toto uspořádání umožňuje počítání analýz vždy pro polovinu z celé formy.

8.1 Vlastnosti sítě výrobku

Výrobek byl vysítován elementy typu sítě 2,5D Dual Domain. Zadaná délka strany elementu má hodnotu 2 mm. Vlastnosti sítě a její kvalitu popisuje Mesh statistics (Obr. 41).



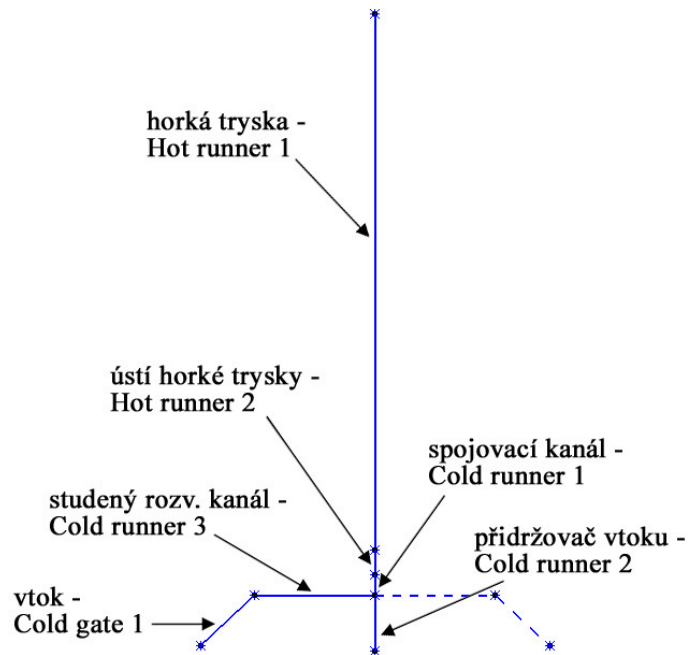
Obr. 41. Mesh statistics

8.2 Definování vtokového systému

Definování dráhy vtokového systému je názorné dle (Obr. 42).

- Horká tryska – Hot runner 1 – \varnothing 4 mm;
- Ústí horké trysky – Hot runner 2 – \varnothing poč. 4 mm; \varnothing konc. 1,8 mm;
- Spojovací kanál mezi horkou tryskou a studeným rozvodným kanálem – Cold runner 1 – \varnothing poč. 1,8 mm; \varnothing konc. 4 mm;

- Přidržovač vtoku – Cold runner 2 – \varnothing 5 mm;
- Studený rozvodný kanál – Cold runner 3 – typ průřezu: U-Shape, \varnothing kanálu 4 mm; šířka základny 5,21 mm;
- Vtok – Cold gate 1 – \varnothing poč. 3,5 mm; \varnothing konc. 1,8 mm.



Obr. 42. Definování vtokového systému

Vtokový systém byl vysítován a opraven tak, aby poměr L/D Beam elementů nepřesahoval hodnotu 3.

8.3 Definování materiálu

Materiál zvolený pro výpočet analýz je shodný se skutečným materiálem zadaného dílce. Jedná se o PC s typovým označením APEC 1895. Charakteristické vlastnosti použitého materiálu jsou v (Tab. 3).

Tab. 3. Charakteristické vlastnosti použitého materiálu

Výrobce:	Bayer
Materiálová struktura:	amorfní
Teplota povrchu formy: [°C]	120 – 140
Teplota taveniny: [°C]	330 – 340
Vyhazovací teplota: [°C]	163

Maximální smykové napětí: [MPa]	0,5
Maximální smyková rychlost: [s^{-1}]	40000

8.4 Definování procesních podmínek výpočtu

Aby bylo možné navrhované tři typy temperačních okruhů forem mezi sebou porovnat, bylo třeba definovat shodně procesní podmínky pro všechny analýzy. V procesních podmínkách bylo ponecháno obecné nastavení, které podává dobré výsledky. Pouze parametr – teplota okolního vzduchu byl pozměněn z původních 25 °C na výši teploty povrchu formy, tedy 130 °C. Toto nastavení umožnilo lepší porovnání jednotlivých návrhů. Temperační médium vstupuje s poměrně vysokou teplotou 125 °C a odebírá teplo z okolí dutin formy. V případě, že by byla ponechána teplota okolního prostředí 25 °C, odevzdávalo by horké temperační médium teplo zchlazené formě a výsledky by byly nenázorné. Bylo tedy uvažováno, že kromě temperace obsahuje forma i jiný prostředek pro tepelnou izolaci systému a tedy lepší celkovou tepelnou stabilitu formy.

8.5 Definování temperačních okruhů

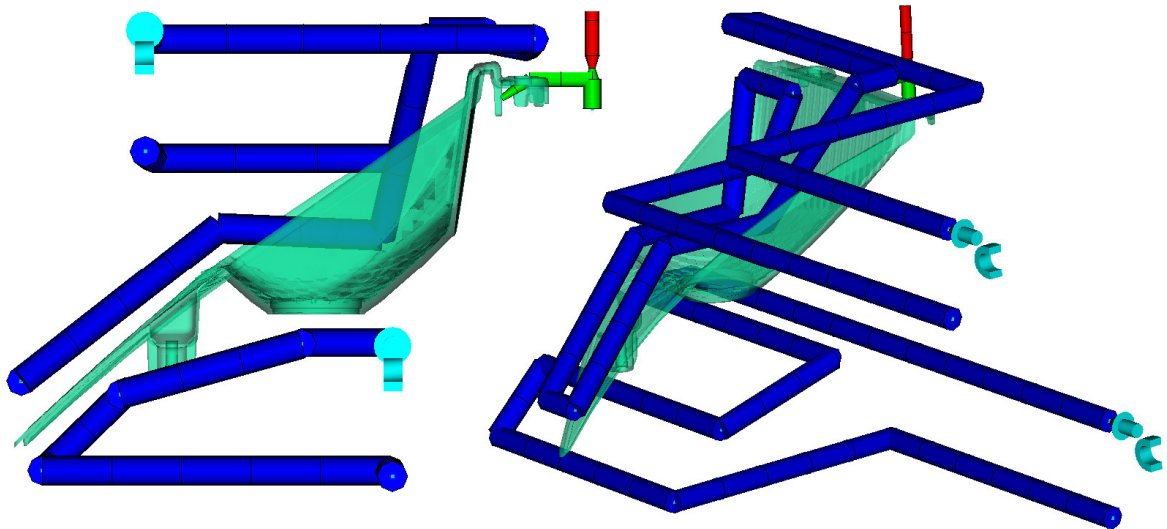
Každá ze tří navržených forem obsahuje celkem 4 samostatné temperační okruhy. Dva totožné na pravé straně formy pro chlazení tvárnic a dva totožné na levé straně formy pro chlazení tvárnků.

Jako temperační prostředek pro všechny typy temperací byl zvolen olej, protože ho lze využít pro chlazení při teplotách vyšších než 100 °C. Tedy v oblastech teplot, kdy je nejvyužívanější temperační prostředek – voda nepoužitelná.

8.5.1 1. typ temperace

Uspořádání 1. typu temperace je názorné z (Obr. 43).

- pravá strana formy – \varnothing kanálů 8 mm, temperační médium – olej, teplota média na vstupu – 125 °C, průtok – 45 l/min;
- levá strana formy – \varnothing kanálů 8 mm, temperační médium – olej, teplota média na vstupu – 125 °C, průtok – 45 l/min.

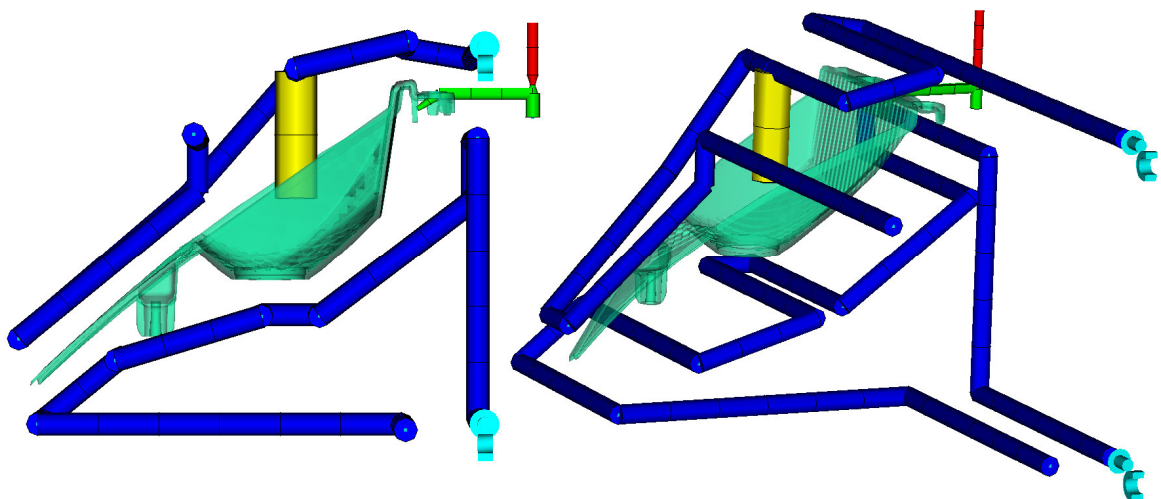


Obr. 43. 1. typ temperace

8.5.2 2. typ temperace

Uspořádání 2. typu temperace je názorné z (Obr. 44).

- pravá strana formy – \varnothing kanálů 8 mm, \varnothing otvoru pro přepážku (Baffle) 15 mm, temperační médium – olej, teplota média na vstupu – 125 °C, průtok – 65 l/min;
- levá strana formy – \varnothing kanálů 8 mm, temperační médium – olej, teplota média na vstupu – 125 °C, průtok – 45 l/min.



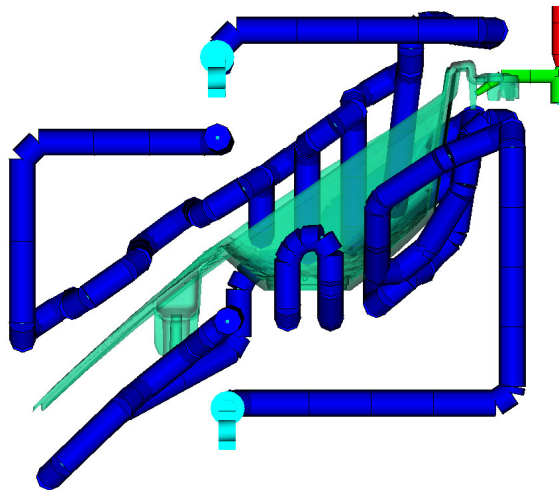
Obr. 44. 2. typ temperace

8.5.3 3. typ temperace

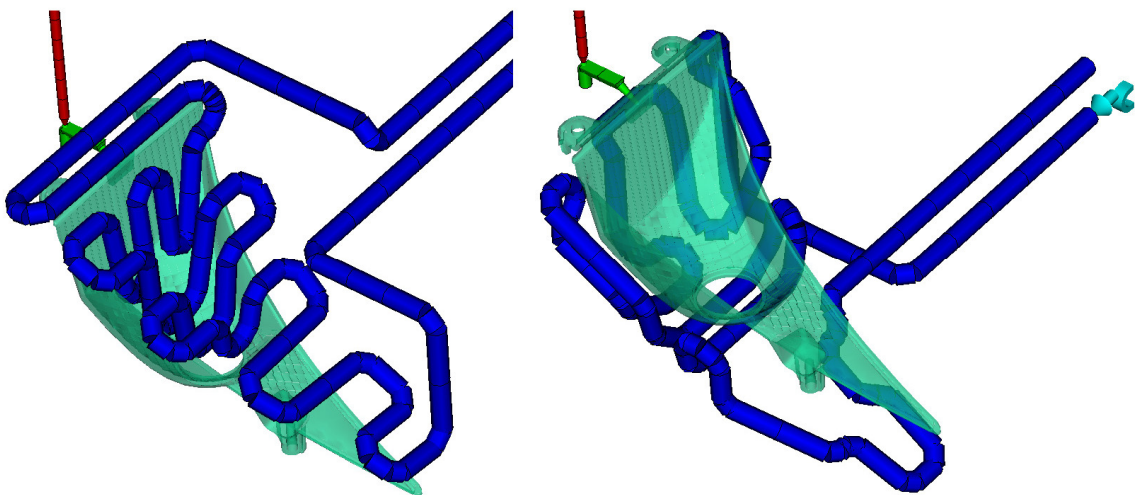
Uspořádání 3. typu temperace je názorné z (Obr. 45 a 46).

- pravá strana formy – \varnothing kanálů 8 mm, temperační médium – olej, teplota média na vstupu – 125 °C, průtok – 45 l/min;
- levá strana formy – \varnothing kanálů 8 mm, temperační médium – olej, teplota média na vstupu – 125 °C, průtok – 45 l/min.

Všechny temperační okruhy byly vysíťovány a opraveny tak, aby poměr L/D Beam elementů nepřesahoval hodnotu 3.



Obr. 45. 3. typ temperace



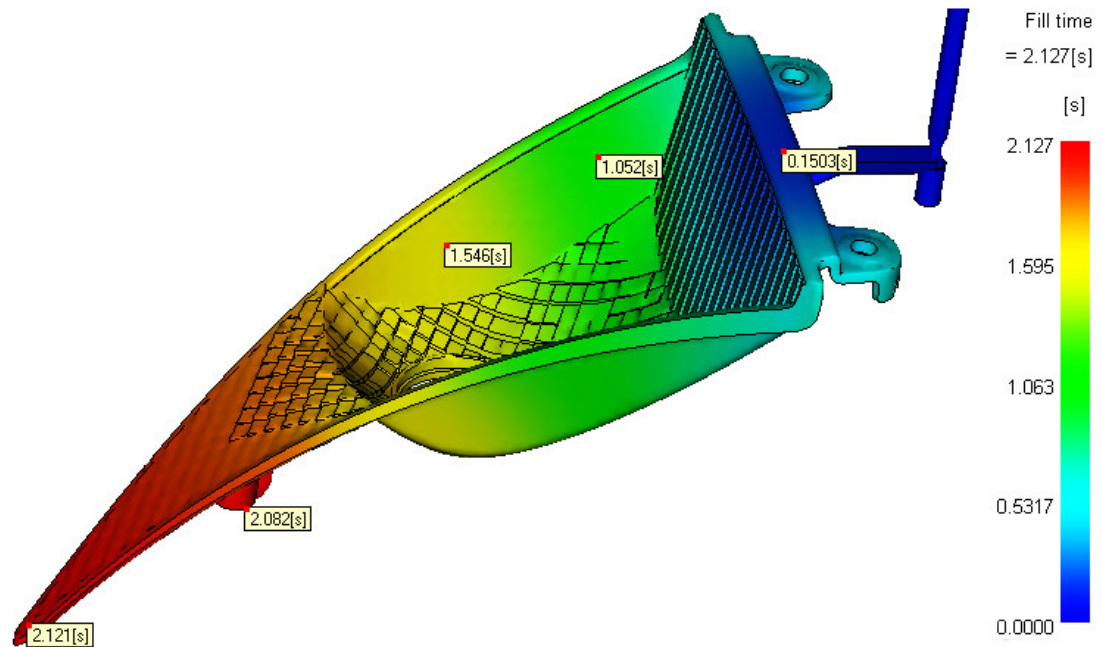
Obr. 46. Okruhy 3. typu temperace pro pravou a levou část formy

8.6 Výsledky analýz – Tok (Flow)

Z výsledků analýz Toků lze posoudit především míru úspěšnosti návrhu vtokového systému, který je kombinací horké trysky a studeného rozvodného kanálu. Tyto analýzy také umožňují rozhodnout o správnosti návrhu konstrukce samotného výrobku.

8.6.1 Čas plnění (Fill time)

Výsledek ukazuje dobu plnění dutiny formy dle barevného spektra. Oblasti výrobku s modrou barvou byly zaplněny nejdříve. Naproti tomu oblasti výrobku s červenou barvou až jako poslední (Obr. 47).



Obr. 47. Výsledek – Čas plnění pro 1. typ temperace

Z ekonomického hlediska by měla být dutina formy vyplněna taveninou co nejrychleji, neboť se tak zkrátí celkový vstřikovací cyklus. Naproti tomu nesmí příliš vysoká vstřikovací rychlost způsobit vysoké namáhání taveniny, které může skončit degradací polymeru. Optimální vstřikovací rychlost a také rovnoměrná rychlost postupu čela taveniny má velký vliv na povrchovou jakost výrobku.

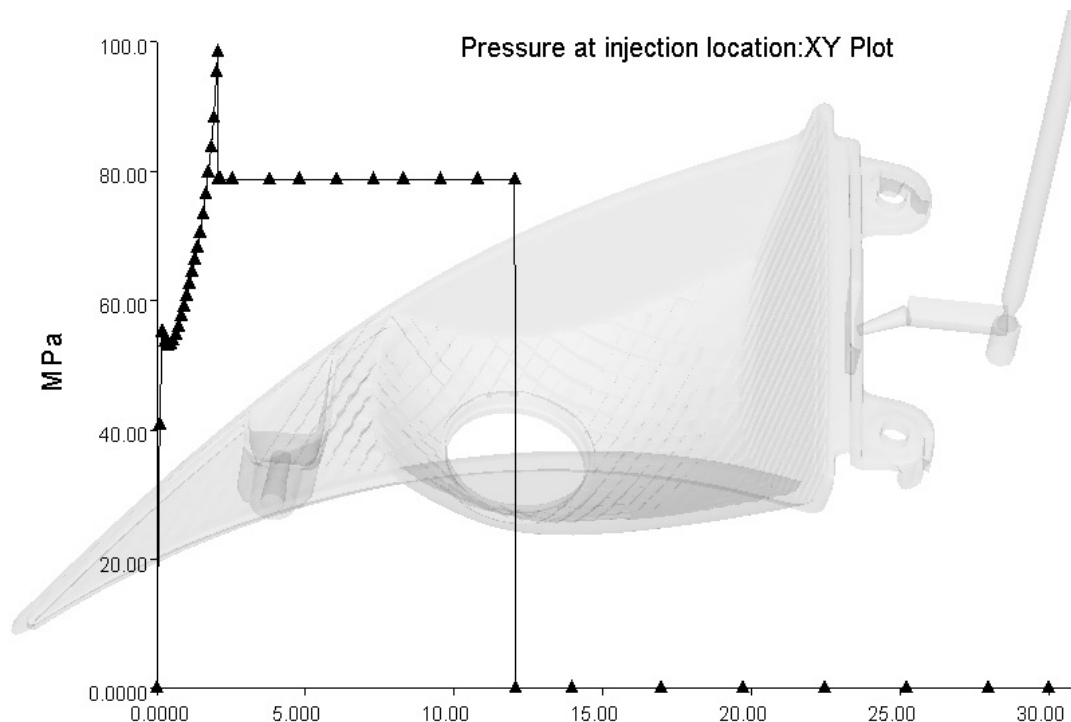
Tab. 4. Výsledek – Čas plnění pro všechny typy temperací

Typ temperance:	1. typ	2. typ	3. typ
Čas plnění: [s]	2,127	2,144	2,129

Rozdíly v časech naplnění dutiny formy se u jednotlivých typů temperací liší v řádech setin sekundy. Nejrychleji je dutina formy zaplněna v případě 1. a 3. typu temperace (Tab. 4). 2. typ temperace má delší větev studeného rozvodného kanálu a proto je zaplněn o dvě setiny sekundy později. K rozdílům mezi dobou zaplnění dutiny formy u 1. a 3. typu temperace, kde je délka studeného rozvodného kanálu stejná, přispívá intenzita chlazení. Při vyšší intenzitě roste viskozita polymerní taveniny a ta klade toku větší odpor.

8.6.2 Tlak v místě vstříku (Pressure at injection location)

Výsledek zobrazuje časovou závislost tlaku v místě vstříku.



Obr. 48. Výsledek – Tlak v místě vstříku pro 3. návrh temperace

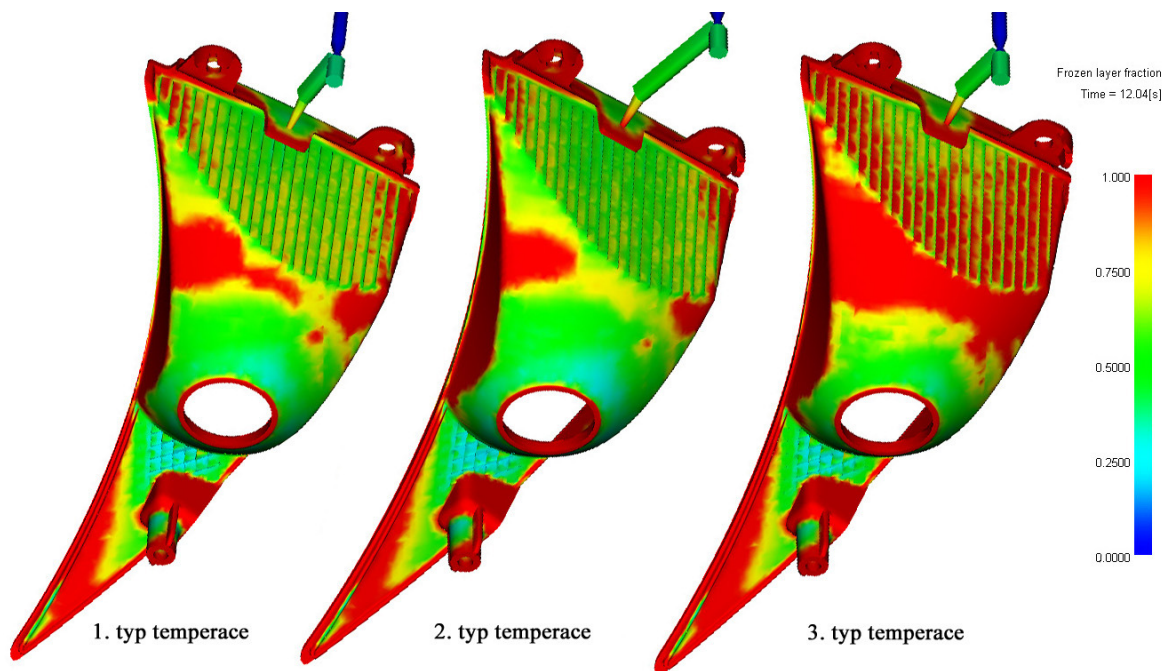
Z grafu (Obr. 48) lze odečíst tlakovou špičku ve chvíli přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak, která má u 3. nekonvenčního návrhu temperace velikost 98,38 MPa. K přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak došlo v čase 2,129 s a v čase 12 s od počátku zahájení vstříku skončila dotlaková fáze. Zobrazení závislostí se u jednotlivých návrhů temperací mezi sebou liší řádově v jednotkách MPa.

8.6.3 Frakce zatuhlých vrstev (Frozen layer fraction)

Výsledek zobrazuje zatuhlé vrstvy polymeru jako zlomek části tloušťky. Hodnota 1 označuje zcela zatuhlé vrstvy, hodnota 0 taveninu. Výsledek je časově závislý.

Na (Obr. 49) je výsledek Frakce zatuhlých vrstev zachycen v čase 12 s, což je čas, ve kterém končí dotlaková fáze. U 1. typu temperace není v tento čas v místě ústí vtoku zatuhlá tavenina, neboť zde chybí na levé části formy větve chladicího kanálu. 2. typ temperace má podobný chladicí účinek. Oproti 1. návrhu však má v levé části formy v blízkosti vtoku temperační kanály. V čase 12 s je již u 2. návrhu temperace zatuhlý vtok. 3. návrh temperace má dle výsledku Frakce zatuhlých vrstev nejvyšší intenzitu chlazení. Na výrobku je

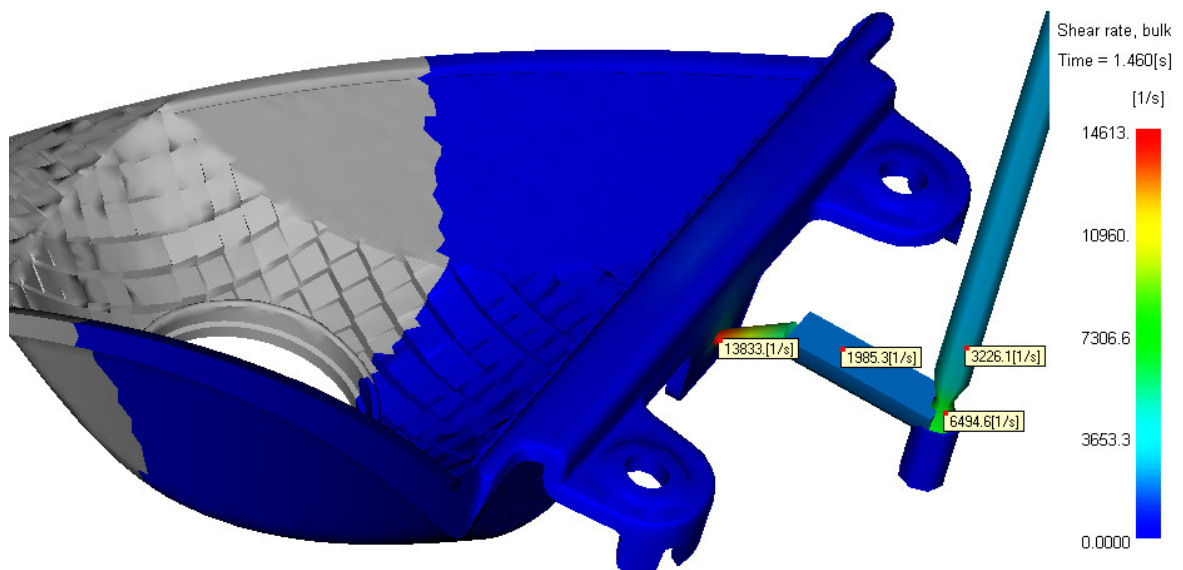
v tento čas nejvíce červených oblastí a taktéž zatuhlý vtok. Dle výsledku Frakce zatuhlých vrstev má tedy největší intenzitu chlazení 3. nekonvenční návrh temperace.



Obr. 49. Výsledek – Frakce zatuhlých vrstev pro všechny typy temperace

8.6.4 Smyková rychlost (Shear rate)

Výsledek zobrazuje pomocí barevného spektra velikost rychlosti smykové deformace. Tato veličina se mění v čase. Nejvyšší hodnota je znázorněna červenou barvou.



Obr. 50. Výsledek – Smyková rychlost pro 1. typ temperace

Pro zvolený materiál Apec 1895 je maximální dovolená hodnota rychlosti smykové deformace 40000 s^{-1} . U navržených forem není ve vtokovém systému místo, které by způsobilo

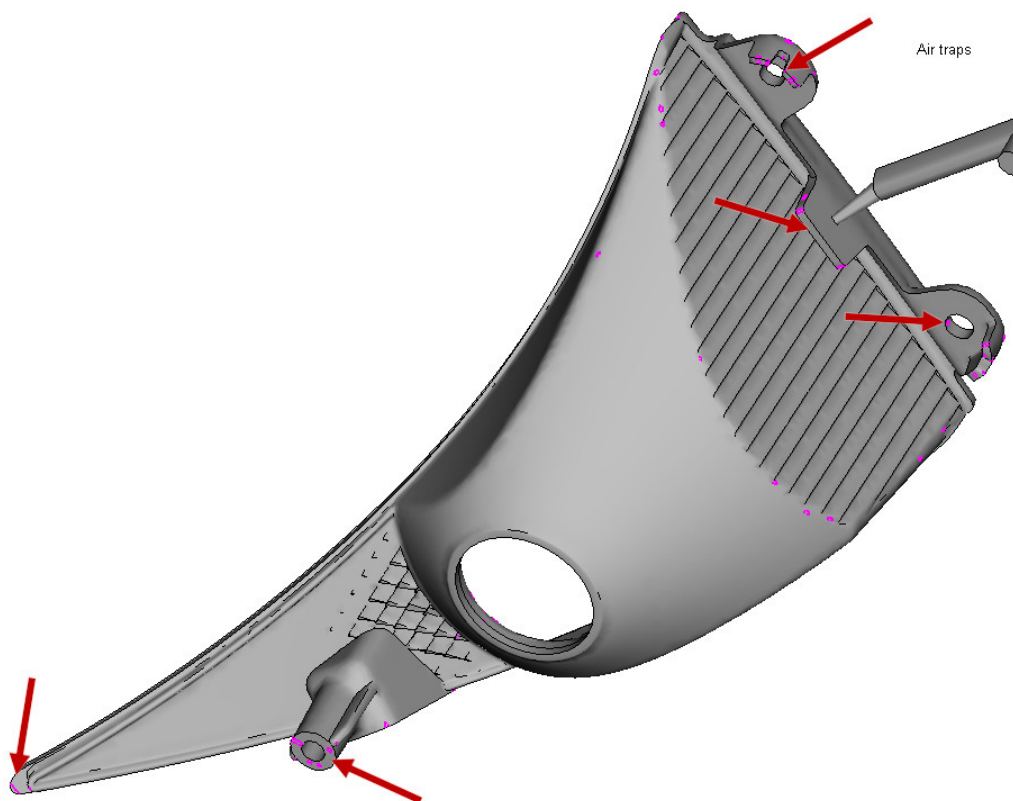
vyšší než dovolené namáhání taveniny. Nejvyšší hodnota smykové rychlosti se nachází v oblasti ústí studeného vtoku (Obr. 50). Hodnoty nejvyšších smykových rychlostí jsou zobrazeny v (Tab. 5).

Tab. 5. Hodnoty výsledku – Smyková rychlost

Typ temperance:	1. typ	2. typ	3. typ
Smyková rychlost: [s ⁻¹]	14613	14652	14617

8.6.5 Vzduchové kapsy (Air traps)

Výsledek zobrazuje místa na výrobku, ve kterých by mohlo hrozit uzavírání vzduchu při plnění dutiny formy taveninou. V takovýchto nebezpečných místech poté může docházet k místnímu spálení materiálu v důsledku komprese vzduchu nebo k tvorbě drobných bublinek.



Obr. 51. Výsledek Vzduchové kapsy

Výsledek je shodný pro všechny navrhované typy temperací. V místech, které jsou označeny červenou šipkou (Obr. 51), uzavírání vzduchu nehrozí. Jsou to místa ležící v dělicí rovině nebo v blízkosti vyhazovačů, kde je vzduch odváděn vřely mezi součástmi formy.

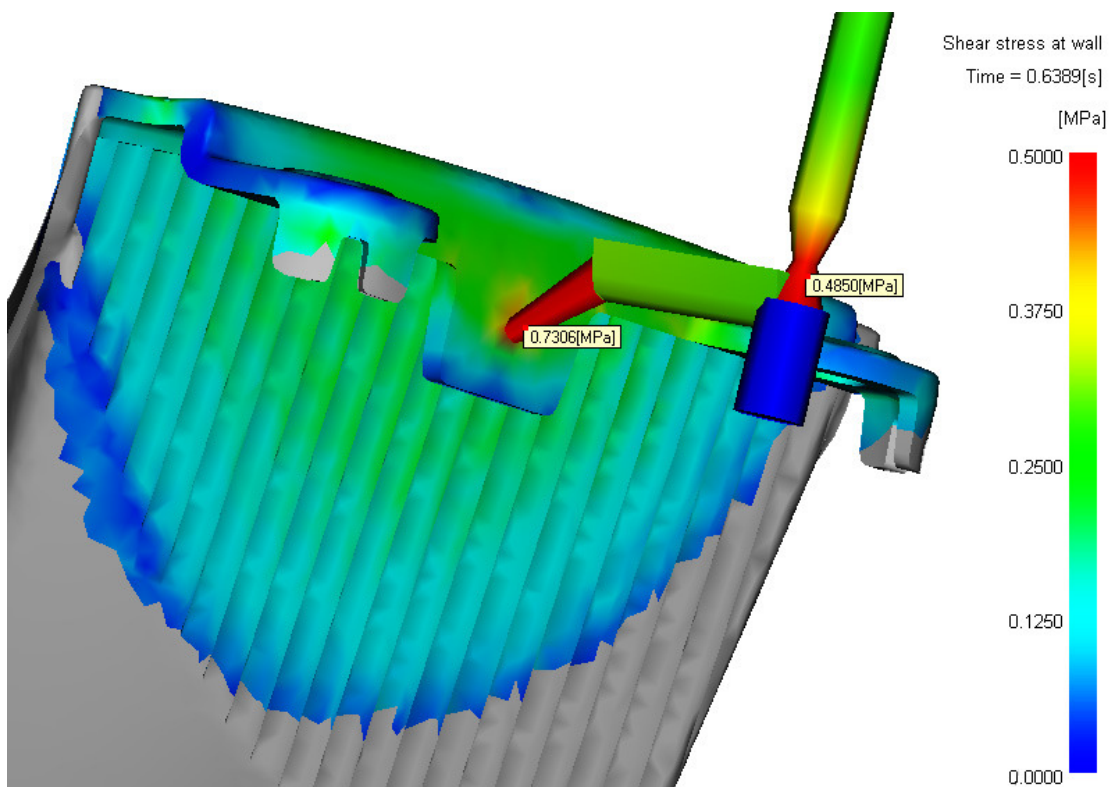
8.6.6 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)

Výsledek rozděluje povrch dutiny formy dle velikosti smykového napětí na stěně. Místa s nejvyšším smykovým napětím jsou zobrazeny červeně. Hodnoty smykového napětí u stěny jsou proměnné v čase.

Tab. 6. Hodnoty smykového napětí na stěně

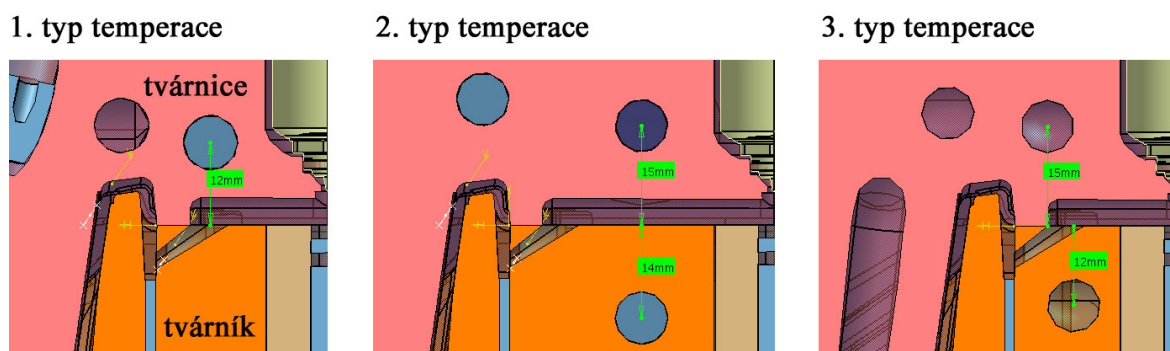
Typ temperance:	1. typ	2. typ	3. typ
Smykové napětí na stěně: [MPa]	4,749	5,919	6,040

Hodnoty nejvyšších smykových napětí u jednotlivých návrhů temperace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 6). Tyto hodnoty jsou špičkami, které lze zanedbat. Při nastavení stupnice výsledku na nejvyšší dovolené namáhání polymerní taveniny dané typem použitého materiálu lze najít problémová místa. Maximální dovolené namáhání pro materiál Apec 1895 je 0,5 MPa. Mezi problémová místa patří ústí horké trysky a ústí vtoku (Obr. 52). V místě ústí vtoku překračuje hodnota smykového napětí dovolenou hodnotu. Pokud by vlivem velkého namáhání tavenina degradovala, bylo by nutné zvětšit výstupní průměr ústí vtoku nebo změnit procesní podmínky (např. zvýšením teploty povrchu formy, zvýšením teploty taveniny).



Obr. 52. Výsledek – Smykové napětí na stěně pro 1. typ temperace

Výsledné namáhání taveniny je také závislé na intenzitě chlazení v místě vtoku (Obr. 53). Tam, kde je nejvyšší intenzita chlazení roste viskozita taveniny poblíž stěny formy a tavenina teče pomaleji. Uprostřed kanálu je rychlost proudění polymerní taveniny vyšší. Tam, kde je poblíž stěny formy nejvyšší rozdíl mezi rychlostmi proudění polymerní taveniny je nejvyšší smykové napětí. Z obrázku je patrné, že u 1. typu temperace má chlazení nejnižší účinek, protože obsahuje v oblasti vtoku temperační kanál pouze v tvárnici. Naproti tomu u 2. a 3. typu temperace jsou kanály jak v tvárnici, tak v tvárníku.



Obr. 53. Rozmístění temperačních kanálů v blízkosti vtokového systému

8.7 Výsledky analýz – Chlazení (Cool)

Výsledky analýz Chlazení umožnily posoudit návrhy všech typů temperací.

8.7.1 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

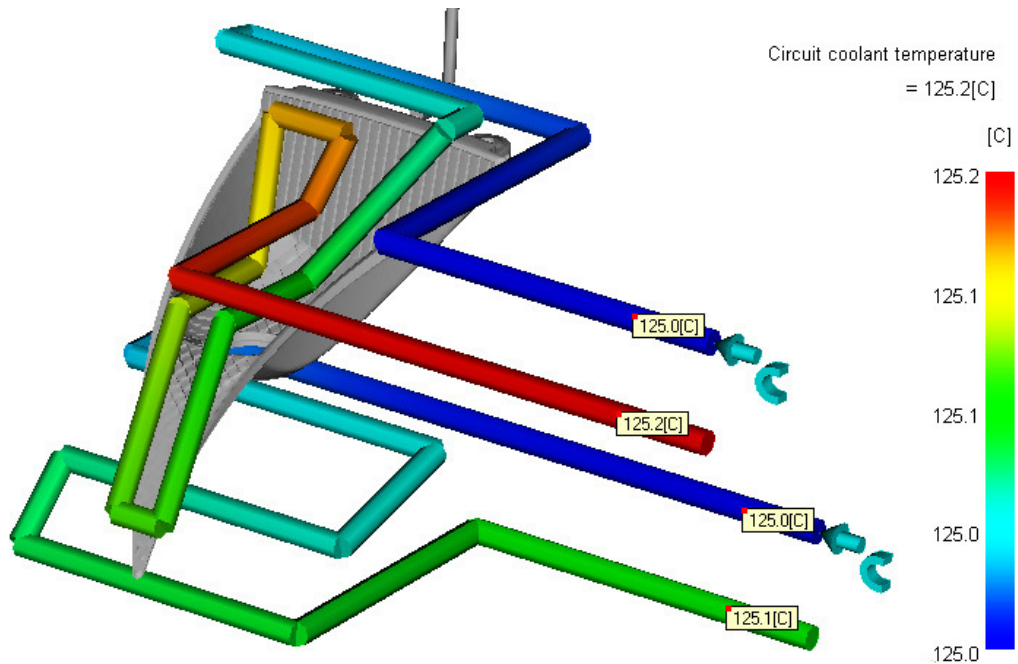
Výsledek zobrazuje pomocí barevného spektra změny teplot temperačního média v chladících okruzích. Pro správně navržený temperační okruh platí, že rozdíl teplot při vstupu a výstupu z temperačního okruhu by neměl překročit 2 až 3 °C.

Ve všech temperačních okruzích nepřekročil rozdíl mezi vstupem a výstupem temperačního média hodnotu 0,2 stupně Celsia. Malé změny teplot temperačního média v okruzích jsou dány vysokým průtokem. V (Tab. 7) jsou uvedeny hodnoty výstupních teplot pro pravý i levý okruh temperace pro všechny typy navrhovaných temperací. Vstupní teplota u všech temperačních okruhů je 125 °C.

Tab. 7. Hodnoty výsledku – Teplota temperačního média na výstupech z okruhů

Typ temperance:	1. typ	2. typ	3. typ
Výstupní teplota pravého okruhu: [°C]	125,2	125,1	125,2
Výstupní teplota levého okruhu: [°C]	125,1	125,1	125,1

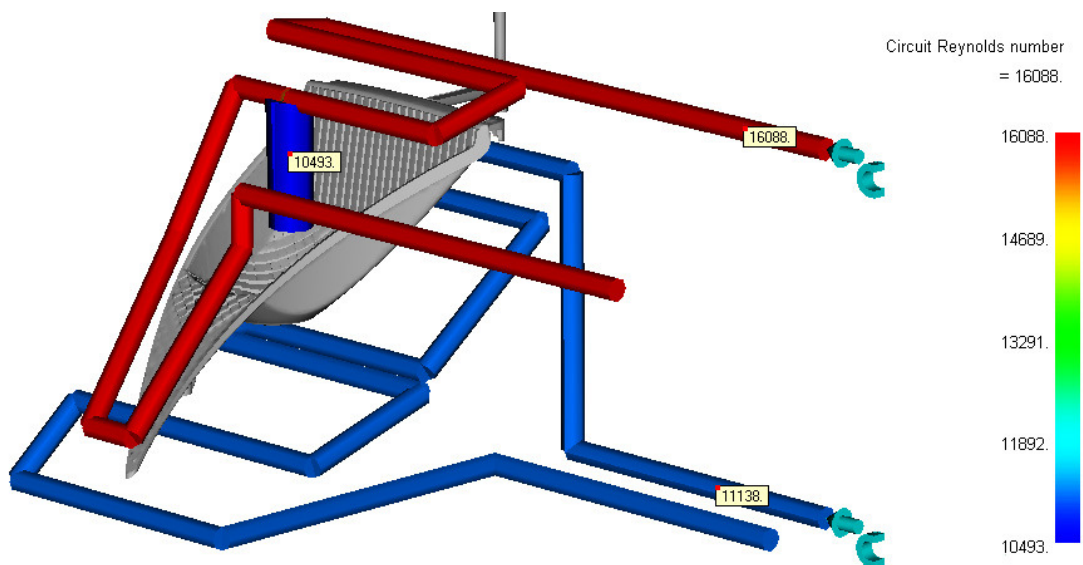
Na (Obr. 54) jsou zobrazeny změny teplot temperačního média pro 1. typ temperace.



Obr. 54. Výsledek – Teplota temperačního média pro 1. typ temperace

8.7.2 Hodnota Reynoldsova čísla (Circuit Reynolds number)

Výsledek zobrazuje hodnotu Reynoldsova čísla v temperačních okruzích, která charakterizuje typ proudění. Nejvyšší účinnost má temperační okruh s turbulentním prouděním. Turbulentní proudění se nachází v rozmezí Reynoldsova čísla $Re \geq 10000$ a závisí na průtoku temperačního média. Zvyšováním průtoků temperačního média v oblasti turbulentního proudění se temperační účinnost zvyšuje již nepatrně.



Obr. 55. Hodnota Reynoldsova čísla pro 2. typ temperace

Hodnoty Reynoldsova čísla jsou pro oba okruhy 1. i 3. návrhu temperace totožné a dosahují hodnoty $Re = 11138$. Je to dáno konstantním průměrem temperačního kanálu a shodným průtokem temperačního média. U 2. návrhu temperace (Obr. 55) se hodnoty liší. V temperačním okruhu pravé části formy se nachází chladicí přepážka, která zvětšuje průřez pro proudění temperačního média. To pak v daném průřezu proudí pomaleji a je tedy potřeba zvýšit průtok temperačního média v okruhu pravé části formy. Všechny okruhy u všech návrhů tedy splňují podmínku turbuletního proudění temperačního média.

8.7.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty – díl (Time to reach ejection temperature)

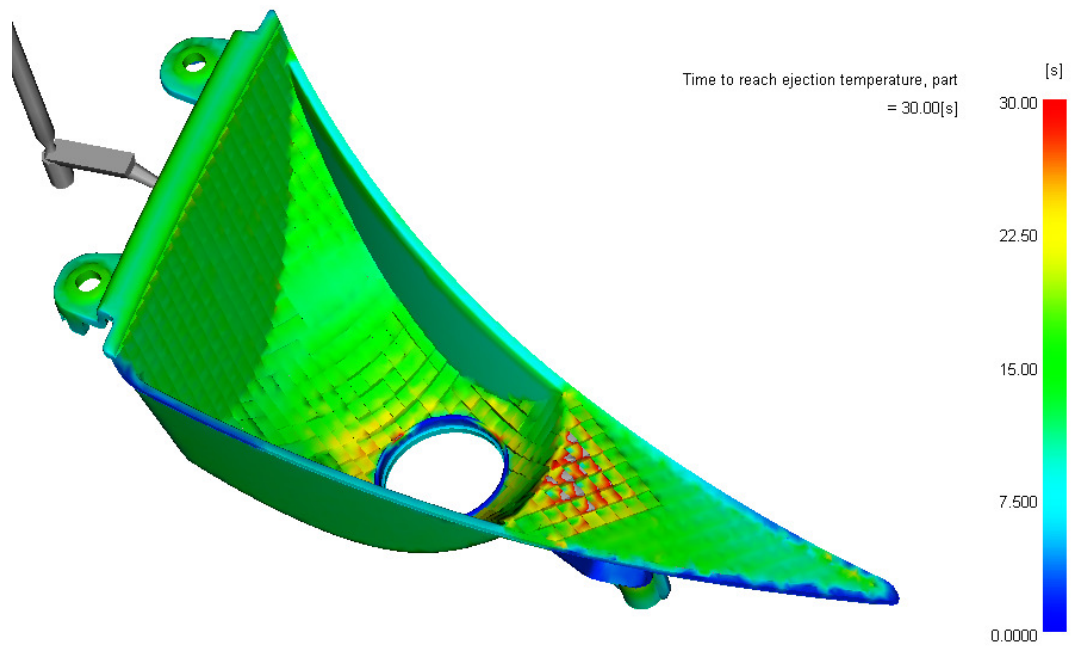
Výsledek barevně rozděluje místa výrobku podle času, který je potřebný k dosažení vyhazovací teploty. Tento čas se měří od počátku vstřikovacího cyklu. Modrá barva značí nejrychleji ochlazená místa, naproti tomu červená nejpozději ochlazená místa na vyhazovací teplotu.

Tab. 8. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – díl

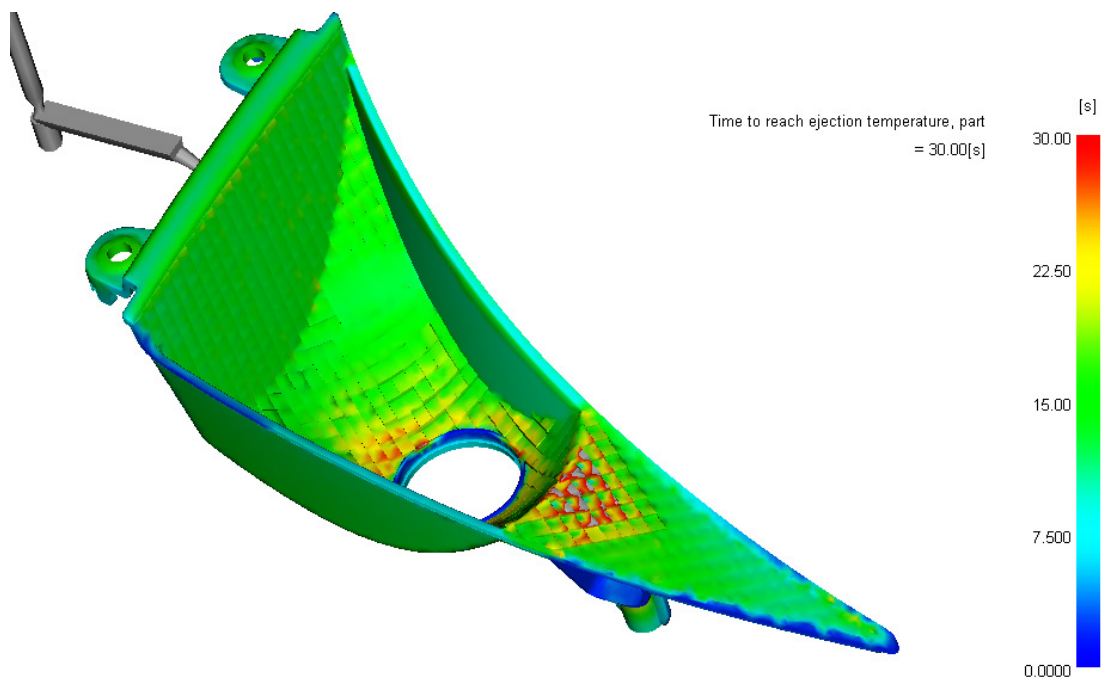
Typ temperace:	1. typ	2. typ	3. typ
Čas k dosažení vyhazovací teploty: [s]	57,77	62,06	53,24

Hodnoty v (Tab. 8) nejsou skutečnými časy potřebnými ke zchlazení dílce na vyhazovací teplotu. Označují malá místa, ve kterých polymer sice ještě nedosáhl vyhazovací teploty, ale přesto je lze zanedbat. Při výskytu větších ploch znázorněných červenou barvou by bylo zapotřebí zvýšit intenzitu chlazení v těchto místech a zkrátit tak celkový vstřikovací cyklus.

Na (Obr. 56, 57, 58) je nastaven na stupnici shodný čas pro všechny typy navrhovaných temperací. Z obrázku je patrné, že ke zchlazení většiny ploch na dílci stačí 30 s. Výstřik musí být ovšem natolik zchlazený, aby snesl sílu působících vyhazovačů a nedeformoval se při vyhazování z formy.

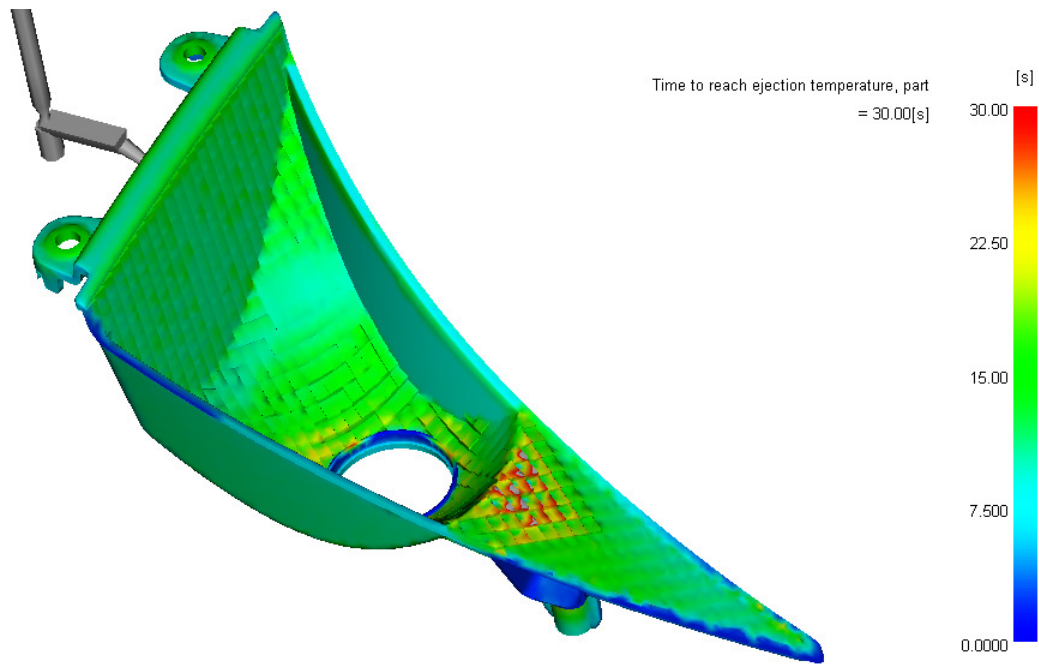


Obr. 56. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhaz. teploty pro 1. typ temperace



Obr. 57. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhaz. teploty pro 2. typ temperance

U všech tří návrhů temperací jsou nejproblémovějšími místy plošky s větší tloušťkou stěny, které vyčnívají nad povrch výrobku. Tyto místa by při potřebě zkrácení celkové doby chlazení měly být chlazeny větší intenzitou. V oblasti boční posuvné části, ve které by se v případě potřeby jen obtížně zvyšovala intenzita chlazení, polymer zatuhne cca. do 5 sekund.



Obr. 58. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhaz. teploty pro 3. typ temperace

8.7.4 Čas k dosažení vyhazovací teploty – studený rozv. kanál (Time to reach ejection temperature)

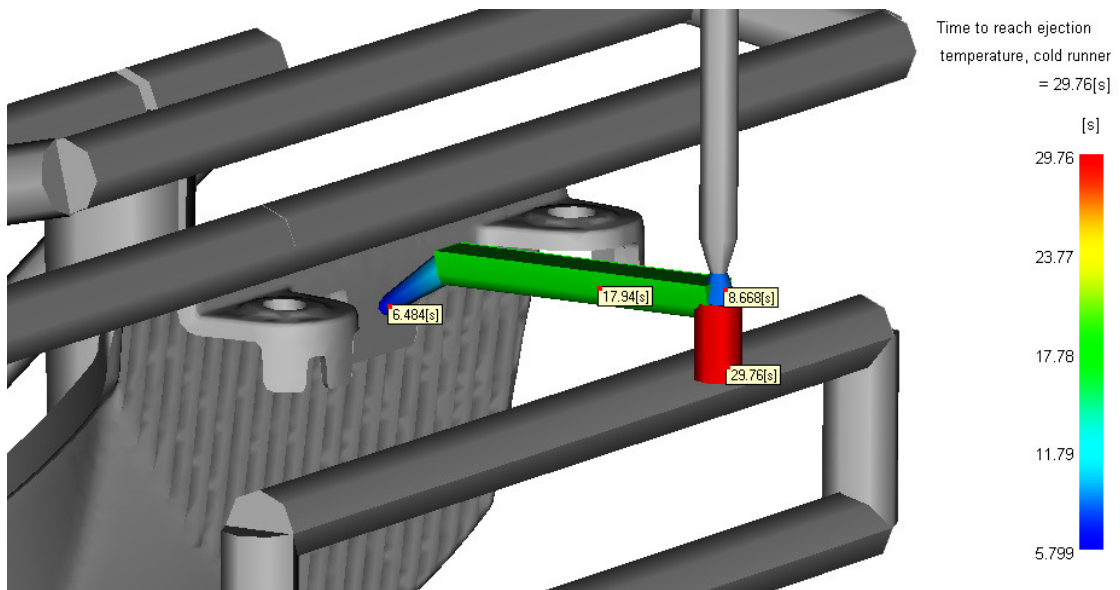
Výsledek zobrazuje stejně definovaný čas jako předchozí popisovaný výsledek, avšak pro studený rozvodný systém.

Tab. 9. Výsledek – Čas k dosažení vyhazovací teploty – studený rozv. kanál

Typ temperace:	1. typ	2. typ	3. typ
Čas k dosažení vyhazovací teploty: [s]	31,78	29,76	29,08

Výsledek je silně závislý na velikosti intenzity chlazení v oblasti studeného rozvodného kanálu (Obr. 53). Poněvadž jsou hodnoty časů pro dosažení vyhazovací teploty vždy téměř o polovinu nižší, než časy pro ochlazení samotného výrobku (Tab. 9 a 8), není třeba uvažovat nad účinnějším chlazením v oblastech studeného rozvodného kanálu.

Nejdéle se polymer chladí v místě přidržovače vtoku, který zároveň slouží pro zachycení studeného čela taveniny (Obr. 59). Toto místo a také zároveň celá oblast studeného rozvodného kanálu nemusí být zchlazena do stejné míry jako výrobek. Jedná se o vtokový zbytek, který je při vyhození výrobku z formy oddělen a stává se technologickým odpadem. Nesmí však při vyhazování zašpinit povrch formy.

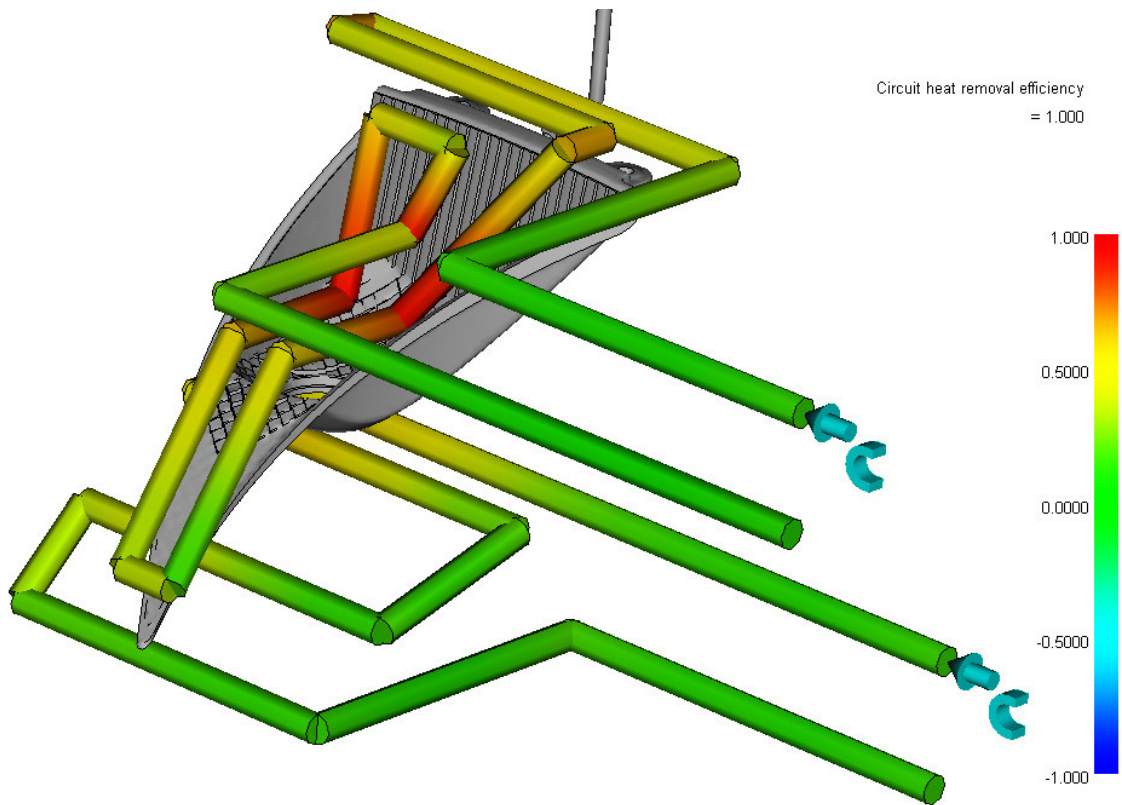


Obr. 59. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – studený vtokový systém pro 2. typ temperace

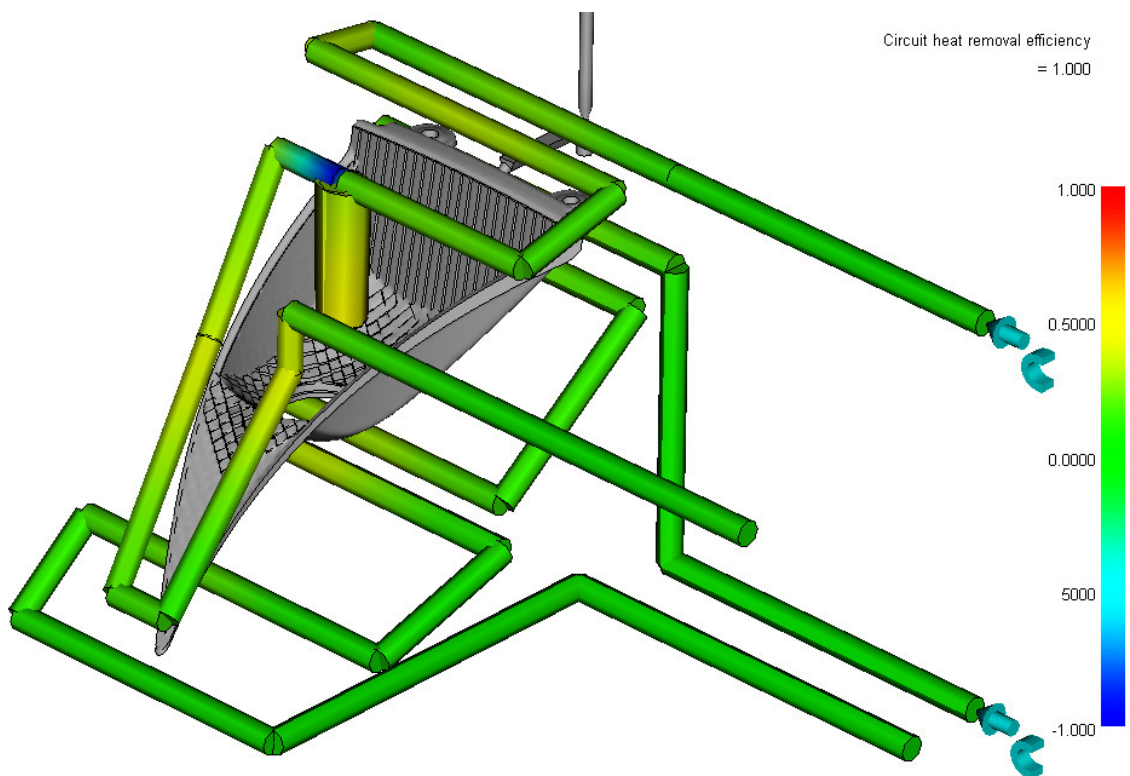
8.7.5 Účinnost odvodu tepla z temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)

Výsledek rozděluje temperační okruh pomocí barev podle toho, s jakou účinností v daném místě odebírá teplo z povrchu dutiny formy. Místa s nejvyšší účinností jsou zobrazeny červeně.

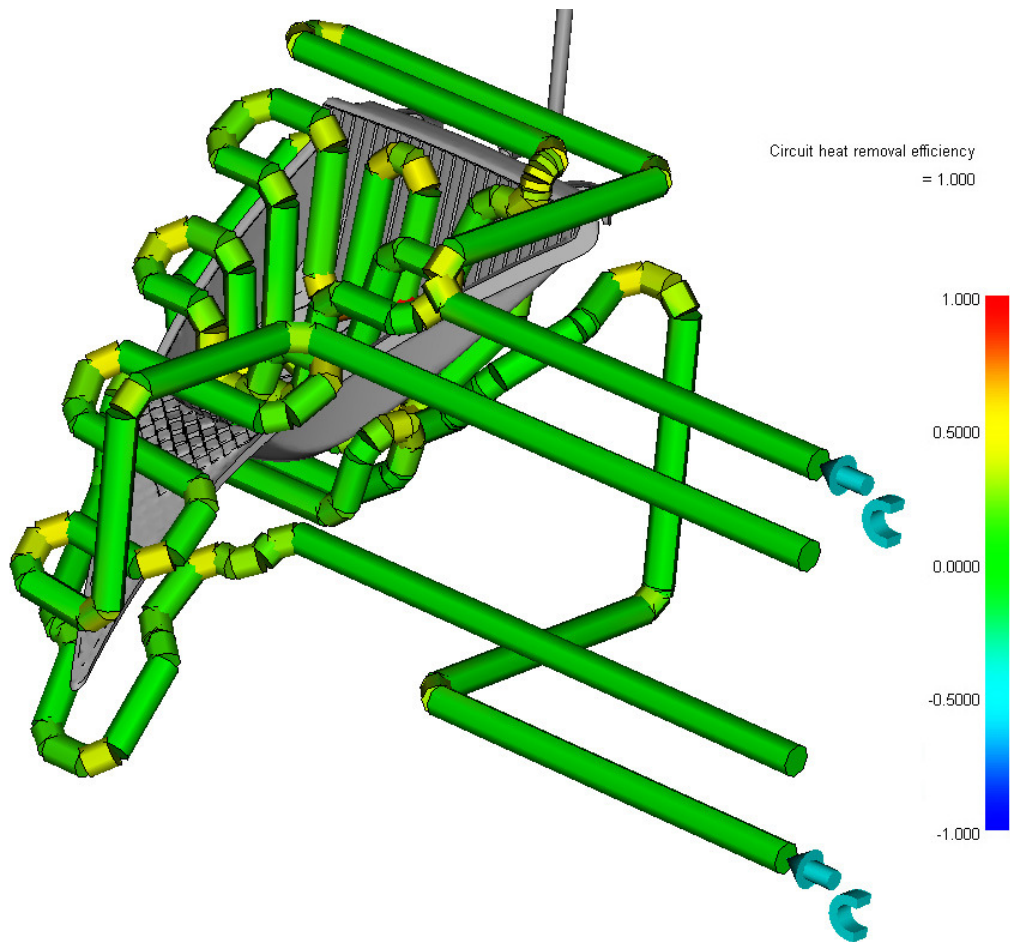
Výsledky po výpočtu u jednotlivých typů temperací zobrazovaly různé účinnosti odvodu tepla z temperačních okruhů. Pro lepší srovnání všech navrhovaných temperací byl na stupnici nastaven shodný rozsah účinnosti. U 1. typu temperace mají nejvyšší účinnost temperační kanály v pravé části formy poblíž otvoru pro žárovku (Obr. 60). U 2. typu má nejvyšší účinnost přepážka (Obr. 61). U výstupu z přepážky výsledek znázorňuje modrou barvou, že temperační médium dokonce odevzdává teplo tvárnici. U 3. nekonvenčního typu temperace je účinnost odvodu tepla nejrovnoměrnejší (Obr. 62).



Obr. 60. Výsledek – Účinnost odvodu tepla z okruhu pro 1. typ temperace



Obr. 61. Výsledek – Účinnost odvodu tepla z okruhu pro 2. typ temperace



Obr. 62. Výsledek – Účinnost odvodu tepla z okruhu pro 3. typ temperace

8.8 Výsledky analýz – Deformace (Warp)

Pomocí výsledků Deformace je možné předpovědět změny tvaru dílce oproti tvaru dutiny po vyhození z formy. Tyto změny jsou nejčastěji způsobeny rozdílným smrštěním vyvolávajícím vnitřní napětí, jež poté způsobuje deformaci. Program Moldflow dokáže spočítat kromě konečných výsledných deformací i příspěvky deformací od jednotlivých vlivů. Výsledné deformace se poté skládají z deformací způsobených temperací, smrštěním a orientací řetězců polymeru.

8.8.1 Odchytky – chlazení celkově (Deflection – cooling)

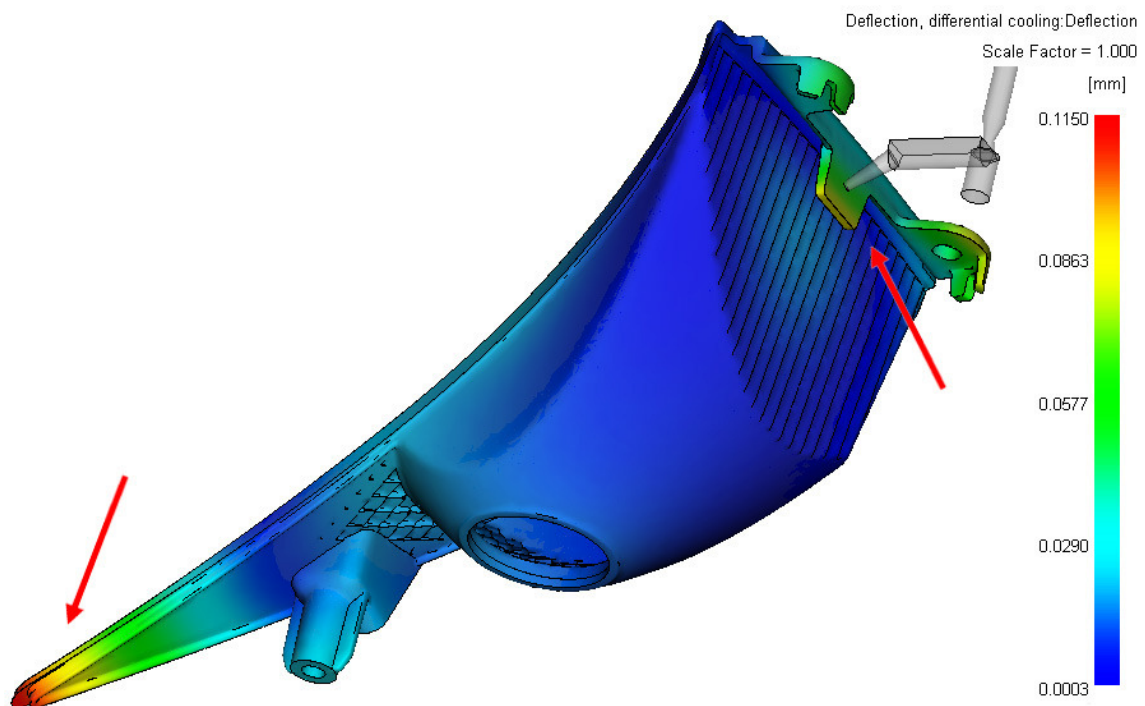
Výsledek ukazuje pomocí barevného spektra velikost odchytek způsobených temperací formy. Výsledky zahrnují celkové odchytky ve směrech os X, Y a Z.

V (Tab. 10) jsou hodnoty deformací, které byly způsobeny temperací. Nejmenší odchylka vznikla u 3. typu temperace a je označena modrou barvou. 1. typ temperace má největší odchylku, která je v tabulce označena červenou barvou.

Tab. 10. Hodnoty celkových odchylek způsobené chlazením

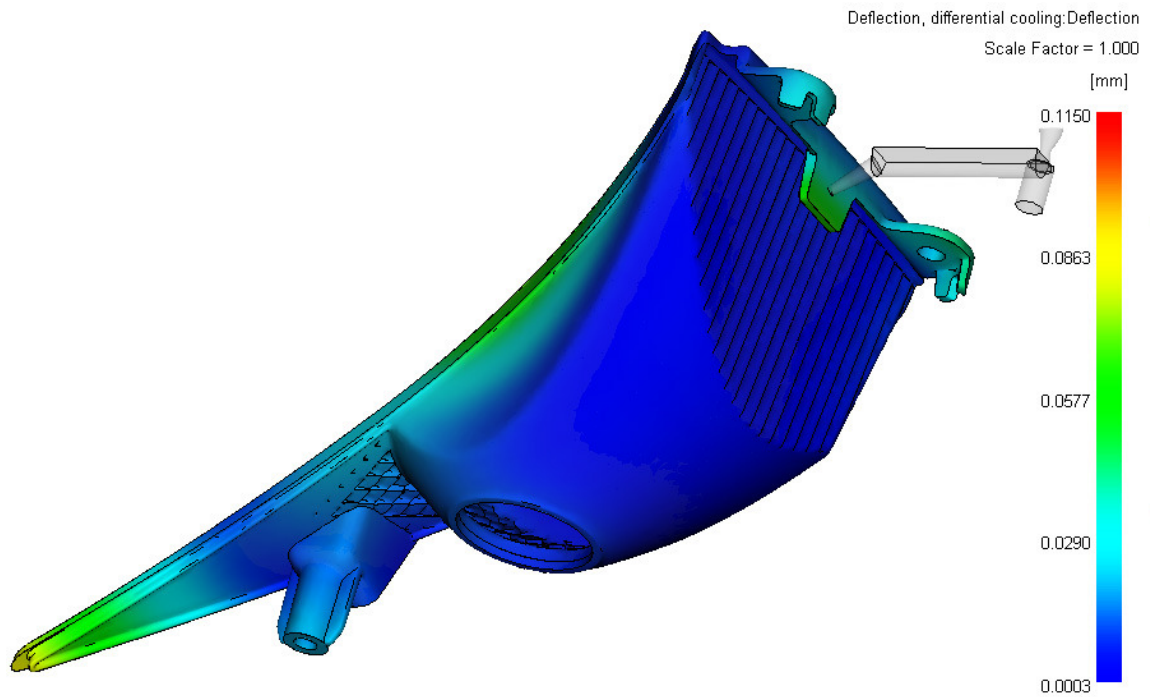
Typ temperace:	1. typ	2. typ	3. typ
Nejmenší odchylka: [mm]	0,0021	0,0003	0,0006
Největší odchylka: [mm]	0,1150	0,0875	0,0823

Při nastavení stupnice na nejnižší a nejvyšší odchylku danou výsledky všech typů temperace (rozsah 0,0003 až 0,1150 mm) lze pomocí barev jednotlivé návrhy srovnat (Obr. 63, 64 a 65). Z porovnání je patrné, že u 1. návrhu se nejvíce deformuje špičatá část na konci výrobku a také oblast blízko vtoku, kde chybí u 1. návrhu temperační kanály v levé části formy (viz. šipky).

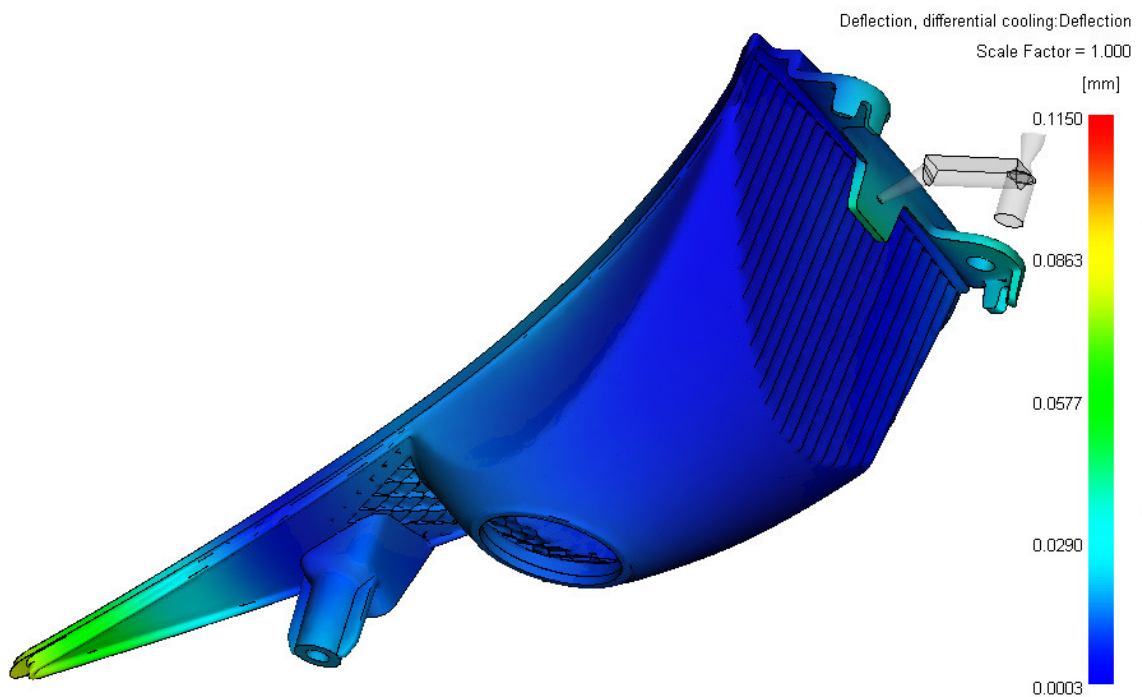


Obr. 63. Výsledek Odchylky – chlazení celkově pro 1. typ temperace

Tvarové změny způsobené nerovnoměrným chlazením jsou u 2. a 3. typu temperace menší než u 1. typu temperace. Chlazení je tedy u těchto návrhů rovnoměrnější.



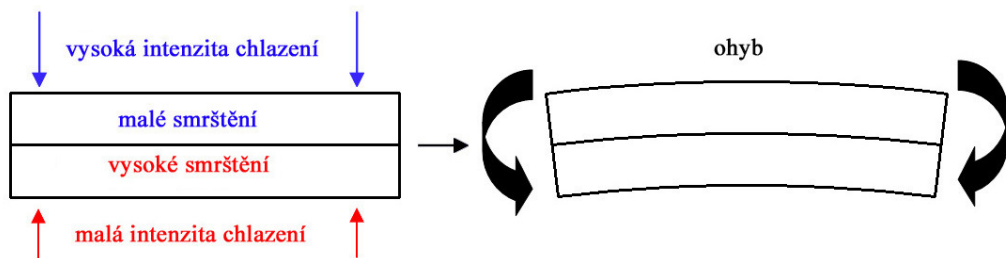
Obr. 64. Výsledek Odchylky – chlazení celkově pro 2. typ temperace



Obr. 65. Výsledek Odchylky – chlazení celkově pro 3. typ temperace

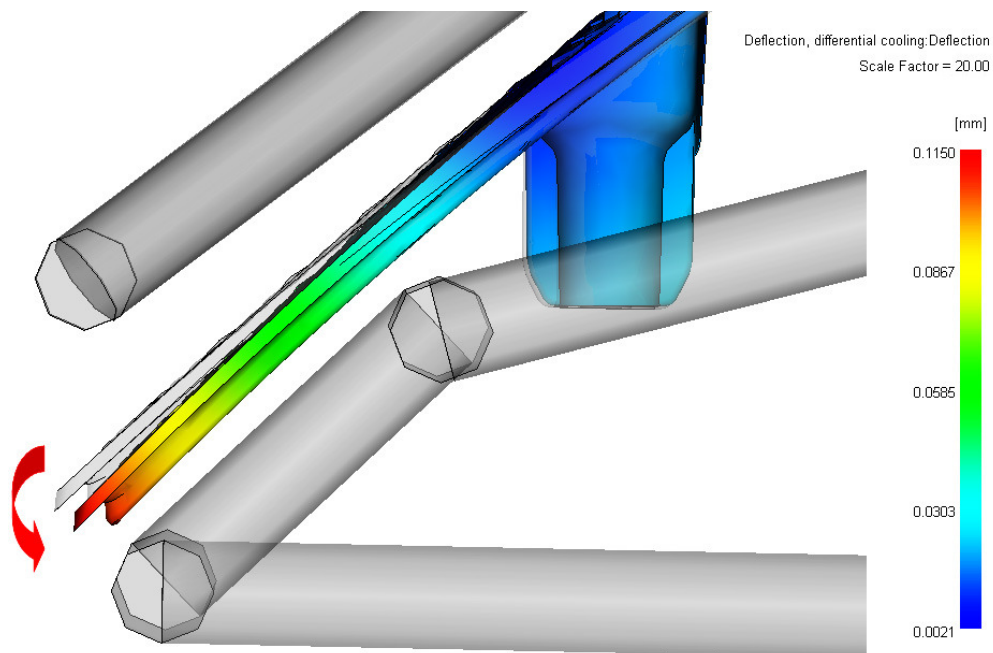
Rozdíly v deformacích jsou vyvolány nerovnoměrným chlazením různých míst povrchu dílce a také nerovnoměrným chlazením pravé a levé části formy. Obecné chování desky při nerovnoměrném chlazení jejích stran znázorňuje (Obr. 66). Při vysoké intenzitě chlazení horní strany desky polymer příliš brzo zatuhne a nestačí se tak plně projevit výrobní smršť-

tění. Naproti tomu u spodní strany desky je intenzita chlazení nižší a tím smrštění vyšší. Na horní straně desky se objevují tlaková a na spodní straně tahová napětí, která způsobí ohyb.



Obr. 66. Průhyb způsobený různou intenzitou chlazení

Na (Obr. 67) je pomocí 20-ti násobného zvětšení zobrazena deformace u 1. typu temperace. Konec dílce se prohýbá směrem dolů (viz. šipka). Na levé straně formy není temperace rozmístněna pod celým výrobkem a tudíž je zde intenzita chlazení nižší. Výrobek má ovšem oproti desce složitější tvar a určení výsledných deformací není jednoduché.



Obr. 67. Průhyb dílce způsobený chlazením u 1. typu temperace

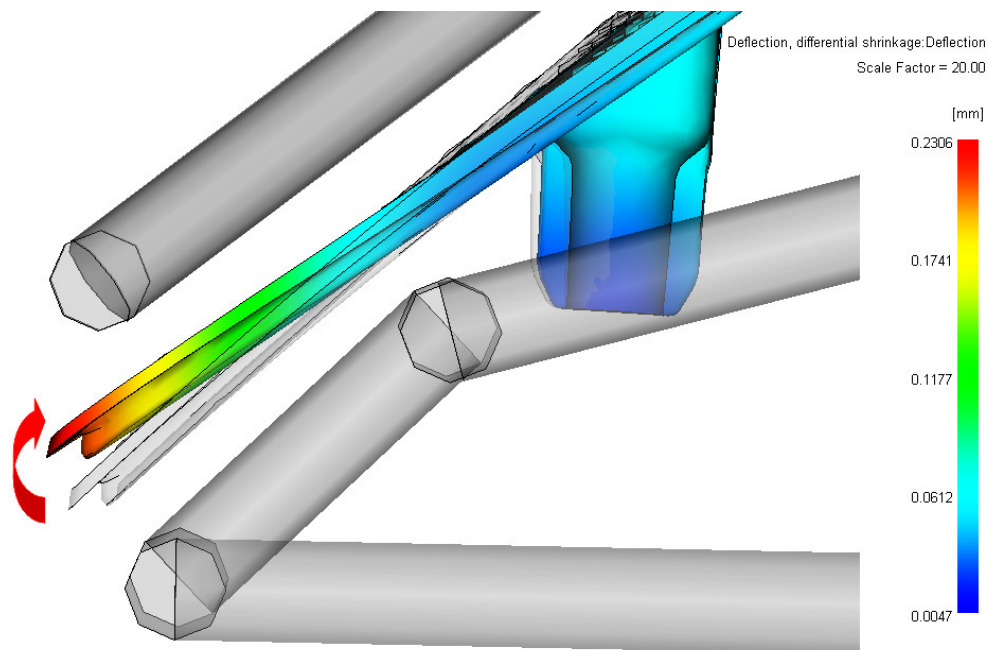
8.8.2 Odchytky – smrštění celkově (Deflection – shrinkage)

Výsledek ukazuje pomocí barevného spektra velikost odchylek způsobených smrštěním materiálu během chlazení v dutině formy. Výsledky zahrnují celkové odchylky ve všech směrech os X, Y a Z (Tab. 11).

Tab. 11. Hodnoty celkových odchylek způsobené smrštěním materiálu

Typ temperace:	1. typ	2. typ	3. typ
Nejmenší odchylka : [mm]	0,0047	0,0068	0,0035
Největší odchylka: [mm]	0,2306	0,2248	0,2452

Deformace způsobené smrštěním jsou zhruba dvakrát vyšší než deformace způsobené chlazením (Tab. 10). U 1. typu temperace způsobuje smrštění silný průhyb konce výrobku směrem nahoru (Obr. 68).



Obr. 68. Průhyb dílce způsobený smrštěním u 1. typu temperace

8.8.3 Odchylky – všechny vlivy celkově (Deflection – all effects)

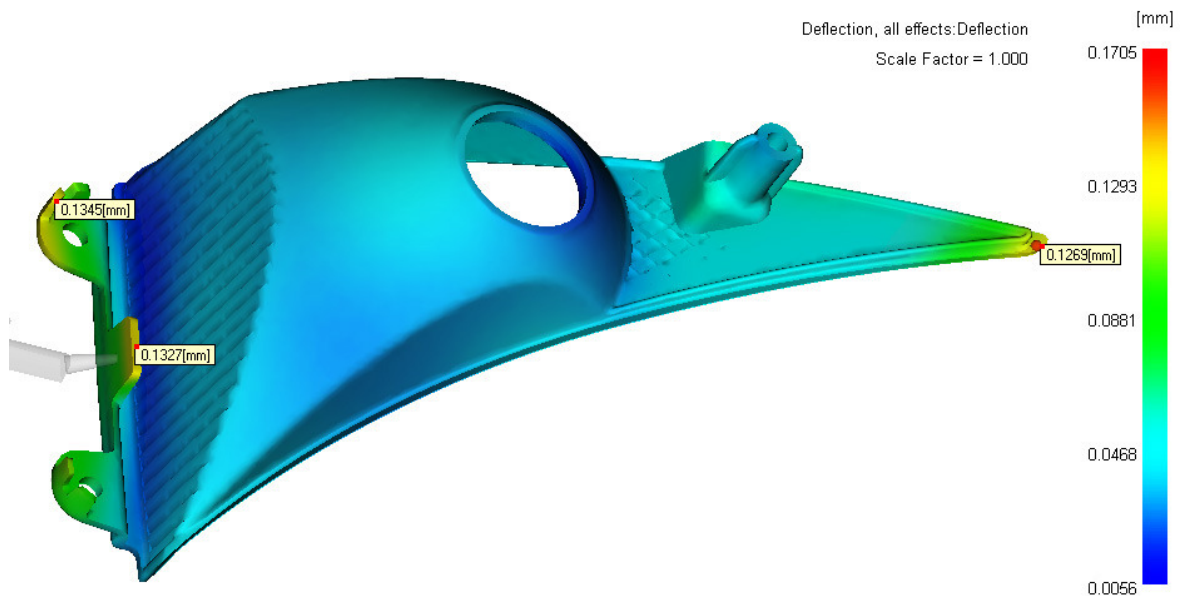
Výsledek ukazuje pomocí barevného spektra velikost odchylek dílce způsobených všemi vlivy. Výsledky zahrnují celkové odchylky ve všech směrech os X, Y a Z.

Tab. 12. Hodnoty celkových odchylek způsobené všemi vlivy

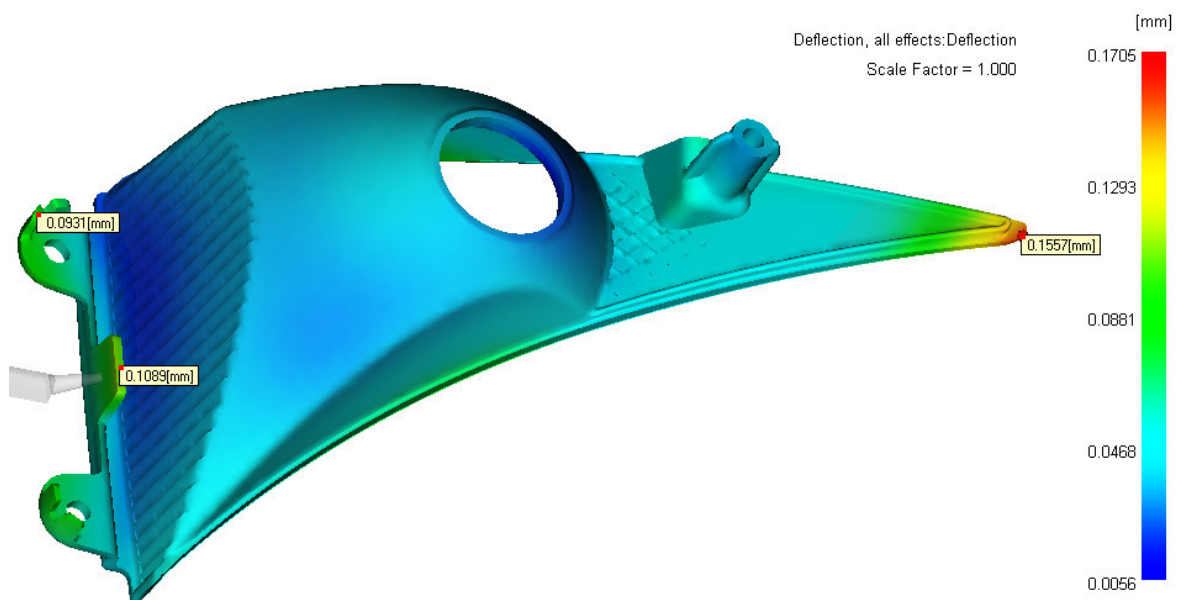
Typ temperace:	1. typ	2. typ	3. typ
Nejmenší odchylka: [mm]	0,0056	0,0111	0,0063
Největší odchylka: [mm]	0,1356	0,1579	0,1705

Z hodnot v (Tab. 12) vyplývá, že největší celkové deformace má výrobek vyhozený z formy s 3. nekonvenčním návrhem temperace. Nejmenší odchylky způsobuje 1. návrh tempe-

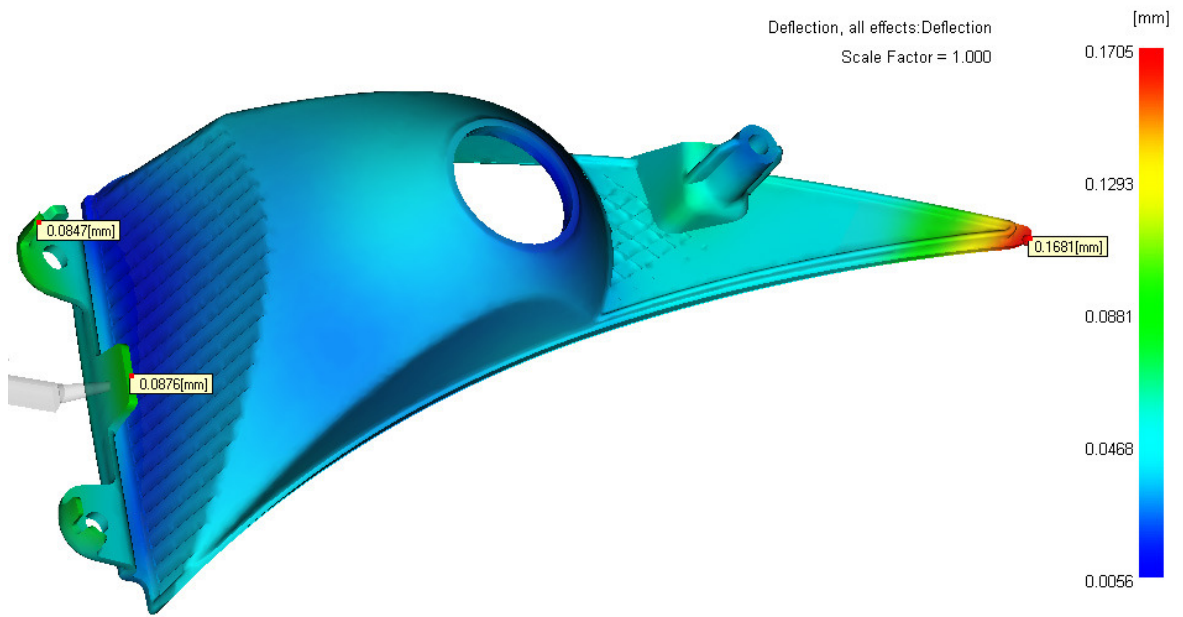
race. Je tomu tedy přesně naopak jako u výsledků deformací způsobených pouze odchlazením (Tab. 10). Je to dáno tím, že výsledné deformace se sčítají z deformací způsobených jednotlivými vlivy. Oblasti, kde se výsledné nejvyšší deformace nachází jsou patrné z (Obr. 69, 70, 71). Stupnice je nastavena na nejnižší a nejvyšší odchylku danou výsledky všech typů teplot (rozsah 0,0056 až 0,1705 mm).



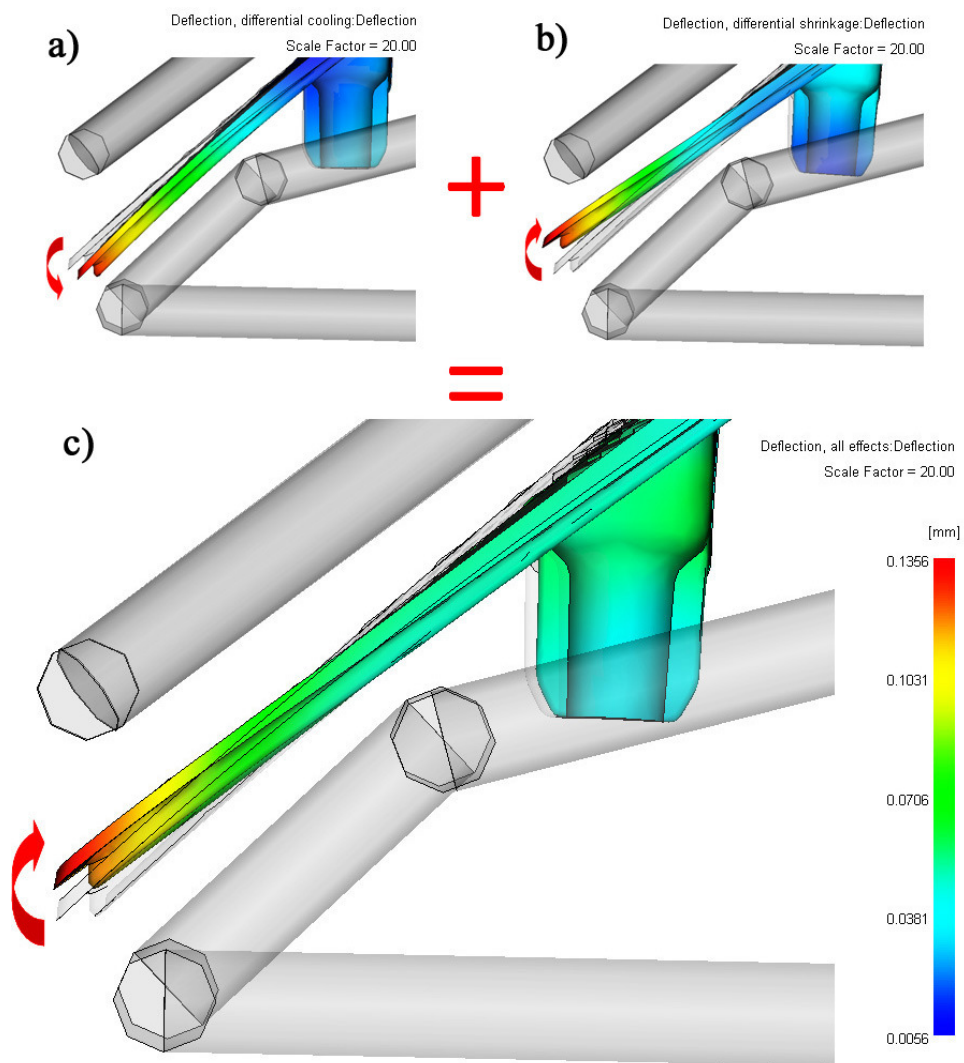
Obr. 69. Výsledek Odchylky – celkové odchylky všech vlivů pro 1. typ teploty



Obr. 70. Výsledek Odchylky – celkové odchylky všech vlivů pro 2. typ teploty



Obr. 71. Výsledek Odchylky – celkové odchylky všech vlivů pro 3. typ temperace



Obr. 72. Celkový průhyb dílce způsobený všemi vlivy u 1. typu temperace

U 1. typu temperace je špičatý konec výrobku deformován vlivem chlazení směrem dolů (Obr. 72a). Deformace vlivem smrštění jsou vyšší a ohýbají konec směrem nahoru (Obr. 72b). Výsledné deformace jsou součtem obou předchozích deformací a ohýbají konec dílce směrem nahoru (Obr. 72c). Deformace na špičatém konci výrobku způsobené chlazením tedy eliminují deformace způsobené smrštěním, které mají opačný směr ohybu. Čím vyšší jsou deformace způsobené nerovnoměrným chlazením, tím menší jsou výsledné celkové deformace.

9 DISKUZE KONSTRUKCE A VÝSLEDKŮ ANALÝZ VSTŘIKOVACÍ FORMY

Všechny tři návrhy vstřikovacích forem se skládají z 206 až 262 dílů. U 1. a 2. návrhu počet dílů zvyšuje množství ucpávek tvořící temperační obvody. Z celkového počtu dílů, které tvoří sestavu formy, je pouze pětina dílů netypizovaných a zvláště vyráběných. Všechny ostatní díly jsou kromě horké trysky, kterou vyrábí firma Synventive, normáliemi firmy Hasco. Větší část normalizovaných dílů byla použita bez úprav, zbytek musel být upravován.

Rozměry studeného rozvodného systému, jež navazuje na horkou trysku, byly voleny s přihlédnutím na doporučené hodnoty z literatury [4]. Objem vstřikované dávky byl hlavním parametrem pro zvolení rozměrů vtokového systému.

Z provedených analýz vyplývá, že vtokový systém navržené formy dopravuje spolehlivě taveninu polymeru do dutin formy a umožňuje její celkové zaplnění. Pouze v samotném ústí tunelového vtoku dochází k mírně vyššímu, než je povolené namáhání použitého materiálu. Pokud by toto namáhání způsobovalo degradaci taveniny, muselo by se přistoupit k úpravám procesních podmínek nebo rozměrů vtokového systému.

Výsledky analýz týkající se navrhovaných temperačních systému jsou shrnuty v následující tabulce (Tab. 13).

Tab. 13. Vybrané závěry plynoucí z tokových analýz

Výsledek:	1. typ	2. typ	3. typ
Intenzita chlazení – frakce zatuhlých vrstev:			nejvyšší
Namáhání taveniny – smykové napětí:	nejnižší		nejvyšší
Čas k dosažení vyhazovací teploty:	nejdelší	nejkratší	nejkratší
Účinnost odvodu tepla:	nerovnoměrná	rovnoměrná	rovnoměrná
Deformace vlivem teploty:	nejvyšší	nejmenší	nejmenší
Celkové deformace:	nejmenší		největší

Z výsledků analýz vyplývá že nejvyšší intenzitu chlazení má 3. nekonvenční typ temperace. Tato temperace chladí dílec nejrychleji a tím pádem nejvíce zkracuje vstřikovací cyklus. Chlazení je rovnoměrné a způsobuje nejmenší deformace. V součtu celkových deformací (deformace vzniklé chlazením + smrštěním) má ovšem paradoxně největší odchylky. 3. návrh temperace, který je vyrobený technologií DMLS, není vhodný z ekonomického hlediska. Technologie je málo dostupná a nákladná. Vyplatila by se pouze při určité vysoké sérii vyráběných kusů reflektorů. Další nevýhodou je pórovitost materiálu formy, která může způsobovat dokonce i propustnost temperačního média mimo systém temperačních kanálů. Problémem v případě použití DMLS technologie pro tvarové vložky je také zanášení nevyleštěných kanálů a jejich následné čištění, které je v podstatě neřešitelné. U konvenčně vyráběných temperací je čištění řešeno opětovným provrtáním již existujících kanálů.

1. konvenční typ temperace má nejmenší intenzitu chlazení a tedy nejdelší vstřikovací cyklus. S tímto souvisí malé namáhání polymerní taveniny (malé smykové napětí) během plnění tvarové dutiny formy. Chlazení je nerovnoměrné a způsobuje velké deformace. V součtu celkových deformací má ale nejmenší odchylky.

2. konvenční typ temperace zajišťuje nejkratší vstřikovací cyklus vlivem rychlé intenzity chlazení a rovnoměrné účinnosti temperačního obvodu. Deformace způsobené vlivem chlazení jsou nejmenší a v součtu s deformacemi vlivem smrštění způsobují vyšší celkové deformace. 2. typ temperace je tímto vybrán jako nejvhodnější návrh pro zadaný výrobek.

ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byla vytvořena rešerše na zadané téma. Zahrnuje úvod do problematiky vstřikování plastů, popis a rozdělení vstřikovacích strojů, základní zásady při návrhu konstrukce forem a nakonec popisuje problematiku vad plastových výrobků.

V praktické části byla provedena konstrukce 3D sestavy vstřikovací formy. Plastový dílec, pro který byla forma navrhována, byl dodán firmou Hella Autotechnik, s.r.o. Mohelnice, a to jak ve formě 3D modelu, tak i jako fyzický díl. Jedná se o reflektor, který je součástí světlometu osobního automobilu. Ze zadaných dat byly nejprve pomocí programu Catia V5R18 vytvořeny vložky (tvárník a tvárnice) tvořící dutinu formy. Následně byla provedena konstrukce celé sestavy vstřikovací formy. Při návrhu formy byly využity některé informace poskytnuté firmou Hella Autotechnik. Během konstrukce vstřikovací formy byly využívány normalizované díly firmy Hasco.

V další části práce byly navrženy celkem tři typy temperací pro chlazení zadaného dílce. Byly vytvořeny tedy celkem tři sestavy vstřikovacích forem. První dva návrhy temperací jsou vyrobitelné konvenčními způsoby, tj. jsou tvořeny vrtanými otvory ve tvarových vložkách. Třetí návrh je nekonvenční, vyrobený technologií DMLS. Dále byly v programu Catia V5R18 vytvořeny trajektorie pro tok polymeru a temperačního média.

V poslední části byly nastaveny a spuštěny v programu Autodesk Moldflow Insight 2011 tokové analýzy pro všechny tři typy navržených temperací. Výsledky analýz jsou shrnuty a popsány.

Z výsledků analýz vyplývá, že forma a především její vtokový systém, pomocí něhož je tavenina polymeru dopravována do dutin formy, je navržen dobře. Pro optimální návrh vtokového systému by bylo třeba provést analýzy pro více druhů.

Pro navržené temperace z výsledků vyplývá, že nejintenzivněji a nejrovnoměrněji zadaný dílec chladí 3. typ temperace, který je vyroben nekonvenční technologií. Způsobuje nejmenší deformace vlivem chlazení, ovšem v součtu celkových deformací má ze všech tří typů navržených temperací největší odchylky. Technologie DMLS, pomocí které by byl 3. typ temperace vytvořen, má oproti konvenčnímu způsobu také celou řadu nevýhod.

S nejmenšími odchylkami rozměrů vznikl dílec vyrobený pomocí 1. konvenčního typu temperace. Velké deformace způsobené chlazením se částečně vyrovnávají s deformacemi

vzniklymi od smrštění a konečné celkové deformace jsou ze všech tří typů temperací nejmenší. Tato temperace chladí dílec nejmenší intenzitou a nerovnoměrně. Díky tomu způsobuje nejmenší namáhání taveniny během plnění. Naproti tomu délka vstřikovacího cyklu je ze všech navrhovaných typů temperací nejdelší.

2. typ temperace, který je také konvenční, má rovnoměrný odvod tepla z temperačního obvodu a krátký vstřikovací cyklus. Namáhání materiálu během fáze plnění dutiny formy je malé. Rozměrové odchylky způsobené chlazením jsou nejmenší a zapříčiňují v konečném součtu vyšší výsledné deformace. 2. typ temperace se tedy s přihlédnutím ke všem výsledkům jeví jako nejvhodnější pro zadaný dílec.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. Liberec : Zpracování plastů. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm>.
- [2] MAŇAS, Miroslav; HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení : Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno : 1990. 199 s.
- [3] *Arburg für effizientes Spritzgießen* [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.arburg.com/>>.
- [4] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : I. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno : 1999. 134 s.
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. Praha : BEN, 2009. 248 s.
- [6] *Plastics automation* [online]. A.M. Dostupné z WWW: <<http://www.amcz.cz/>>.
- [7] *Příručka - Formy pro zpracování plastů : II. díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vydání. Brno : [s.n.], 1999. 212 s.
- [8] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 1. díl [online]. 2010. *MM Průmyslové spektrum*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>>.
- [9] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 2. díl [online]. 2010. *MM Průmyslové spektrum*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>>.
- [10] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 3. díl [online]. 2010. *MM Průmyslové spektrum*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove>>.
- [11] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků - 5. díl [online]. 2010. *MM Průmyslové spektrum*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-5-dil-skryte-vady-vnitri-pnuti>>.
- [12] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků - 6. díl : Skryté vady. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, číslo 11, s. 40-42. ISSN 1212-2572.

-
- [13] KNOT, Jiří. *Konstrukční návrh a porovnání temperančních systémů*. Zlín, 2010. 99 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [14] ŠTĚPEK, J. *Zpracování plastických hmot*. 2. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1991. 289 s.
- [15] Moldflow [online]. 2005- Dostupné z WWW: <www.moldflow.com/stp/>.
- [16] MANAS, M., VLCEK, J. *Aplikovaná reologie*. Zlín: UTB, 2001. 144 s. ISBN 807318-039-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

\dot{Q}	Tepelný tok [W]
PEEK	Polyetereterketon
PEI	Polyetherimid
PSU	Polysulfon
S	Plocha [m ²]
s _k	Tloušťka [m]
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
Δt	Rozdíl teplot [K]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Popis vstřikovacího cyklu</i>	14
<i>Obr. 2. Dělení vstřikovacích strojů dle vstřikovací jednotky [2]</i>	15
<i>Obr. 3. Dělení vstřikovacích strojů dle uzavírací jednotky [2]</i>	15
<i>Obr. 4. Pracovní cyklus vstřikovacího stroje se šnekovou plastikační jednotkou</i>	16
<i>Obr. 5. Ukázka vstřikovacího stroje německé firmy Arburg [3]</i>	18
<i>Obr. 6. Periferní zařízení nabízené firmou A.M.spol.s r.o. [6]</i>	20
<i>Obr. 7. Ukázka konstrukce vstřikovací formy – řez 3D modelem</i>	22
<i>Obr. 8. Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění</i>	24
<i>Obr. 9. Řadové uspořádání vtokové soustavy u vícenásobných forem</i>	25
<i>Obr. 10. Symetrické uspořádání studené vtokové soustavy</i>	25
<i>Obr. 11. Tepelná bilance vstřikovací formy [7]</i>	28
<i>Obr. 12. Vliv rozmístění kanálů na průběh teploty na povrchu dutiny formy [7]</i>	29
<i>Obr. 13. Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny [7]</i>	29
<i>Obr. 14. Příklady chlazení hranatých (a) a kruhových (b) desek [7]</i>	32
<i>Obr. 15. Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran výstřiků [7]</i>	33
<i>Obr. 16. Vruby u amorfního polymeru vzniklé v místě studeného spoje [8]</i>	36
<i>Obr. 17. Deselekt – spálený polymer v místě komprese vzduchu [8]</i>	38
<i>Obr. 18. Vlhký materiál (PP + plnivo) [10]</i>	41
<i>Obr. 19. Vzhled gramofonové desky [10]</i>	41
<i>Obr. 20. Deformace víka z PP a PE vlivem anizotropie smrštění jako důsledek rozdílné orientace [12]</i>	44
<i>Obr. 21. Zadaný dílec – reflektor</i>	48
<i>Obr. 22. Detaily míst zadaného dílce</i>	49
<i>Obr. 23. 3D model zadaného dílce</i>	49
<i>Obr. 24. Poloha hlavní a vedlejší dělicí roviny</i>	51
<i>Obr. 25. Tvorba dutin tvárníku a tvárnice</i>	52
<i>Obr. 26. Tvorba dělicí roviny tvárníku a tvárnice</i>	53
<i>Obr. 27. Konečný vzhled vložek (tvárníku a tvárnice)</i>	53
<i>Obr. 28. Řez vložkami podél vtokového systému</i>	54
<i>Obr. 29. Vtokový zbytek</i>	54
<i>Obr. 30. Vzhled pravé strany formy pro 1. a 3. návrh temperace</i>	55

<i>Obr. 31. Vzhled levé strany formy pro 1. a 3. návrh temperace</i>	56
<i>Obr. 32. Detaily levé strany formy</i>	57
<i>Obr. 33. Způsob odformování bočního otvoru</i>	57
<i>Obr. 34. Rozmístění vyhazovačů na výrobku</i>	58
<i>Obr. 35. Vzhled vyhazovacího systému formy pro 1. a 3. návrh temperace</i>	58
<i>Obr. 36. 1. konvenční návrh temperace</i>	59
<i>Obr. 37. 1. konvenční návrh temperace – pohled zepředu a z boku</i>	60
<i>Obr. 38. 2. konvenční návrh temperace – pohled zepředu a z boku</i>	60
<i>Obr. 39. 2. konvenční návrh temperace</i>	61
<i>Obr. 40. 3. nekonvenční návrh temperace</i>	62
<i>Obr. 41. Mesh statistics</i>	64
<i>Obr. 42. Definování vtokového systému</i>	65
<i>Obr. 43. 1. typ temperace</i>	67
<i>Obr. 44. 2. typ temperace</i>	67
<i>Obr. 45. 3. typ temperace</i>	68
<i>Obr. 46. Okruhy 3. typu temperace pro pravou a levou část formy</i>	68
<i>Obr. 47. Výsledek – Čas plnění pro 1. typ temperace</i>	69
<i>Obr. 48. Výsledek – Tlak v místě vstříku pro 3. návrh temperace</i>	70
<i>Obr. 49. Výsledek – Frakce zatuhlých vrstev pro všechny typy temperace</i>	71
<i>Obr. 50. Výsledek – Smyková rychlost pro 1. typ temperace</i>	71
<i>Obr. 51. Výsledek Vzduchové kapsy</i>	72
<i>Obr. 52. Výsledek – Smykové napětí na stěně pro 1. typ temperace</i>	73
<i>Obr. 53. Rozmístění temperačních kanálů v blízkosti vtokového systému</i>	74
<i>Obr. 54. Výsledek – Teplota temperačního média pro 1. typ temperace</i>	75
<i>Obr. 55. Hodnota Reynoldsova čísla pro 2. typ temperace</i>	75
<i>Obr. 56. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhaz. teploty pro 1. typ temperace</i>	77
<i>Obr. 57. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhaz. teploty pro 2. typ temperace</i>	77
<i>Obr. 58. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhaz. teploty pro 3. typ temperace</i>	78
<i>Obr. 59. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – studený vtokový systém pro 2. typ temperace</i>	79
<i>Obr. 60. Výsledek – Účinnost odvodu tepla z okruhu pro 1. typ temperace</i>	80
<i>Obr. 61. Výsledek – Účinnost odvodu tepla z okruhu pro 2. typ temperace</i>	80
<i>Obr. 62. Výsledek – Účinnost odvodu tepla z okruhu pro 3. typ temperace</i>	81

<i>Obr. 63. Výsledek Odchylky – chlazení celkově pro 1. typ temperace.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 64. Výsledek Odchylky – chlazení celkově pro 2. typ temperace.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 65. Výsledek Odchylky – chlazení celkově pro 3. typ temperace.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 66. Průhyb způsobený různou intenzitou chlazení</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 67. Průhyb dílce způsobený chlazením u 1. typu temperace</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 68. Průhyb dílce způsobený smrštěním u 1. typu temperace</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 69. Výsledek Odchylky – celkové odchylky všech vlivů pro 1. typ temperace</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 70. Výsledek Odchylky – celkové odchylky všech vlivů pro 2. typ temperace</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 71. Výsledek Odchylky – celkové odchylky všech vlivů pro 2. typ temperace</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 72. Celkový průhyb dílce způsobený všemi vlivy u 1. typu temperace</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 73. Vzhled pravé strany formy pro 2. návrh temperace</i>	<i>101</i>
<i>Obr. 74. Vzhled pravé strany formy pro 2. návrh temperace</i>	<i>102</i>
<i>Obr. 75. Vzhled vyhazovacího systému formy pro 2. návrh temperace</i>	<i>102</i>
<i>Obr. 76. Celkový pohled na formu s 2. návrhem temperace.....</i>	<i>103</i>
<i>Obr. 77. Celkový pohled na formu ze spodu s 2. návrhem temperace.....</i>	<i>103</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Orientační hodnoty průměru kanálu [7]</i>	29
<i>Tab. 2. Aktivní temperační prostředky – kapaliny</i>	31
<i>Tab. 3. Charakteristické vlastnosti použitého materiálu</i>	65
<i>Tab. 4. Výsledek – Čas plnění pro všechny typy temperací</i>	69
<i>Tab. 5. Hodnoty výsledku – Smyková rychlost</i>	72
<i>Tab. 6. Hodnoty smykového napětí na stěně</i>	73
<i>Tab. 7. Hodnoty výsledku – Teplota temperačního média na výstupech z okruhů</i>	74
<i>Tab. 8. Výsledek – Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – díl</i>	76
<i>Tab. 9. Výsledek – Čas k dosažení vyhazovací teploty – studený rozv. kanál</i>	78
<i>Tab. 10. Hodnoty celkových odchylek způsobené chlazením</i>	82
<i>Tab. 11. Hodnoty celkových odchylek způsobené smrštěním materiálu</i>	85
<i>Tab. 12. Hodnoty celkových odchylek způsobené všemi vlivy</i>	85
<i>Tab. 13. Vybrané závěry plynoucí z tokových analýz</i>	89

SEZNAM PŘÍLOH

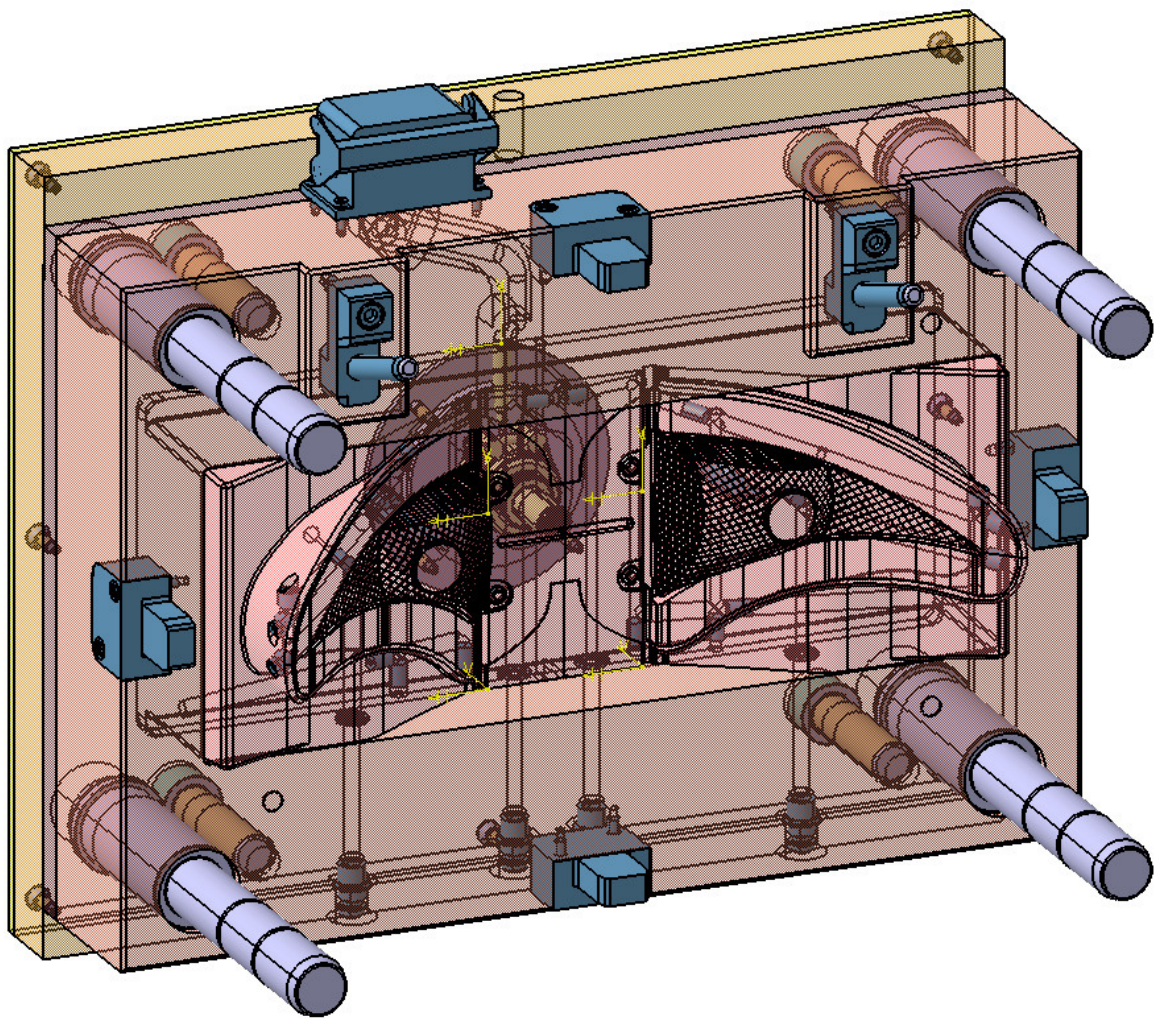
PŘÍLOHA P I: Vzhled 3D sestavy formy s 2. návrhem temperace

PŘÍLOHA P II: Výkresová dokumentace

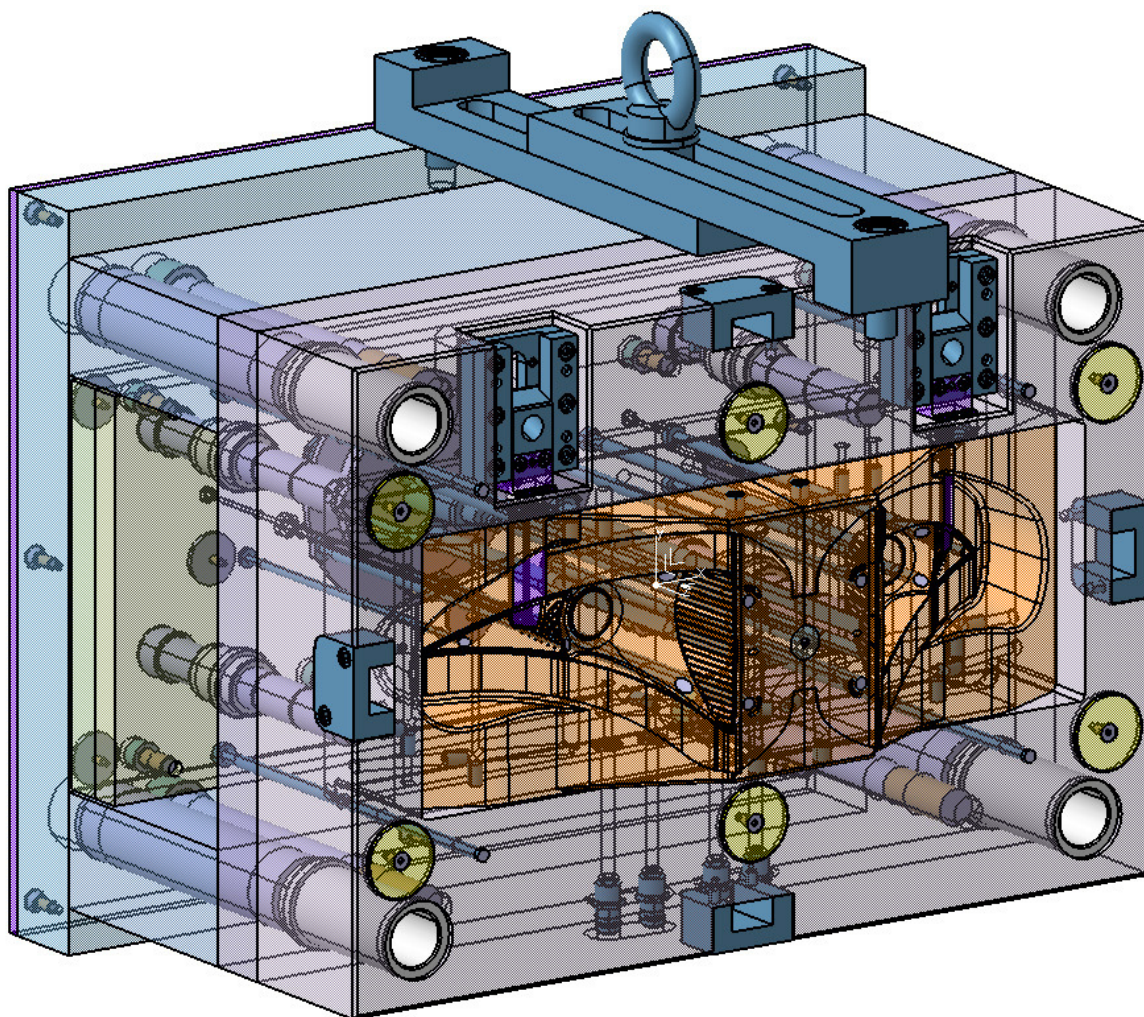
PŘÍLOHA P III: DVD disk obsahující:

- diplomovou práci;
- 3D sestavy forem a výrobku;
- výkresovou dokumentaci;
- tokové analýzy;
- fotografie zadaného dílce.

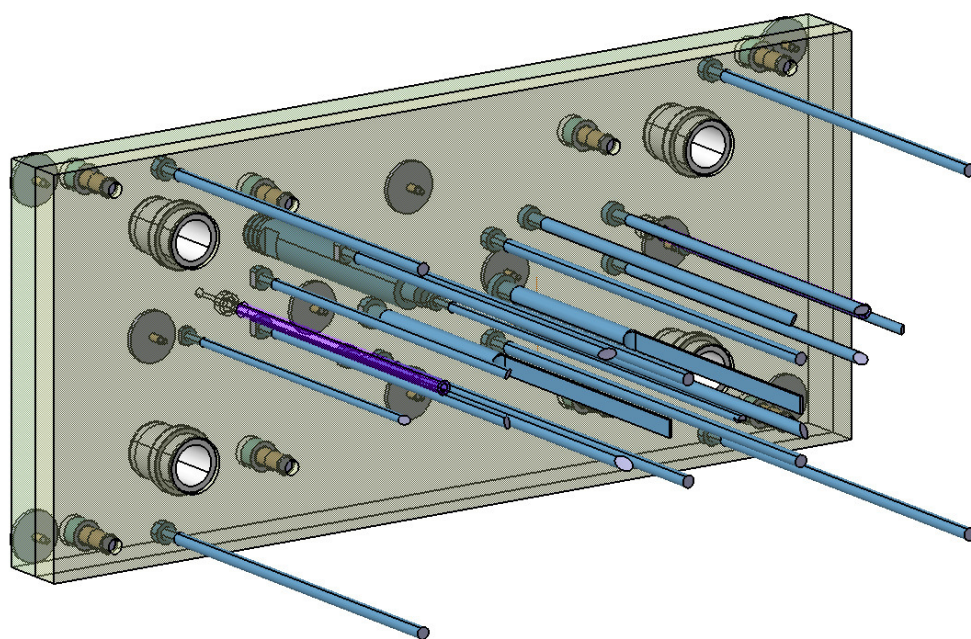
**PŘÍLOHA P I: VZHLED 3D SESTAVY FORMY S 2. NÁVRHEM
TEMPERACE**



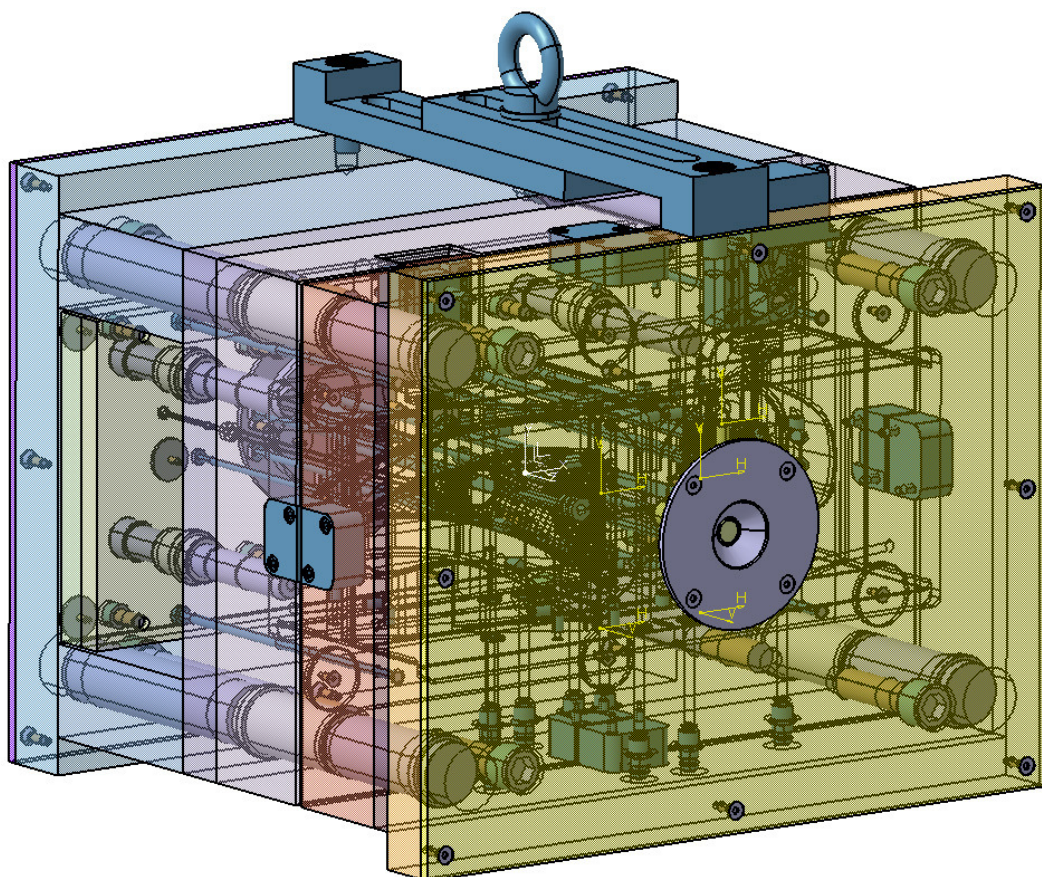
Obr. 73. Vzhled pravé strany formy pro 2. návrh temperace



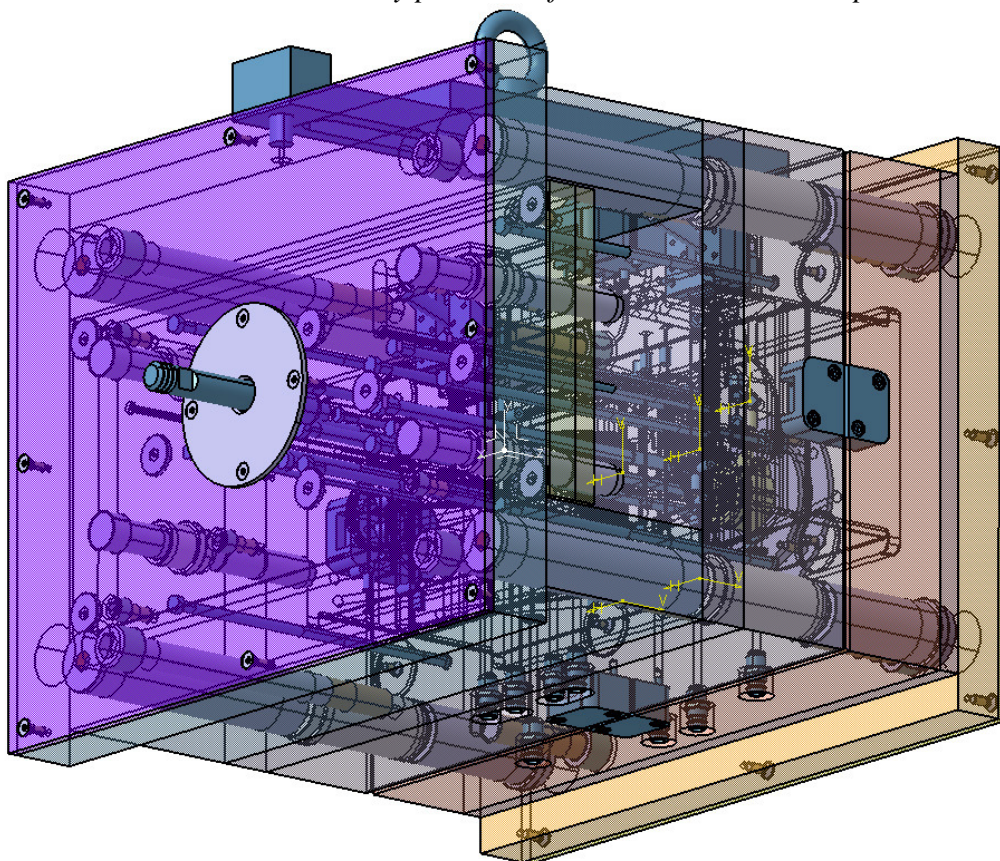
Obr. 74. Vzhled pravé strany formy pro 2. návrh temperace



Obr. 75. Vzhled vyhazovacího systému formy pro 2. návrh temperace



Obr. 76. Celkový pohled na formu s 2. návrhem temperace



Obr. 77. Celkový pohled na formu ze spodu s 2. návrhem temperace