

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika

Katedra: Zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Temperace a chlazení vstřikovacího nástroje

Vedoucí práce: Ing. Marie Šístková, CSc.

Autor: Bc. Michal Macho, DiS.

České Budějovice, 2018

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením vstřikovacích forem, zvláště pak zaměřena na jejich temperanci a chlazení. Cílem je navržení přínosného technologického postupu pro temperanci a chlazení vstřikovací formy pro kriticky exponovaná místa.

V teoretické části jsem se zaměřil a na komplexní nastínění problematiky vstřikování a možnosti temperančních a chladících okruhů. V praktické části byl vymodelován zadaný výstřik a navržena vstřikovací forma pro jeho realizaci. Konstrukce byla provedena v programu Siemens NX a simulační analýzy provedeny v softwarových programech Cadmould 3D - F a Aeroflow.

Podářilo se dosáhnout u materiálu POM celkové deformace a smrštění 1,674 [mm] a rovinnosti lemu 0,403 [mm] při celkové optimální teplotě formy 80 [°C]. U materiálu PA celkové deformace a smrštění 1,745 [mm] a rovinnost lemu 1,649 [mm]. Provedeným výzkumem jsem zjistil, že maximální teplota formy při vstřikování materiálu POM je 94.862 [°C] a konečná teplota na konci cyklu 87,259 [°C] v kritickém místě.

Hlavním zjištěním je možnost rozdílnou teplotou chladících okruhů ovlivnit celkové deformace a smrštění spolu s rovinností lemu. Na základě zjištěných údajů je aktivní chladící okruh vhodnější pro zástavbu než pasivní prvek chlazení. Výsledky této práce umožňují zkrácení technologického času cyklu vstřikovací formy a vybrání vhodného řešení chlazení exponovaných míst výstřiku.

Klíčová slova: temperance, forma, vstřikování, simulace, kritická místa.

Abstract

This diploma thesis deals with the design of injection molds, especially it is focused on their temperance and cooling. The aim is to design a beneficial technological process for tempering and cooling the injection mold for critically exposed sites.

In the theoretical part I focused on a comprehensive outline of the issue of injection molding and the possibility of tempering and cooling circuits. In the practical part the specified injection was modeled and an injection mold was designed for its implementation. The construction was carried out in the Siemens NX program and the simulation analysis was done in Cadmould 3D - F and Aeroflow software.

For the POM material the total shrinkage and warpage of 1.674 [mm] and the flatness of the hem of 0.403 [mm] at a total optimum mold temperature of 80 [°C.] were achieved. For PA material were total shrinkage and warpage 1,745 [mm] and flatness of hem 1,649 [mm]. I researched that the maximum mold temperature at POM injection is 94.862 [° C] and the end temperature at the end of the cycle is 87.259 [°C] at a critical point.

The main finding is the possibility to affect the overall shrinkage and warpage along with the flatness of the hem by varying the temperature of the cooling circuits. Based on the detected data, the active cooling circuit is more suitable for installation than the passive cooling element. The results of this work enable shortening of the technological cycle time of the injection mold and selecting of a suitable cooling solution for exposed injection sites.

Key words: temperance, form, injection, simulation, critical places.

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátu.

V Českých Budějovicích dne 10. 4. 2018

Bc. Michal Macho, DiS.

Poděkování

Rád bych poděkoval paní Ing. Marii Šístkové, CSc. za odborné vedení a cenné rady při zpracování předkládané diplomové práce. Mé poděkování patří také panu Bc. Luboši Drbohlavovi a Ing. Petru Hasmanovi, kteří velmi ochotně spolupracovali a poskytovali rady a připomínky jak při práci se vstříkovacími formami a simulačními programy, tak při následném zpracování všech výsledků. Velké poděkování také patří společnosti Roberta Bosche v Českých Budějovicích, která mi poskytla „know how“ a díky tomu možnost sepsat předkládanou diplomovou práci.

Obsah:

1	Úvod	8
2	Literární přehled řešené problematiky	9
2.1	Požadavky na vstřikovací nástroj	9
2.2	Hlavní faktory ovlivňující kvalitu práce – vstřikovací proces	12
2.3	Vtoková soustava.....	19
2.3.1	Studené vtokové systémy	19
2.3.2	Vyhřívané vtokové systémy	22
2.4	Vady výstřiků a jejich odstraňování	24
2.5	Druh plastu - nekovové materiály - polymery.....	28
2.6	Temperance	29
2.6.1	Aktivní temperance	32
2.6.2	Pasivní temperance.....	41
3	Cíl práce.....	45
4	Praktická část.....	46
4.1	Metodika.....	46
4.2	Cadmould 3D-F	51
4.3	AeroFlow	72
5	Závěr.....	82
6	Seznam použité literatury	84

1 Úvod

Pokud se v dnešní době podíváme kolem sebe, jsme do jisté míry obklopeni materiály, které zde dříve nebyly. Jedná se o materiály na polymerní bázi, které si své místo vydobily díky svým vlastnostem, jimiž se vyznačují (dostupnost, cena výroby, jednoduchost zpracování). Díky těmto vlastnostem v některých odvětvích vytlačily tradiční materiály, jakými jsou určité druhy kovů, dřevo, keramika, sklo a případně i vlna. Lítí za pomoci vstřikování bylo poprvé nasazeno k použití v 19. století z důvodu vyřešení problému v biliáru. Koule, které se používaly v této hře, byly původně vyráběny ze slonoviny afrických slonů. Úbytek těchto živočichů zapříčinil nedostatek slonoviny, načež přišla na řadu technologie vstřikování do forem. Díky těmto nenadálým okolnostem vznikla první, celuloidová plastická billiardové koule.

Vlastní řešení temperance vstřikovacího nástroje má více aspektů. Je nutné zahrnout mezi ně aspekty technologické, které přímo souvisejí s výsledným produktem, konstrukční vlastnosti formy a v neposlední řadě též zvážení ekonomických hledisek. Každý jednotlivý plastový výstřik klade specifické nároky na vlastní utváření vnitřního uspořádání chladícího respektive temperančního systému formy. Mezi opatření, které mají snížit výrobní náklady na výrobu a provoz je tzv. standardizace procesů vstřikovacích forem.

2 Literární přehled řešené problematiky

V České republice se problematikou temperancí vstřikovacího ústrojí případně vstřikováním plastů obecně zabývá celá řada autorů. Mezi ně můžeme například zařadit pana ŘEHULKU (2007), který vypracoval publikaci Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Další knižní publikace, která zevrubně popisuje vstřikování termoplastů do forem je titul od pana ZEMANA (2009) a jeho Vstřikování plastů, která směle může sloužit jako etalon při výuce elementárních znalostí řešené problematiky.

2.1 Požadavky na vstřikovací nástroj

Moderní vstřikovací nástroj je velmi sofistikované zařízení, u kterého probíhá celý proces plnění tvarové dutiny plně automaticky. Pořizovací a provozní náklady jsou na velmi vysoké úrovni, proto je nasazení vhodné pouze pro velkosériovou výrobu. Nástroj dává tavenině po ochlazení požadovaný finální tvar a rozměry výrobku. Děje se tak při zachování fyzikálních a mechanických vlastností plastu. [10]

Jeho kvalita plní následující požadavky:

Technické:

- Zaručit správnou funkci nástroje
- Vyrobit daný počet výstřiků
- Zachovat přesnost a kvalitu
- Splnit podmínku snadné manipulace i obsluhy při produkci výstřiků

Ekonomické:

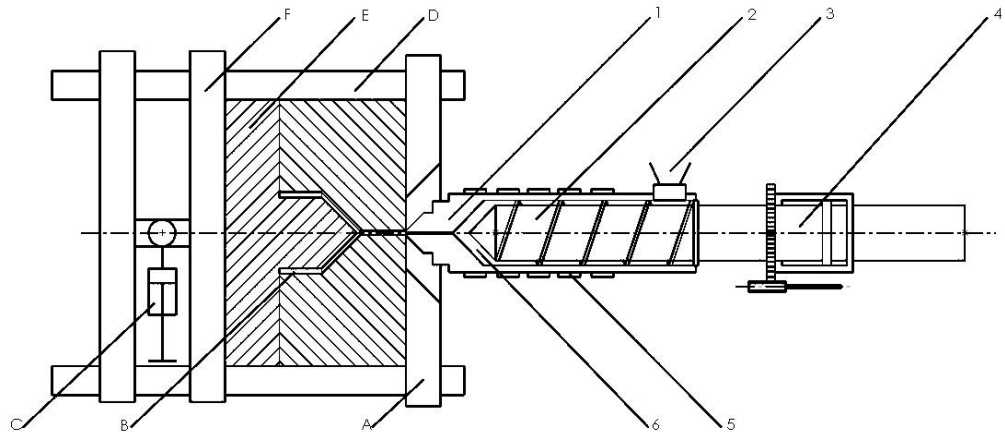
- Zachovat nízkou cenu
- Zajistit snadnou a rychlou produkci výstřiků při vysoké produktivitě práce
- Omezit ztráty plastu na minimum

Společensko-estetické:

- Umožnit vytvoření vhodného prostředí pro bezpečnou práci [7]

Konstrukce vstřikovacího nástroje

Mezi základní části vstřikovacího nástroje patří vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka a systémy starající se o regulaci a řízení procesů uvnitř a vně formy. [10]



Obr. č. 1 Vstřikovací nástroj (dle Řehulky, 2007)

Vstřikovací jednotka: 1 – vstřikovací tryska, 2 – šnekový dopravník, 3 – násypka, 4 – vstřikovací píst, 5 – tepelné elementy, 6 – hydraulický válec

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

Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka připravuje potřebné množství roztaveného materiálu a dopravuje jej do formy. Tato vstřikovaná roztavená hmota musí splňovat příslušné technologické parametry. [10]

Princip činnosti vstřikovací jednotky je takový, že do tavného válce je granulátový plast dopravován z násypky pomocí otáčivého posuvného pohybu šnekového dopravníku rychlostí $100 \text{ [mm}\cdot\text{s}^{-1}]$, který se rozděluje na vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Za postupného nahřívání tavné komory se přivedený granulát přeměňuje na viskózní hmotu. Veškerý tento materiál je hromádněn v pracovním válci. Tavná komora se zpravidla rozděluje na tři části, které se nazývají: vstupní, střední a prostor u vstřikovací trysky. Množství dopravovaného granulátového plastu je regulován skrze otáčky šnekového dopravníku. [10]

Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje uzavírací fázi formy, její následné otevření a může také zastávat funkci vyprázdnění. Uzavírací mechanismus určuje kvalitu a hodnotu jednotky. Máme několik druhů a provedení, které jsou popsány níže. [10]

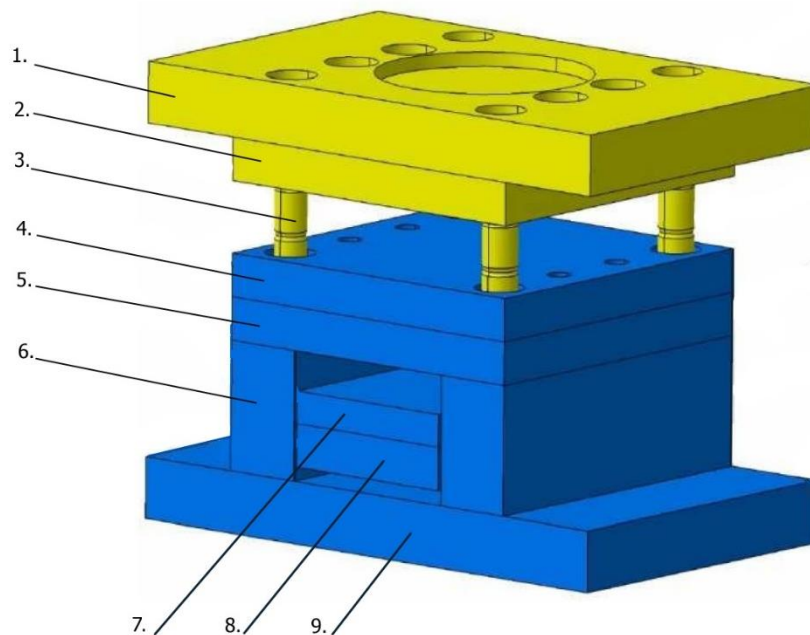
Princip vstřikovacího nástroje, který přeměňuje neforemný plastický materiál na výsledný plastový výstřik je ve skrze jednoduchý děj. Ovšem se stále rostoucími požadavky na kvalitu výsledného produktu se musí neustále zkvalitňovat tento proces a dbát na zřetel i ekonomické aspekty. Plastickým granulátem je naplněna násypka, ze které je pomocí šnekového dopravníku tento granulát rovnoměrně přiváděn na tepelné elementy. Zde dochází k postupnému roztavení materiálu, který je v natlakované formě vstřikován do předem vyhřáté formy. Uvnitř dochází k tuhnutí materiálu a probíhá tzv. chladnutí formy s postupným tuhnutím výstřiku. Při dostatečně pokleslé teplotě začíná odformovací proces s následným vypadnutím výstřiku již v pevném stavu. [10]

Ovládání a řízení vstřikovacího nástroje

Navzdory vysoké produktivitě práce spolu s uživatelsky přívětivou obsluhou je nutné zajistit kvalitu výsledných výstřiků. Přesnost výroby je nepostradatelným a nutným faktorem. Není žádoucí ani přípustné, aby se špatná kvalita výstřiků objevila v průběhu sériové výroby kromě vzorkovací fáze, kdy je teprve forma zaváděna do provozu. Pokud se nepřesnost nevyřeší v úvodní fázi životnosti formy, je zcela jisté, že komplikace se budou objevovat i ve výrobě již produktivních výstřiků. Z těchto důvodů je nutné přistoupit k řízení vhodnými prvky, které jsou doplněny o jejich regulaci. [12]

Popis rámu formy

Rám vstřikovací formy je soustava desek a spojovacích prvků. Dále obsahuje vodící a středící části. Dvě hlavní části se rozdělují na pohyblivou stranu lisu a nepohyblivou stranu lisu, jak je uvedeno na obrázku č. 2. [12]



Obr. č. 2 Rám formy (Hynek, 2013)

Nepohyblivá část: 1. Upínací deska, 2. Tvárnice, 3. Vodící čepy

Pohyblivá část: 4. Tvárník, 5. Opěrná deska, 6. Rozpěra, 7. Kotevní deska vyhazovacího paketu, 8. Opěrná deska vyhazovacího paketu, 9. Upínací deska

2.2 Hlavní faktory ovlivňující kvalitu práce – vstříkovací proces

Hlavní faktory, které ovlivňují kvalitu práce, za žádných okolností nepůsobí samostatně. Vždy se více či méně vzájemně ovlivňují. [9]

Mechanické a fyzikální vlastnosti výstřiku ovlivňují následující parametry:

Druh plastu:

- Rychlost tuhnutí (plastikace) polymeru, která by měla být po vstříknutí do tvarové dutiny nástroje co nejmenší
- Viskozita plastu, která by měla být dostatečná na dokonalé vyplnění tvarové dutiny formy. Je nezbytné, aby výkyvy teplot neovlivňovaly tekutost plastu příliš rychle
- Tepelná stabilita vstříkovaného plastu, která by měla být v co možná nejširším pásmu a nebyla ovlivňována vnějšími vlivy
- Míra pnutí výstřiku, která je požadována na co nejnižší úrovni

- Procentuální hodnota smrštění plastu na exponovaných místech výstřiku (poměr mezi finálními rozměry výstřiku a rozměry tvarové dutiny uvnitř formy) by měla být co nejmenší

Technologické parametry:

- Teplota vstřikované taveniny
- Vstřikovací tlak
- Teplota formy se odvíjí od konkrétní vstřikované taveniny
- Rychlost plnění tvarové dutiny formy
- Výše a doba trvání dotlaku

Technologické parametry ovlivňují:

- Viskozitu, dobu temperance, míru smrštění, rychlost plnění tvarové dutiny, míru vnitřního pnutí, uzavírací sílu formy, orientaci makromolekul do směru toku, lesk výstřiku, povrch výstřiku aj. [9]

Teplota formy

Vstřikovací forma je, co se týče dějů, které uvnitř probíhají, velice složité zařízení. V každém jednotlivém cyklu, je tepelná energie do vstřikovací formy jak přiváděna, tak i odváděna. Dodávaná tepelná energie proniká ze samotné taveniny, temperanční soustavy či působí další vnější vlivy, jako je tepelná energie prostředí, ve kterém je vstřikovací forma provozována. Tepelná energie je z tvarové dutiny vstřikovací formy odebírána vedením do formy, sáláním do vnějšího prostředí a také část tepelné energie je odvedena ve výstřiku. Největší množství přenesené tepelné energie připadá na temperanční zařízení. [15]

Jediná hodnota, která z tohoto velmi složitého systému je definována označujeme jako tzv. teplotu stěny formy. Pod touto formulí je definována teplota tvarové dutiny formy těsně před vstřikovacím procesem taveniny. Po započetí vstřikování polymerní taveniny do tvarové dutiny formy teplota stěny formy roste, následně po završení procesu vstřikování pomocí výše popsaných mechanismů opět klesá, až se vrátí na výchozí hodnoty. Celý tento proces se cyklicky opakuje. Teplota stěny formy je jedním z technologických parametrů, který nepopíratelným způsobem má vliv na celkovou dobu jednotlivého cyklu a kvalitu výsledného výstřiku. [15]

Mezi další neopomenutelný faktor, který hraje podstatnou roli na výsledné kvalitě vstříků, patří rovnoměrné rozložení teploty stěny formy v celé její tvarové části. Do aspektů, které toto tvrzení negativně ovlivňují, můžeme zahrnout nevhodně navržené temperanční okruhy potažmo zanedbání údržby o ně. Nehomogenní teplota povrchu tvarové dutiny formy má za následek různé druhy smrštění, mění se velikost vnitřního pnutí, povrchové vady, mezi které patří například změna lesku povrchu a mnoho dalších. U správně pracujícího temperančního systému vstříkovací formy by rozdíl teplot cirkulujícího média na vstupní části a na výstupní části neměl být vyšší než 5 – 8 [°C]. [15]

Teplota taveniny

Teplota vstříkované taveniny je jedním z nejdůležitějších faktorů, který má vliv na výsledný vstříknutý produkt. Úkolem tepelných elementů je před čelem šnekového dopravníku vytvořit dávku taveniny o homogenní teplotě, která se následně vstříkuje. Toto se cyklicky opakuje za rovnoměrného přísunu různých příměsí a aditiv, které vytvoří požadovaný mix. [9]

Jak bylo uvedeno u teploty stěny formy, tak i zde se teplota taveniny uvádí pouze jednou hodnotou. Avšak v čistě praktické rovině není možné dosáhnout homogenní teploty v celém rozsahu vstříkované taveniny. Je nutné brát v potaz, že jak v příčném, tak i v podélném směru se teplota mění. Měřená diference ve vstříkované dávce může dosahovat až hodnoty 30 [°C] v závislosti, zdali se jedná o amorfní či až částečně krystalické termoplasty. [9]

Zvyšování teploty taveniny má za následek následující:

- Snižování viskozity, která na druhé straně zvyšuje zatékavost
- Snižování veškerých orientačních jevů
- Snižování tlakových ztrát ve tvarové dutině vstříkovacího nástroje
- Snižuje míru studených spojů
- Snižuje v plnicí fázi smykové namáhání vstříkované taveniny
- Zvyšuje míru krystalického podílu u částečně krystalických materiálů
- Zvyšuje tepelné namáhání taveniny, které může vyústit až k tepelnému rozkladu uvnitř komory [6]

Teplota horkého rozvodu

Teplotu horkého rozvodu ovlivňují následující komponenty, mezi které se řadí:

- Vytápěná vtoková vložka, která je umístěna na samotném počátku
- Vytápěný rozvodový blok
- Vytápěné horké vtoky – vstříkovací trysky

Vytápěné horké vtoky jsou zakomponovány mezi vstříkovací jednotku a tvarovou dutinu formy. S ohledem na tuto skutečnost se zvyšuje efektivita a ekonomičnost práce. Teplota horkého rozvodu musí bezpodmínečně zajistit, aby se vstříkovaná tavenina dostala až k ústí horké trysky. V tomto komplexním systému dochází ke ztrátám tepla. Největší podíl má na svědomí vedení tepla a jeho sálání do vstříkovací formy. Díky tomuto parazitnímu jevu je nutné, aby obvyklé nastavení teplot v sekcích horkého rozvodu byla zvýšena přibližně o 5 – 20 [°C], než teplota prvního topného pásma za vyhřívanou tryskou. [15]

Plastikace – dávkování

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, nejdůležitější úkol plastikace je připravit směs, ve které jsou co možná nejrovnoměrněji rozmíchána aditiva a přísady. [6]

Včetně výše uvedených faktorů, které ovlivňují výslednou kvalitu práce, patří mezi další též stavba a konstrukce plastikačního šnekového dopravníku a s ním spojené plastikační komory. Nejrozšířenějšími šnekovými ústrojími, která se v masové produkci používají, jsou ty, které dokáží zpracovat co nejširší možnou škálu plastového granulátu. [6]

Délka těchto dopravníků je charakterizována poměrem délky ku jeho průměru l/d . Poměr, který se běžně používá je v rozsahu 1:18 až po 1:23. Další faktor, který se u šnekových dopravníků uvádí, je kompresní poměr. Ten vychází z objemu jednoho závitu pod násypkou ku objemu jednoho závitu u špičky šneku. Poměr, který se běžně používá je v rozsahu 1,8:1 až 2,4:1. [6]

Pro cyklicky se opakující plastikaci je nutné, aby vůle mezi hřbetem šnekového dopravníku a stěnou plastikační komory nepřekročila hodnoty, které udává výrobce. Pouze tak je možné zaručit, že nebude ulpívat degradovaný materiál na komoře, který

může již v krátkém časovém horizontu způsobovat jak povrchové, tak i strukturální vady výstřiku. [6]

Plastikační fáze má vliv zejména co se z pohledu výsledného výstřiku týče na následující:

- Povrchové – vzhled, odstín, lesk či mat a povrchový dezén
- Strukturální – rozměrovou přesnost a stabilitu spolu s mechanickými a fyzikálními vlastnostmi [15]

Vstřikovací tlak a rychlost

Vstřikovací tlak taveniny ovlivňuje následující technologické parametry:

- Rychlost plnění tvarové dutiny
- Uzavírací sílu vstřikovacího nástroje
- Vnitřní pnutí výstřiku
- Smrštění výstřiku
- Směr toku taveniny – orientace makromolekul do směru toku [6]

Doba plnění formy – doba vstřiku

Rychlost, jakou se šnekový dopravník pohybuje směrem vpřed při fázi vstřikování, ať už se jedná o profilovou či konstantní rychlost, přímo ovlivňuje povrchové vlastnosti výstřiku. Konkrétně se jedná o rychlost čela taveniny, které prostupuje tvarovou dutinou formy, přičemž ve všech tvarových místech formy by měla být konstantní. Rychlost čela taveniny ovšem není možné měřit přímou metodou, nýbrž se pouze vyhodnocuje dopředný pohyb šnekového dopravníku při fázi plnění tvarové dutiny formy. [6]

Dopravené množství roztavené hmoty vstřikovací jednotkou do formy při jednom zdvihu musí být menší, než je celkový objem dutiny formy. Toto opatření je důležité z důvodu úbytku hmoty při jejím ochlazení a následném doplnění taveniny až do úplného zaplnění dutiny formy. Naopak při delším setrvání ztuhlého plastu o menším objemu v dutině formy, může se dostavit nežádoucí efekt zvaný degradace. Toto se dá do jisté míry ovlivnit pouhým zkrácením odformovacího cyklu a včasným vyjmutím výstřiku z formy. [6]

Bod přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak

Mez, kdy se vstřikovací tlak změní na dotlak, rozhoduje objemové naplnění tvarové dutiny formy. V prvotní fázi plnění se uplatňuje průtoková či časová regulace. V momentě, kdy se tvarová dutina zcela vyplní polymerní taveninou, přechází se z výše uvedené regulace na regulaci tlakovou. [5]

Mezi těmito dvěma fázemi je možno řídit kompresi taveniny. Tlak, kterým se vstřikuje, má vliv na kompletní vyplnění tvarových rozměrů, vytvarování kontur a vykopírování dezénů. Dále je možné se setkat se vznikem přebytečných otřepů v dělicí rovině formy. [5]

V případě, že přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlakovou fázi se opozdí a dojde k přeplnění formy, je nejjasněji patrné na samotném šnekovém dopravníku, který skokově změní svojí pozici směrem dozadu, tzv. „odskočí“. V opačném případě, že dojde k předčasnému přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlakovou fázi, nezaplní se zcela tvarová dutina formy. Dotlakový cyklus již v tomto případě nemůže plně zaplnit dutinu formy, která následně produkuje výstřiky s povrchovými vadami. [5]

Optimální fázi přepnutí je možné sledovat a následně nastavovat dle tlaku v závislosti na čase. Měřeno je buď v pohonném systému vstřikovacího stroje, horkém rozvodu či přímo v tvarové dutině formy. [5]

Polštář

Polštář taveniny je definován jako objemové množství či její naměřená dráha, která se nashromáždí před čelem šnekového dopravníku po dotlakové fázi, kdy je tento cyklus ukončen. Toto měření je pouze kontrolního charakteru. Zde má vypovídat pouze o tom, zdali je možná reprodukovatelnost naplnění tvarové dutiny formy a náplně vtokového rozvodu. [7]

Je tedy patrné, že je dráha, kterou šnekový dopravník urazí ve fázi vstřikování cyklicky konstantní, množství taveniny je za optimálních podmínek vždy stejné. V reálných podmínkách je ovšem toto nedosažitelné a je nutné přistoupit k tolerančním mezím. Uvážlivé navrhnutí optimálních hodnot zaručuje příkladnou efektivitu práce a tím pádem můžeme vyeliminovat případy nedostříklých či naopak přestříklých výstřiků. Procentuální velikost polštáře vzhledem k celkové velikosti vstřikované dávky se pohybuje v rozmezí 5 až 10 [%]. [6]

Důležitost této kontroly je umocňována faktem, že je možné ihned v následujícím cyklu regulovat dávkovací dráhu šnekového dopravníku o korekční krok, který je možný v rámci tolerance a přesnosti nastavit. [7]

Doba ochlazování a chlazení s teplotou vyhazovaného výstřiku

Vstřikovací fáze obsahuje dvě doby, které přímo souvisejí s celkovou dobou cyklu, které je možné do jisté míry optimalizovat, co se ekonomického pohledu týče. Mezi ně patří doba potřebná pro ochlazování a pro chlazení. [15]

Definice pojmu ochlazování je celkový čas dotlakové fáze a doby chlazení (již bez dotlaku). [16]

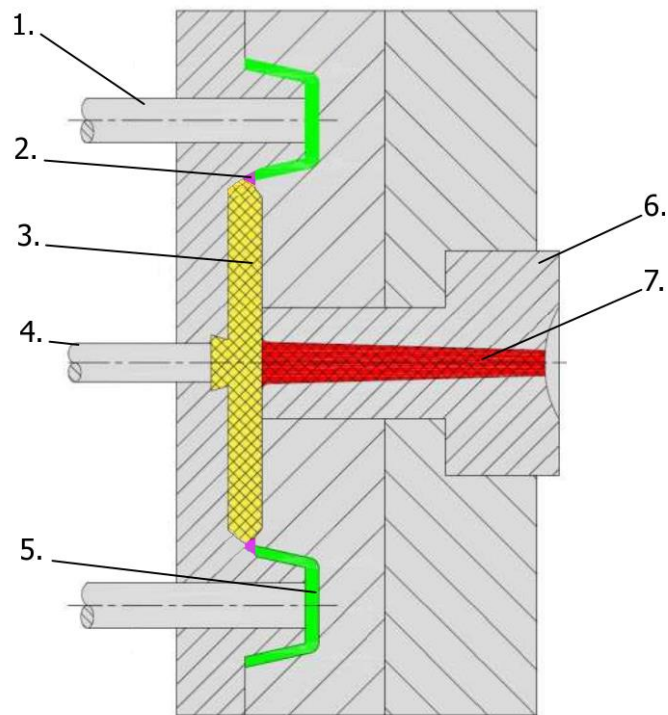
Definice pojmu chlazení je celkový čas počínaje skončení dotlakové fáze, kdy zamrzne vtokové ústí až do okamžiku otevření formy. U konvenčních vstřikovacích strojů musí v době chlazení proběhnout též doba plastikace. Čas potřebný pro dobu chlazení musí zajistit, aby vyhazovaný výstřik nebyl deformovaný, nepřetrhl se či nedošlo k proznačení od vyhazovačů apod. [15]

Zkrácením doby chladnutí vstřikovaného roztaveného plastu uvnitř formy má pozitivní vliv na množství vyprodukovaných výlisků. Je nutno zchladit v co pokud nejkratším čase taveninu z původních vstřikovaných průměrných 240 [°C] na výliskovou teplotu 130 [°C]. Tyto hodnoty se pojí k POM (polyoxymetylén). Kromě tohoto kritéria je nutno brát zřetel i na stejnoměrné chlazení taveniny v celém jejím profilu. [15]

2.3 Vtoková soustava

Je souhrn všech vtokových kanálů a vtoků ve vstřikovacím nástroji. Slouží k přivedení taveniny z trysky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny nástroje [9]

2.3.1 Studené vtokové systémy



Obr. č. 3 Studený vtokový systém (Hynek, 2013)

1. Vyhazovač, 2. Vtokové ústí, 3. Rozváděcí kanál, 4. Vyhazovač vtoku,
5. Vstřikovaný díl, 6. Vtoková vložka, 7. Hlavní vtokový kanál.

Vtokový kanál:

Je kanál, který vede taveninu od místa vstupu do nástroje po vtokové ústí. [9]

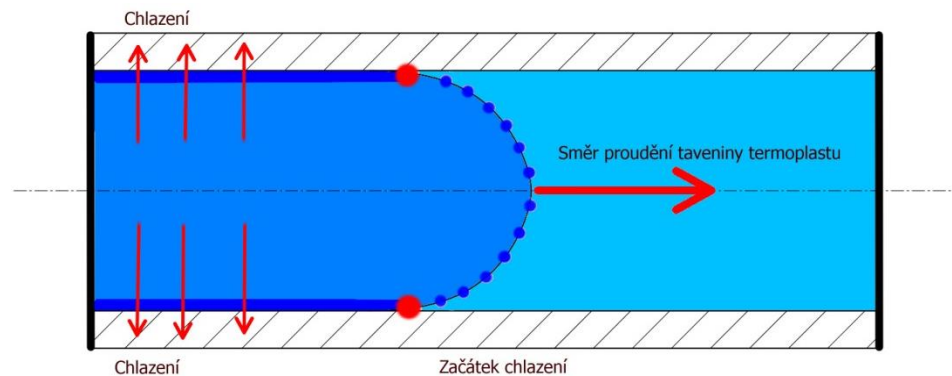
Vtok:

Je část výstřiku, který nepatří ke vstřikovanému dílci. Za vtoky jsou obvykle považovány různé typy provedení přechodových částí mezi vtokovým kanálem a tvarovou dutinou nástroje. [9]

Vtokové ústí:

Je průřez vtokem v místě ústí do tvarové dutiny vstřikovacího nástroje. [7]

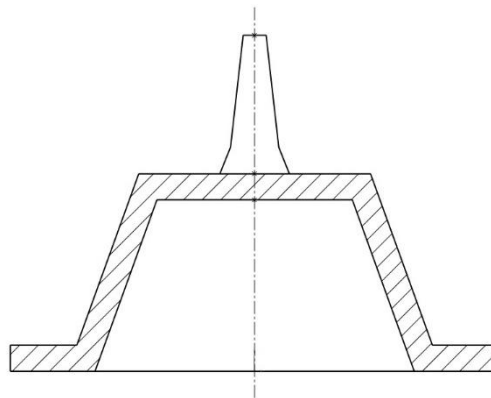
Jak je možné vidět na obrázku č. 4, tavenina průchodem přes vtokový systém odvádí část své tepelné energie do stěn formy. Izolační vrstva, která vznikne po obvodu, slouží jako izolant pro taveninu, která proudí uvnitř. Plastická tavenina vstupuje přes hlavní vtokový kanál, následně do rozváděcího kanálu až ke vtokovému ústí. Poté již začíná samotný proces plnění tvarové dutiny formy. Je nezbytné, aby vtokové ústí tzv. „zamrzalo“ jako poslední. Děje se tak z důvodu dotlaku, kdy je pod konstantním tlakem dopravován materiál stále do formy z důvodu úbytku materiálu vlivem smrštění. [9]



Obr. č 4 Chlazení taveniny uvnitř vtokové soustavy (dle Zemana, 2009)

Kuželový vtok

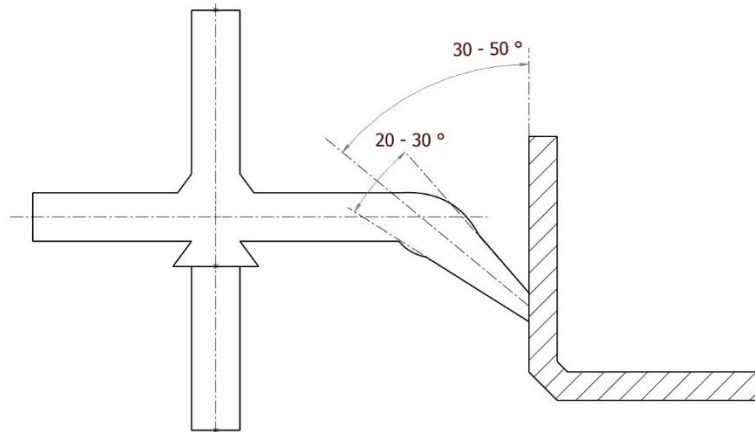
Kuželový vtok je velmi účinný z hlediska kvalitního dotlaku (tuhne jako poslední). Ovšem je následně nutné přistoupit k mechanickému odstranění přebytečného materiálu od získaného výstřiku. [7]



Obr. č 5 Kuželový studený vtok (dle Drbohlava, 2005)

Tunelový vtok

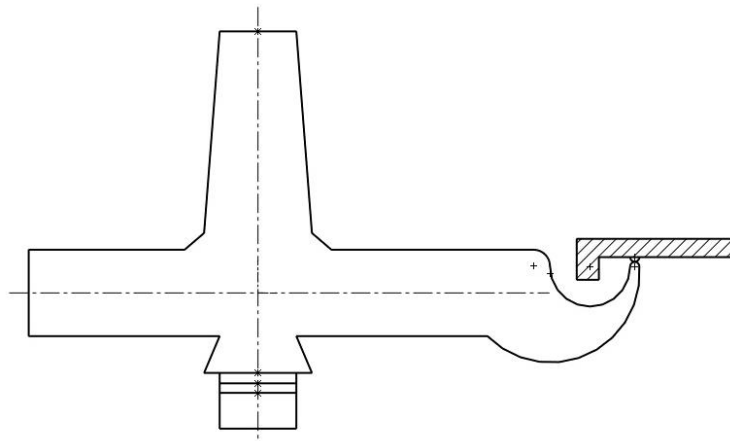
Tunelový vtok poskytuje nespornou výhodu v automatickém mechanickém oddělení vtoků od výstřiku během odformovacího cyklu. Předpokladem bezproblémového oddělení tunelového vtoků je dostatečná elasticita vstřikovaného materiálu (nejvíce problematické jsou materiály jako např. PS, PMMA, aj.) [7]



Obr. č 6 Tunelový studený vtok (dle Drbohlava, 2005)

Srpkový tunelový vtok

Srpkový tunelový vtok je možné umístit do části výstřiku, kde nezasahuje do jeho designu. Tento vtok je vhodný pouze pro materiály s vysokou elastickou deformovatelností. [7]

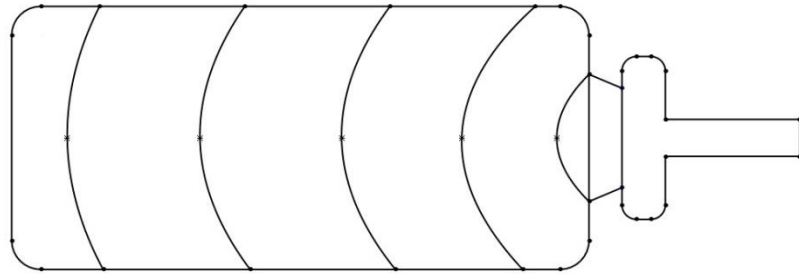


Obr. č 7 Srpkový tunelový vtok (dle Drbohlava, 2005)

Filmový vtok

Filmový vtok je používán pro plošné dílce, kde by např. kuželové či bodové vtoky zapříčinily nevhodný směr toku taveniny uvnitř tvarové dutiny formy. Tento způsob je hojně implementován na projekty, kde je vyžadována rovinnost a přesnost

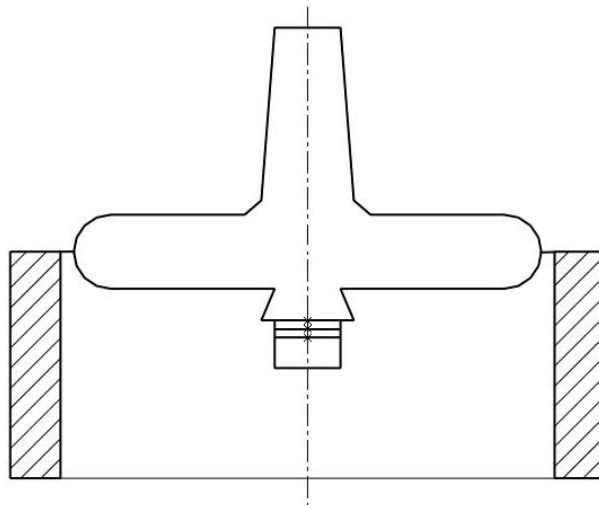
výstřiku, malé vnitřní pnutí, rovnoměrnější vyvážení tlaků v proudící tavenině a rychlejší naplnění dutiny nástroje. Je nutné ovšem zachovat úroveň smykové rychlosti ve vtokovém ústí na přijatelné mezi. [7]



Obr. č 8 Filmový vtok (dle Drbohlava, 2005)

Diskový, prstencový, deštníkový a segmentový vtok

Tento vtokový systém se používá zvláště pro kruhové a trubkové výstřiky, u kterých je požadavek na rozměrovou přesnost tvaru. Nevýhodou je nutnost dodatečného mechanického odstranění vtokového zbytku. [7]



Obr. č 9 Diskový, prstencový, deštníkový a segmentový vtok
(dle Drbohlava, 2005)

2.3.2 Vyhřívání vtokových systémů

Výhody vyhřívání vtokových systémů:

- Úspora materiálu díky absenci vtokového zbytku
- Zkrácení vstřikovacího cyklu o odstraňování vtokového zbytku
- Nižší vstřikovací tlak oproti systémům se studeným vtokem

- Výstřik bez další následné úpravy
- Celková velikost vstřikovacího nástroje může být menší
- Plně automatizovaný proces
- Vtoky optimální kvality na vhodném místě
- Možnost cíleného ovlivňování plnění formy za pomoci vstřikovacích trysek, které jsou uzavírány jehlou
- Menší otevírací zdvih ve fázi vyhazování výstřiku

Nevýhody vyhřívaných vtokových systémů:

- Náklady na pořízení vstřikovací formy se systémem vyhřívaného vtoku je podstatně vyšší, než u jednodušších se studeným vtokem
- Velká spotřeba materiálu při zavádění formy do sériové produkce výstřiků
- Vyšší míra celkového opotřebení, které má za následek sklon k poruchovosti a s tím související zvýšené výdaje za servisní náklady

Vyhřívané vtokové systémy s vytápěnou tryskou:

Volba vytápěné trysky se provádí podle požadavků:

- Dle násobnosti formy, místa vtoku a dle požadavků na vtokový zbytek
- Dle vlastností vstřikovaného materiálu
- Dle maximálního vstřikovacího tlaku lisu
- Dle výliskové hmotnosti jednoho výstřiku i s potencionálním vtokovým zbytkem [16]

2.4 Vady výstřiků a jejich odstraňování

V průběhu celého životního cyklu vstřikovacího nástroje je personál neustále zaměstnáván širokým spektrem rozličných problémů. I přes znalosti, které jsou implementovány již od vývoje, až po samotnou produkci výstřiků, potýkáme se s celou řadou problému, které se do určité míry odrážejí v samotné nekvalitě, kterou zákazník neakceptuje. Nevyhovující kvalita neboli vada je definice odchýlení se od normálového etalonu. Odchýlení může být rozličného charakteru ať již tvarového či rozměrového, nebo odlišnost na základě fyzikálně – mechanickém stavu. Nejméně závažné jsou vady na bázi čistě estetické, jakými jsou odstín či barva povrchu, lesk apod. Veškeré objevené vady mají ze zákonitosti vždy svojí příčinu vzniku. I když není vždy snadné objevit a správně identifikovat tyto problémy, je nutné je vyřešit, aby se zabránilo opětovnému výskytu vadných výstřiků. [9]

Základní rozdělení vad

Vady, které mohou vzniknout při vstřikovacím procesu, je možné rozdělit do dvou základních skupin. První z nich patří souboru vad, které je možné odhalit již vizuální kontrolou daného výstřiku. [9]

Tento soubor vad se nadále dělí dále:

- Tvarové vady: propadliny, vrásnění, zvlnění, zborcení, deformace, přetoky
- Povrchové vady: odchylka lesku, povrchové zakalení, stopy po vlhkosti, tokové čáry, vrstvení.

Druhý soubor vad, které již není možné odhalit pouhou vizuální kontrolou, se nazývají vadami skrytými. Tento soubor vad se nadále dělí dále:

- Vnitřní pnutí
- Studené spoje
- Vakuové bubliny a lunkry v průřezu výstřiku
- Uzavřený vzduch (bubliny) nebo plyny v průřezu výstřiku

Mimo výše uvedených souborů vad se mohou objevit též vady na výstřicích, které způsobí samostatná vstřikovací forma. [9]

Smrštění a deformace výstřiku

Změna rozměrů výstřiků neboli smrštění je fenomén, který se vyskytuje a postihuje všechny druhy plastů. Při započetí vstřikování jakéhokoliv termoplastu amorfního nebo z části krystalického platí, že měřené rozměry výstřiku po jeho odformování jsou rozdílné od měřených rozměrů po určité době. Tyto změny jdou na vrub deformaci či smrštění. Mezi těmito pojmy je nutno rozlišovat, protože jejich rozdíly jsou značné, načež deformace je velmi často projevuje v důsledku smrštění výlisku. [9]

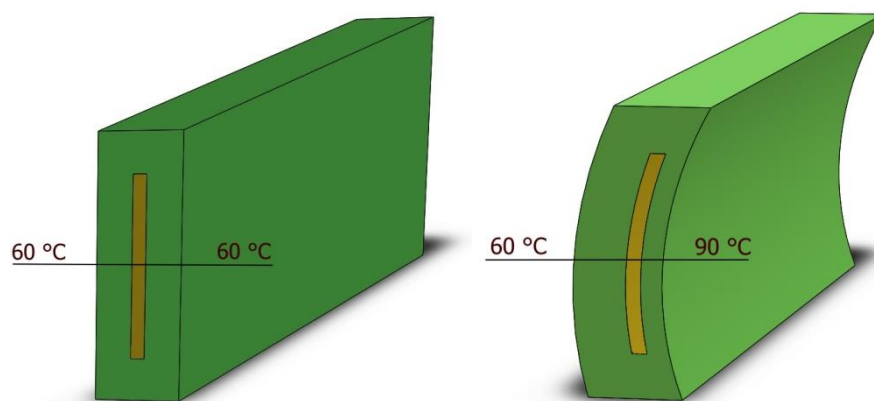
Smrštění:

Jedná se o změnu objemu výstřiku při postupném tuhnutí tavenin na polymerní bázi. Příčinou smrštění je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů. V potaz se musí brát též krystalizační změny, které se vyskytují u částečně krystalických plastů. [9]

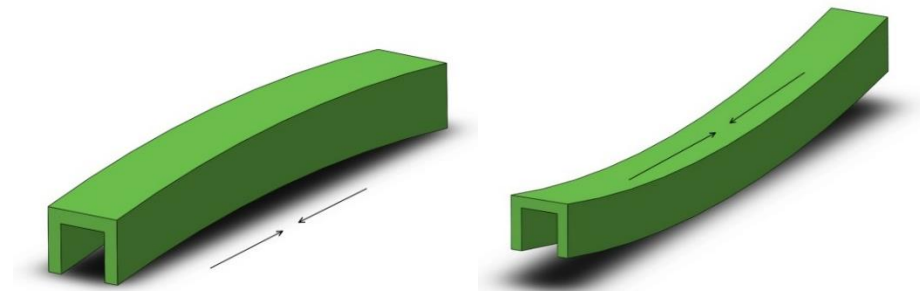
Deformace:

Jedná se pouze o tvarovou změnu, při které je zachován stejnoměrný objem výstřiku. [9]

Na změnu rozměrů výstřiku respektive na objem, mají také vliv fyzikální vlastnosti použitého termoplastu. Konkrétně se jedná o nasákavost a navlhavost. V obou případech jsou to vratné procesy, načež dochází k vysychání. [9]



Obr. č. 10 Vliv teploty povrchu formy na deformaci nevyztužených termoplastů s tekutým plastickým jádrem (dle Zemana, 2009)



Obr. č. 11 Smrštění při chladnutí plastového výstřiku – neplněný plast

(dle Zemana, 2009)

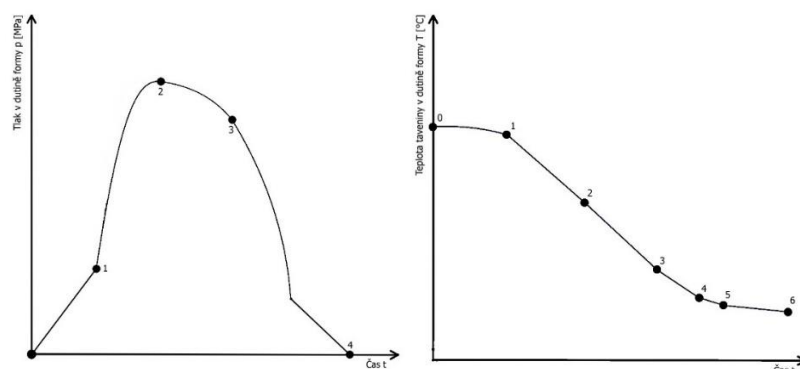
Jak je možné vidět na obrázku č. 10 a 11, rozdílné smrštění plastového výstřiku při nestejném chladnutí z důvodu rozdílných tloušťek stěn. [9]

Smrštění – tepelná kontrakce, pV chování termoplastů

Smrštění je ve své podstatě tepelná kontrakce. Ovšem v praxi se ukazuje, že skutečné zmenšení rozměrů výstřiku po odformování je podstatně menšího charakteru, než odpovídá čistě na tepelnou kontrakci. Toto je způsobeno dalšími přidruženými mechanismy, které tuto nežádoucí tepelnou kontrakci ovlivňují, které mají za následek další přidružené faktory, které se podílejí na smrštění. [9]

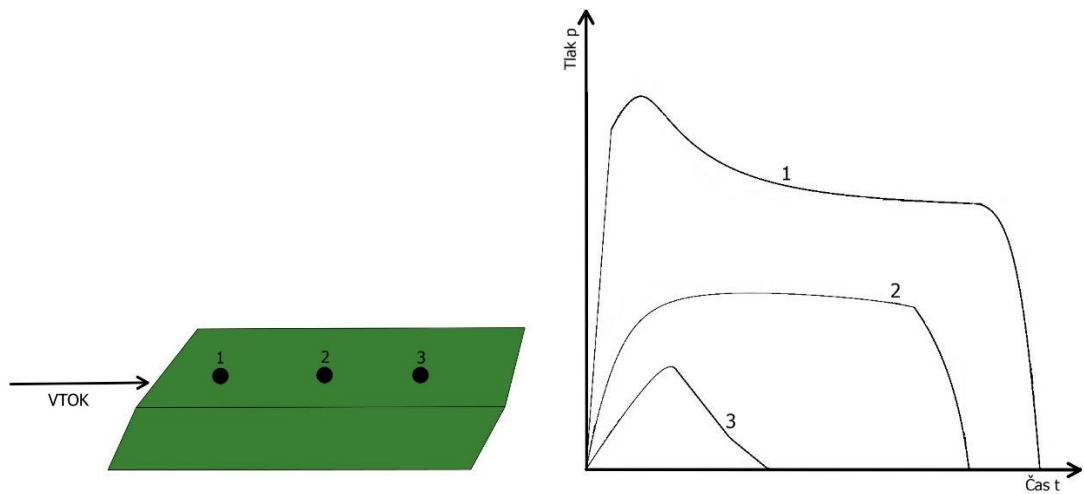
Mezi faktory smrštění se řadí:

- Míra účinku vnitřního pnutí ve výstřiku
- Míra krystalizačních pochodů u výstřiků z termoplastů částečně krystalických
- Míra zdržení smrštění za pomoci mechanických překážek ve formě [9]

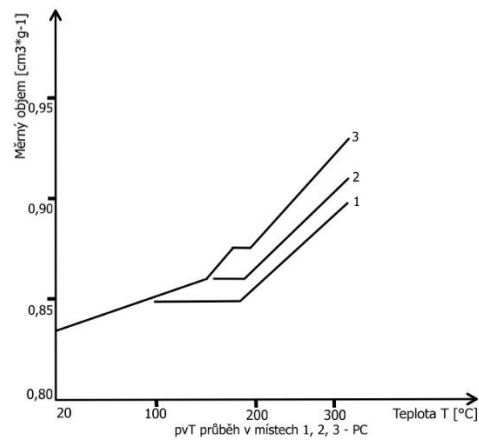


Obr. č. 12 Schématické znázornění změny tlaku p a teploty T (dle Řehulky, 2007)

0-1: objemové naplnění dutiny formy taveninou, 1-2: komprese taveniny, 2-3: dotlak, 3-4: isochorický přechod na $T_{1\text{bar}}$, 4-5: chlazení bez tlaku, 5-6: chlazení mimo formu



Obr. č. 13 Průběh tlakové odezvy v dutině formy v závislosti na vzdálenosti od ústí vtoku (dle Řehulky, 2007)



Obr. č. 14 Tlaková historie v různých místech výstřiku a její vliv na pvT chování, resp. Na odhad změny objemu výstřiku v dané formě (dle Řehulky, 2007)

2.5 Druh plastu - nekovové materiály - polymery

Dle použitého roztaveného materiálu pro vstřikování se mění aktuální požadavky na teplotu, kterou je nutno regulovat a udržovat. Vlastnosti výsledného produktu jsou ovlivněny volbou druhu plastu. [9]

Základní rozdělení polymerů

Polymery (plasty) je možné rozdělit na několik druhů dle rozdílných hledisek:

- Dle původu získání – syntetické, přírodní
- Dle druhu použitých přidaných přísad tz. plněné plasty
- Dle aplikace a kvality – použití v širokém měřítku, inženýrské aplikace, špičkové aplikace
- Dle molekulární struktury nad její rámec – amorfní plasty a krystalické plasty (semikrystalické)
- Dle způsobu chování, při kterém na ně působí teplo – termoplasty, reaktoplasty, kaučuky, pryže a elastomery [7]

Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které se při fázi zahřívání mění svojí vnitřní strukturu a přecházejí do plastického stavu. Tento stav je popisován jako stav vysoce viskózních neneutronovských kapalin, kdy je zaručeno snadné zpracování a tváření. Děje se tak za použití nejrůznějších technologií. Navrácení do tuhého stavu se děje při fázi ochlazení, při které teplota taveniny poklesne pod teplotu tání. Hlavní výhoda termoplastů je, že při procesech zahřívání a následném chladnutí se nemění vnitřní chemická struktura. Je tedy možno bez omezení opakovat tyto procesy zahřívání a následného tuhnutí, který se děje pouze na fyzické bázi. Mezi hlavní termoplasty, které jsou zpracovávány, patří polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. [5]

Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymerní materiály. Dříve, než se zavedl jejich nynější pojem, byly označovány jako termosety. Vlastnost těchto polymerních materiálů je ta, že ve fázi zahřívání se mění jejich fyzická struktura. Začínají měknout a lze je tvarově zpracovávat. Ovšem toto je možno jen po omezenou dobu. Pokud je materiál podroben dalšímu zahřívání, dochází uvnitř k chemické reakci. Tento stav je označován, jako

prostorové zasíťování struktury jinak řečeno se jedná o tzv. vytvrzování. Při fázi, kdy dochází k následnému chladnutí reaktoplastu, je zapotřebí, aby se toto dělo mimo vstřikovací nástroj. Děje se to z důvodu, neboť je obtížné zabezpečit rychlé nahřátí formy a následně opět její rychlé ochlazení. Fáze tuhnutí je pro reaktoplasty nevratná a nelze je dále upravovat tavením či rozpouštěním. V případě nerespektování této podmínky a vystavení materiálu dalšímu zahřívání, dojde k jeho rozkladu. Mezi hlavní reaktoplasty, které jsou zpracovávány, patří fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. [5]

Kaučuky, pryže a elastomery

Kaučuky, pryže a elastomery jsou polymerní materiály, které jako termoplasty či reaktoplasty v prvotní fázi zahřívání ztrácí své fyzické vlastnosti, měknou a lze je bez obav tvářet. Tato fáze je udávána pouze po omezenou dobu. Pokud by materiál byl dále následně zahříván, docházelo by k chemické reakci, která se označuje jako tzv. vulkanizace. V případě elastomerů, které jsou na bázi termoplastů, dochází pouze k fyzickým, ne chemickým změnám struktury. Z tohoto důvodu je možno fáze zahřívání a tuhnutí, při kterém dochází k procesu měknutí a následného tuhnutí, bez jakéhokoliv omezení opakovat. [5]

2.6 Temperance

Temperanční systém je nedílnou součástí vstřikovací formy. Zajišťuje správné nahřátí formy na požadovanou teplotu, její udržení a dle potřeby co nejefektivnější a nejrychlejší přizpůsobení se aktuálním podmínkám a požadavkům. [7]

Během vstřikovací fáze se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu, která zabrání deformaci výstřiku při odformování. Temperance má přímou spojitost s plněním tvarové dutiny a nastavuje optimální podmínky pro správné tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstříknutí roztaveného materiálu se forma ohřívá. Toto přebytečné teplo je nutno odvést pryč a připravit stejné podmínky pro další cyklus. Veškerou tuto činnost zajišťuje systém temperančních okruhů skládajících se z aktivních či pasivních prvků (viz. Kapitoly 2.6.1 a 2.6.2). [7]

Cíl:

- Rovnoměrné rozložení teplot v dutině nástroje
- Rovnoměrné teplotní zatížení výstřiku
- Možnost zkrácení celkového času cyklu prostřednictvím zkrácení času chlazení

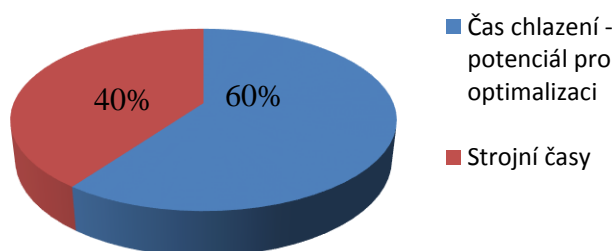
Základní úkoly temperance jsou:

- Zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny (dle druhu zpracovávaného plastu)
- Odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku

Základní rozdělení způsobu temperance formy:

- Pasivní, aktivní a kombinovaný způsob temperování [7]

Podíl času chlazení vstřikovacího nástroje na celkovém času cyklu

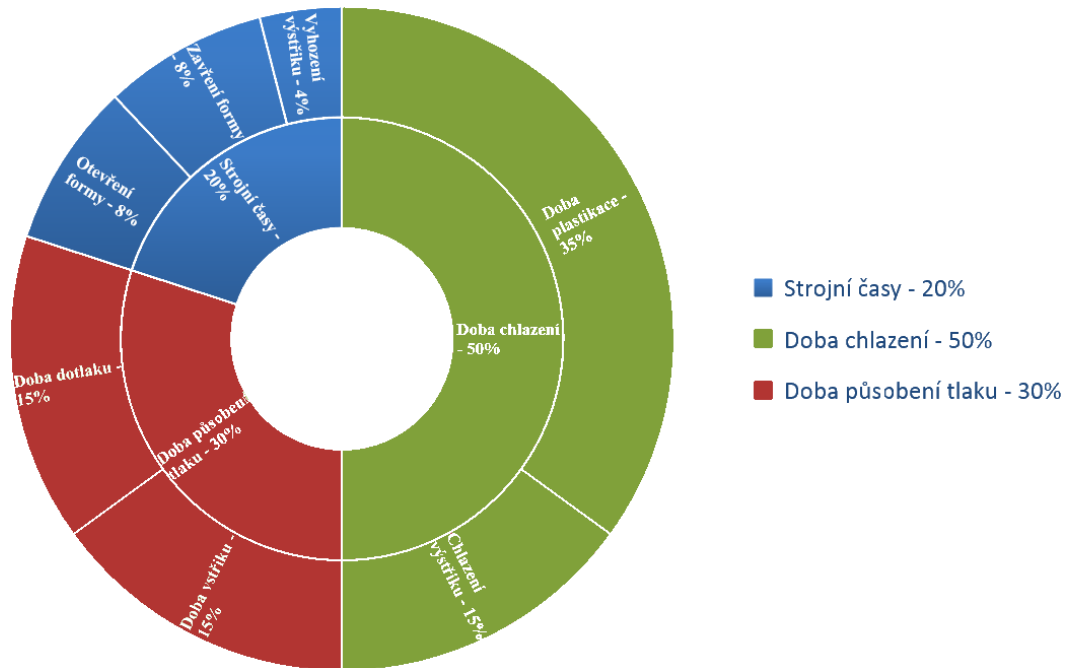


Graf č. 1: Podíl času chlazení vstřikovacího nástroje na celkovém času cyklu (dle Drbohlava, 2005)

Jak je patrné z grafu č. 1, při pracovním cyklu formy je většina času věnována chlazení. Každou vteřinu, o kterou se tato doba prodlužuje, stojí výrobce nadbytečné ekonomické prostředky. U technicky tvarovaných dílů je doba chlazení přibližně dvě třetiny celkové doby cyklu s tím, že je možné zkracovat dobu temperance a chlazení dle aktuálních možností. Do celkové doby chlazení je možné zahrnout již dotlakovou fázi, při které se již výstřik ochlazuje. Vždy je nutné přizpůsobit se exponovaným místům výstřiku, kvůli kterým se protahuje chladicí či plastikační fáze cyklu, jak je uvedeno na obrázcích č. 18 a 19. [7]

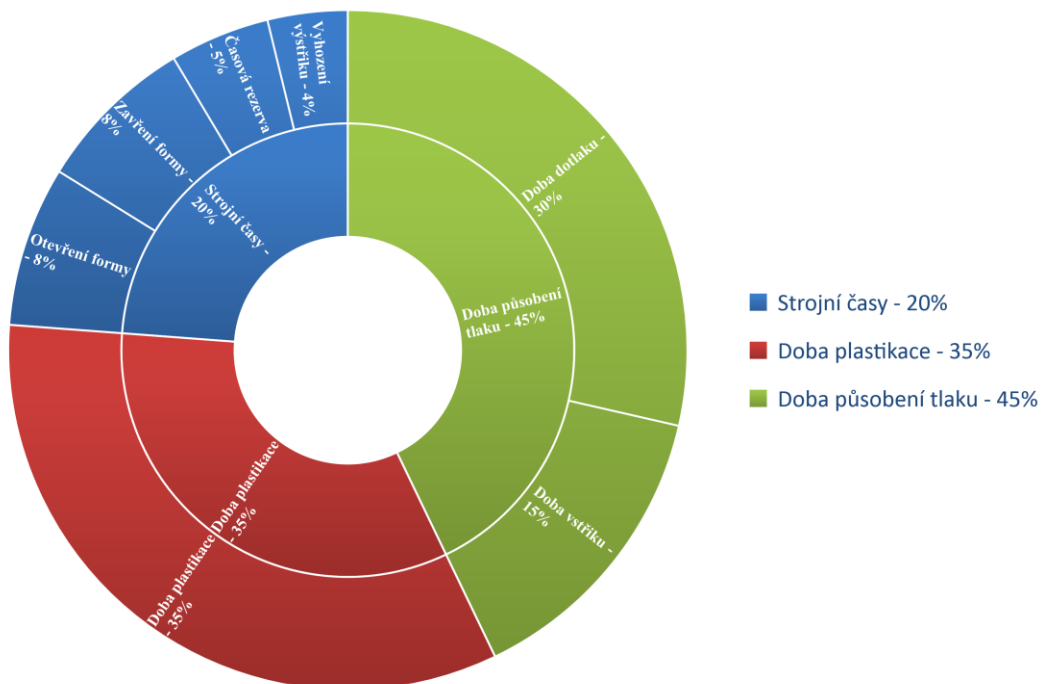
Podíl času chlazení v závislosti na použitém materiálu

Podíl času chlazení vstřikovacího nástroje na celkovém času cyklu



Graf č. 2: Podíl času chlazení na celkovém času cyklu pro amorfnní materiály, např. PS, ABS, PC... (dle Zemana, 2009)

Podíl času chlazení vstřikovacího nástroje na celkovém času cyklu



Graf č. 3: Podíl času chlazení na celkovém času cyklu pro částečně krystalické materiály, např. POM, PA 6, PE. (dle Zemana, 2009)

Jak je patrné z grafů č. 2 a 3, podíl času chlazení vstřikovacího nástroje na celkovém času cyklu se různí dle použitého taveného materiálu. U výstřiků s většími tloušťkami stěn se exponenciálně prodlužuje délka chlazení výstřiku ve formě. Časová rezerva u grafu č. 3 označuje čas prostoje pro manipulaci s výstřikem tz. čas na jeho vyjmutí robotem či manuálním úkonem. [9]

Tento efekt prodloužené délky chlazení se nejvýrazněji projevuje u amorfních materiálů, kde je zapotřebí zchladit celý průřez stěny výstřiku, aby nedošlo při odformovací fázi k poškození výstřiků od vyhazovačů. U částečně krystalických materiálů není nutné, aby výstřik setrval ve formě nezbytně dlouhou dobu. Je možné započít odformovací fázi teoreticky ihned po skončení dotlakové fáze, ovšem tomu brání nutnost plastikace materiálu. [9]

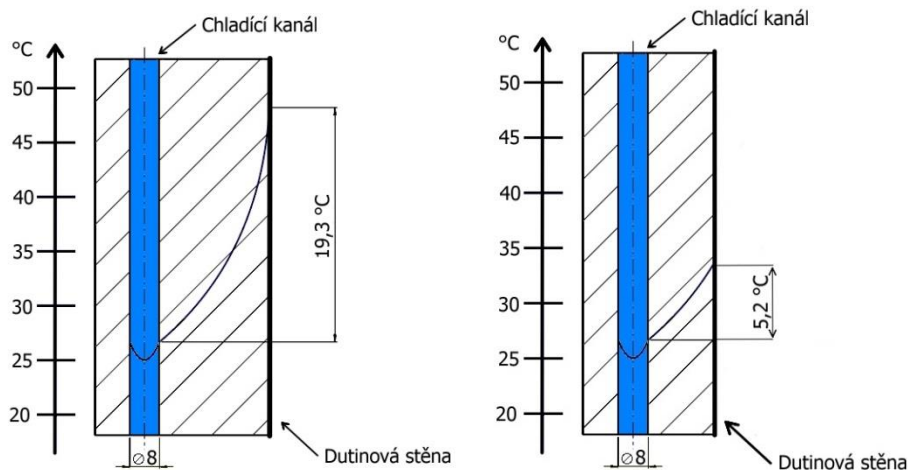
2.6.1 Aktivní temperance

Tento způsob temperování forem je využíván pro přímé dodání nebo odebrání tepelné energie do či z formy za pomoci teplo vodného média. Je využíváno zpravidla vody, vzduchu, oleje, páry a glykolů. [1]

Nosné médium tepla je vháněno do systému kanálů, které jsou umístěny uvnitř formy. Jak část, která je pohyblivá tak i nepohyblivá jsou dle aktuálních požadavků temperovány. Způsob, jakým jsou temperanční kanály rozmístěny, záleží na konkrétní formě a výlisku. Kanály jsou nejčastěji vyráběny konvenční technikou vrtání. Jejich rozložení ve formě by mělo podléhat dle složitosti a technické náročnosti výlisků předvýrobní simulační procedurou. Používaným řešením je jejich umístění ve tvaru rovnostranného trojúhelníku. [13]

Technologie DMLS a sendvičová je využívána u vložek trysek a tvárníků s tvárnici, které obsahují jednotlivé tvarové kazety výstřiku. Jak je popsáno na obrázcích č. 17 a 21. [15]

Pro přesnější a cílenější regulaci teploty uvnitř formy je vhodné zvolit temperanční kanály s nižším vnitřním průměrem, kterých bude větší množství, než kanály s větším vnitřním průměrem o menším počtu. Pokud je toto pravidlo aplikováno a temperanční kanály mají průřez ≤ 6 [mm], je zapotřebí použít speciálního upraveného temperančního média. Jen za pomoci těchto opatření je možno úspěšně navrhnout optimální temperanční soustavu. [1]



Obr. č. 15 Teplota nástrojové stěny v závislosti na její tloušťce
(Westhoff, 2015)

Výsledné průměrné teploty stěn formy často neodpovídají hodnotám udávané výrobcem plastů. Teploty stěn formy závisí na rozložení chladicích kanálů. Čímž existují vzdálenosti odvrstvení stěny formy dutiny. Jak je patrné z obrázku č. 15, difference teploty stěny nástroje ve vzdálenosti 22 [mm] od temperování je již 19,3 [°C], kdežto u stěny nástroje ve vzdálenosti 11 [mm] pouze 5,2 [°C]. [8]

Je snadné si představit, jak vysoká je teplota mezi temperančním médiem a tvarovou stěnou nástroje, pokud by se jednalo o 40, 50 nebo dokonce o 60 [mm] a větší vzdálenost mezi kanálem pro řízení teploty a tvarovou stěnou nástroje. V důsledku těchto nevhodných řešení jsou vstříkovací nástroje odpovědné za dlouhé časy cyklů a špatnou kvalitu výsledných výstřiků. Pokud chceme optimalizovat problémy s teplotními špičkami v nástroji, je nutné provozovat skutečné tepelné řízení, které se přizpůsobuje tvarovému obrysu plastové části, jak je patrné z obrázků č. 17,18 a 21. [8]

Obvyklá požadovaná teplota, na kterou nahříváme formu, je zpravidla vyšší než okolní prostředí a nižší, než je teplota vstříkované taveniny. Teplota, na kterou se běžně forma nahřívá, je nejčastěji v rozmezí 40 – 130 [°C]. Způsob, délka a kvalita temperanční a chladicí části ovlivňuje kvalitu výsledného produktu. Bezprostřední vliv temperančního a chladicího systému se odráží ve velikosti smrštění, měřitelných a tvarových rozměrech, drsnosti povrchu spolu s celkovou mechanickou odolností a v neposlední řadě též délkou celkového cyklu. Vše toto ovlivňuje výslednou kvalitu a produktivitu práce. [8]

Je nutné, aby maximální rozdíl teploty na povrchu výstřiku, byl při odformovací fázi do 5 [°C]. V případě vyšší rozdílové teploty výstřiku dochází k nestejně velké velikosti smrštění, nekorigovatelnosti měřitelných a tvarových rozměrů, nekonzistentnosti drsnosti povrchu spolu se změnou celkové mechanické odolnosti. [1]

Způsob, jakým temperační médium cirkuluje uvnitř formy, je pevně definováno. Při uvádění formy do provozního stavu by mělo proudit od nejchladnějšího místa do místa s nejvyšší teplotou. Při chladnutí je tento postup obrácen. Ke zlepšení účinnosti temperance se využívá uvnitř kanálů turbulentního proudění, které je možné dosáhnout pouze za předpokladu, že drsnost se pohybuje od ≥ 12 [Ra]. Temperační okruhy uvnitř formy by měly být navrženy s ohledem na rozdíl teplot média na vstupu a na výstupu. Tato dovolená tolerance je stanovena ve výši 3 [°C]. V případě, že není možné splnit tuto podmínku, je vhodné přistoupit k rozdělení stávajících počet okruhů na více okruhů. [2]

Konstrukce temperačních kanálů - Konvenční konstrukce

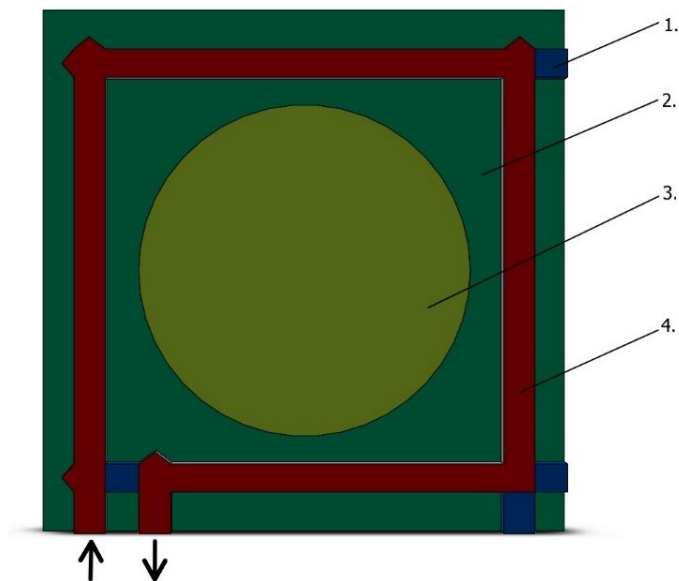
U vstřikovacích forem jsou dnes zcela běžně používány vrtané chladicí kanály. Ovšem je velmi obtížné, nejen s ohledem na tvarovou složitost dutiny, tímto konvenčním způsobem zajistit optimální odvod tepla. Je zde velká diference mezi stěnami chladících kanálů tvarovou dutinou nástroje. [9]

Výhody konvenční konstrukce:

- Ekonomická výroba
- Rychlost realizace

Nevýhody konvenční konstrukce:

- Prodloužení doby cyklu o 20 – 40 [%]
- Nerovnoměrné chladnutí výstřiku [9]



Obr. č. 16 Konvenční konstrukce temperančních a chladících kanálů
(dle Drbohlava, 2018)

1. Ucpávka, 2. Tvarová vložka, 3. Tvarová dutina, 4. Temperanční kanál

Konstrukce temperančních kanálů - Konformní konstrukce

Konformní či konturové chlazení je chladicí okruh, který je přizpůsobený tvaru dutiny tak, aby byla co nejmenší diference mezi tvarovou dutinou a temperančním kanálem. Je využíváno kopírování chladicího okruhu tvaru dutiny formy. [7]

Výhody konformní konstrukce:

- Zkrácení doby cyklu o 20 – 40 [%] z důvodu zlepšení odvodu tepla
- Eliminace deformací dílů
- Pokles ceny výstřiku a množství zmetkovitosti
- Malé průměry kanálů až s průměrem 3 [mm] při nejmenší vzdálenosti 3 [mm] od tvarové dutiny formy

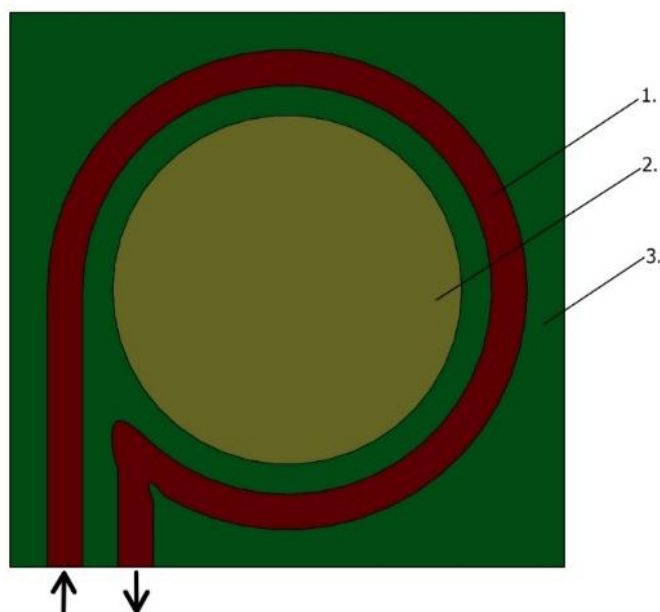
Nevýhody konformní konstrukce:

- Navýšení ceny o 10 – 20 [%] spolu se složitou opravitelností [7]

Technologie DMLS

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) je revoluční technologie, která umožňuje vyrobit díky technologii laserového navařování z 3D CAD dat tvárník, tvárnici aj. obsahující temperanční kanály přizpůsobeny tvarové dutině formy. Jedná se

o tzv. spékání materiálu v předem definovaných místech. Kovové díly, které jsou vyrobeny touto technologií, mají mechanické vlastnosti plně srovnatelné s obráběnými či odlévanými díly konvenčního charakteru. DMLS technologie je založená na postupném tavení velmi jemných vrstev o jednotlivé šířce 20 – 50 [μm] kovového prášku pomocí laserového paprsku o výkonu 200 – 1000 [w]. Vzdálenost mezi temperančním kanálem a tvarovou dutinou formy se v optimálním případě pohybuje na hranici 3 – 4 [mm]. [11]



1. Temperanční kanál, 2. Tvarová dutina, 3. Tvarová vložka

Obr. č. 17 Konformní konstrukce temperančních a chladicích kanálů
(dle Drbohlava, 2018)

Temperování vtokového ústí technologií DMLS

Přes vtoky, které jsou temperovány, lze problémy s přehřátými oblastmi v místě vtokových ústí elegantním způsobem vyřešit. Jak je patrné z obrázku č. 18, vtokové ústí je obklopeno temperančním kanálem, který odebírá přebytečné teplo z této kritické oblasti. [15]



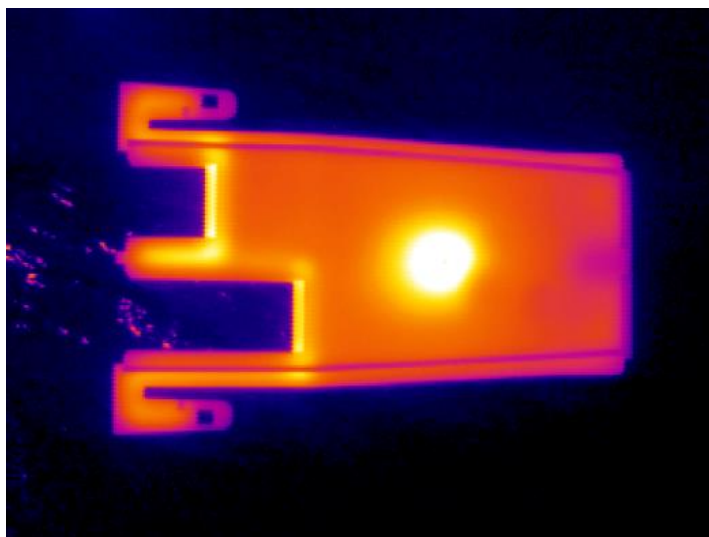
Obr. č. 18 Temperování vtokového ústí

Temperování vtokového ústí bez technologie DMLS

Ve vysokorychlostních vstřikovacích formách, ve kterých prochází přes vtokový kanál velké množství roztaveného materiálu, je tato přechodová oblast téměř vždy charakterizována výrazným přehřátím způsobeným smykovým ohřevem. Tyto přehřátá místa nepůsobí negativně jen na dobu cyklu, ale také negativně ovlivňují výslednou kvalitu výstřiku.[8]

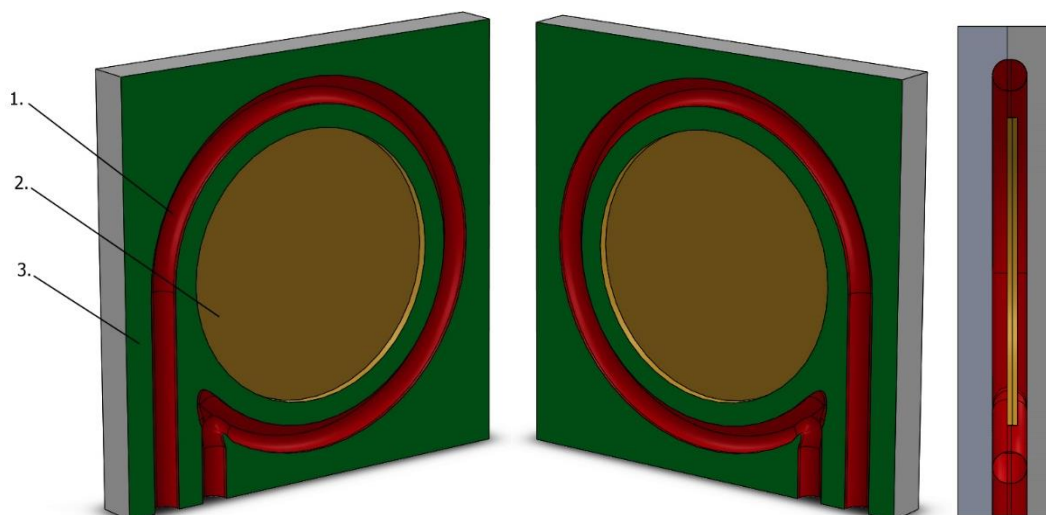


Obr. č. 19 Označené místo po vtokovém ústí (Müller, 2015)



Obr. č. 20 Infračervený obraz výstřiku s přehřátou oblastí v místě vtokového ústí (Müller, 2015)

Konstrukce temperančních kanálů - Technologie sendvičová



1. Temperanční kanál, 2. Tvarová dutina, 3. Tvarová vložka

Obr. č. 21 Konformní konstrukce temperančních a chladících kanálů (dle Drbohlava, 2018)

Sendvičová skladba tvárnků je konstrukce vložek, které jsou rozděleny do jednotlivých úrovní. Tyto vložky obsahují návrhy kontur chlazení. Výroba polotovarů je prováděna včetně veškerých montážních otvorů a závitů. Jednotlivé segmenty jsou k sobě nerozebíratelně spojovány pájením či difúzním svařováním. Celkové obrábění se provádí konvenčními technologiemi. [7]

Druhy a možnosti temperance

Druhy a možnosti temperance, které jsou používány, mají velmi rozličný charakter. Nejúčinnější a nejpoužívanější je impulsní chlazení, dále chlazení kapalným CO₂ následováno ofukem dutiny vzduchem a jako nejméně účinné jsou vložky z vodivého materiálu omývané vodou. [7]

Pulsní chlazení

V kterémkoliv okamžiku se z formy odebírá či přivádí v každém pracovním cyklu jen tolik tepla, kolik je potřeba. Do chladících okruhů je přes elektromagnetický ventil dodávána studená voda. Ventil je ovládán PID regulátorem, který vyhodnocuje aktuální signály z teplotních čidel uvnitř i vně formy. Na základě vstupních signálů je poté provedeno vyhodnocení a následným zainteresováním akčních členů. Je možné se přizpůsobit aktuálně používanému materiálu. Pulsní chlazení je zvláště uplatňováno v případech, kdy je požadována vysoká lesklost povrchu výstřiku. Děje se prudkým dodáním studeného media do temperančního okruhu. [7]

Výhody pulsního chlazení:

- Zkrácení času chlazení v jednotkách [%]
- Kladný vliv na stabilitu procesu při náhlém výskytu rušivých faktorů
- Účinné a účelné chlazení jednotlivých částí formy zvláště při kombinování s DMLS

Nevýhody pulsního chlazení:

- Drahá technologie
- Náročné na prostor [7]

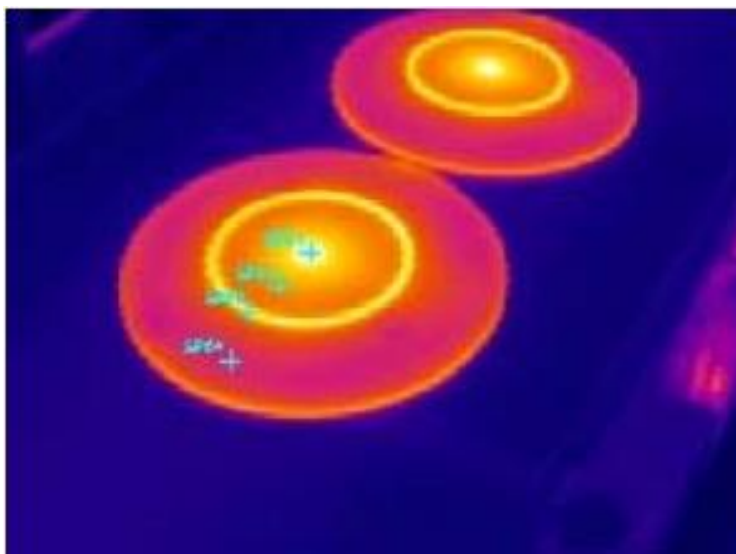
Topné elektrické články:

Temperance za pomoci topných elektrických článků se zahrnuje mezi aktivní temperanční prostředky. Je využíváno v kombinaci s aktivními prvky temperance a pouze v případech, kdy je zapotřebí formu vyhřívat na vyšší teplotu. Děje se tak z důvodů nadměrných ztrát tepla do okolí či při požadavcích na jinou teplotu, než kterou může vyprodukovat temperanční systém. [13]

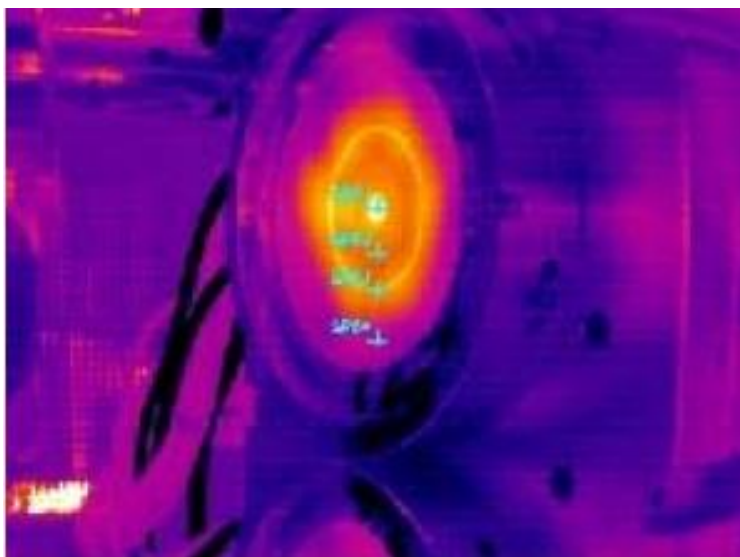
Stanovení teplotních podmínek v nástroji

Děje se tak za pomoci infračervené technologie. Zde pomáhá infračervená kamera. S takovou kamerou lze zobrazit úplný obraz o teplotách nástroje. Teplotní špičky ve vstřikovacím nástroji jsou zachyceny, analyzovány a pokud možno odstraněny. Infračervená kamera je však problematická při skenování vysoce leštěných povrchů nástrojů. Zde může zrcadlení jiných zdrojů tepla způsobit zkreslené obrazy. Řešení problému je však velmi jednoduché. Bylo prokázáno, že termografie plastových dílů přesně zrcadlí tepelné podmínky nástroje. Toto se nazývá "termální otisk", který představuje tvarovanou součást. Proto stačí zaznamenat čerstvě demodulované plastové výstřiky za pomoci infračervené kamery, abychom poznali tepelné podmínky ve formě. Další výhodou této možnosti je, že výroba není žádným způsobem narušena. [8]

Takovýto "termo-obraz" tvarované části pomáhá nesmírně pochopit termodynamické chování vstřikovacích forem (jejich chování při výměně tepla) a nakonec komplexně pochopit komplikované vztahy. [8]



Obr. č. 22 Výlisek několik sekund po jeho odformování ze vstřikovacího nástroje (Müller, 2015)



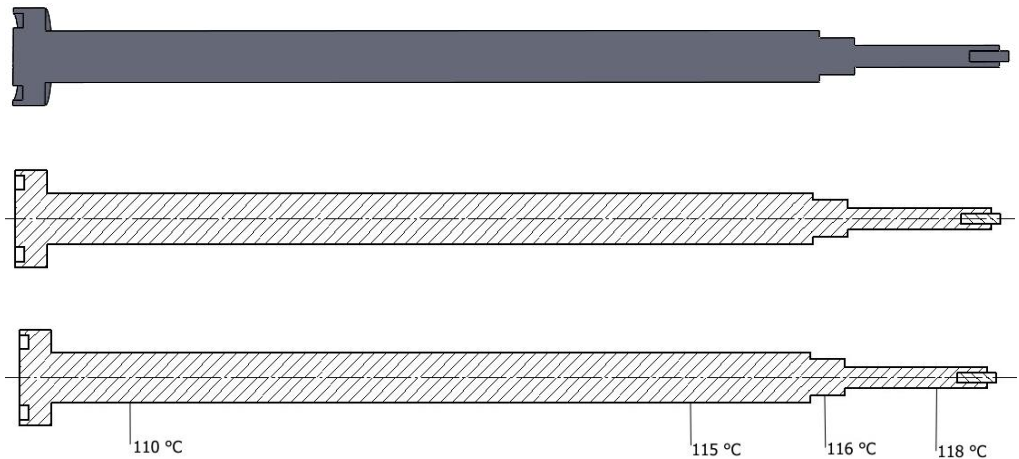
Obr. č. 23 Nástroje po vyjmutí vylisku (tepelný otisk tvarování)
(Müller, 2015)

2.6.2 Pasivní temperance

Tento způsob temperování forem je využíván v součinnosti tepelně vodivých materiálů a materiálů izolačního charakteru. [7]

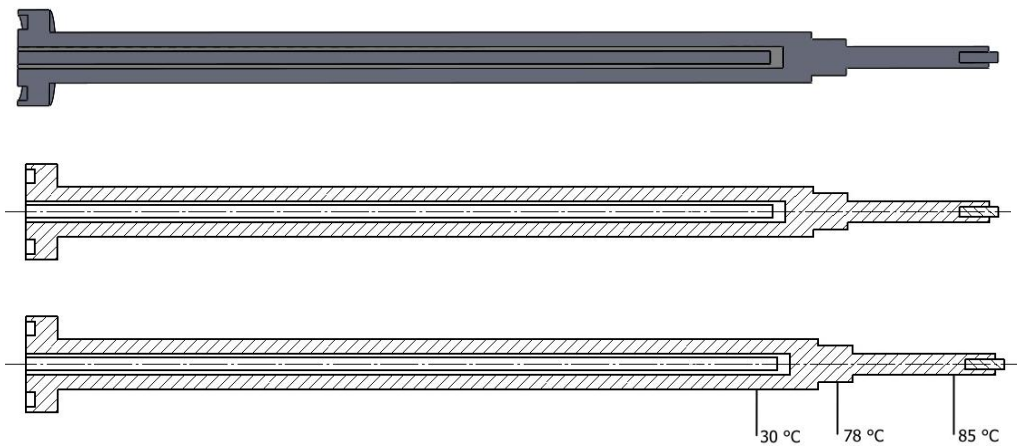
Temperování za pomoci tepelně vodivých materiálů je využíváno u špatně dostupných a na tvar velmi složitých částí formy. Jedná se nejčastěji o různé náustky, tenkostěnné tvárníky a jiné, ze kterých se komplikovaně odebírá teplo. Je zapotřebí použití vhodných materiálů, které mají malou měrnou tepelnou kapacitu. Konkrétně se nejčastěji používají různé slitiny mědi či hliníku. Veškeré tyto pasivní články odebírajíc teplo musí být napojeny na systém aktivní temperance či vstřikovací forma navržena tak, aby bylo zajištěné optimální chlazení. [7]

Praktický příklad pasivního způsobu temperance



Obr. č. 24 Chladicí jádro – teplotní analýza (dle Drbohlava, 2018)

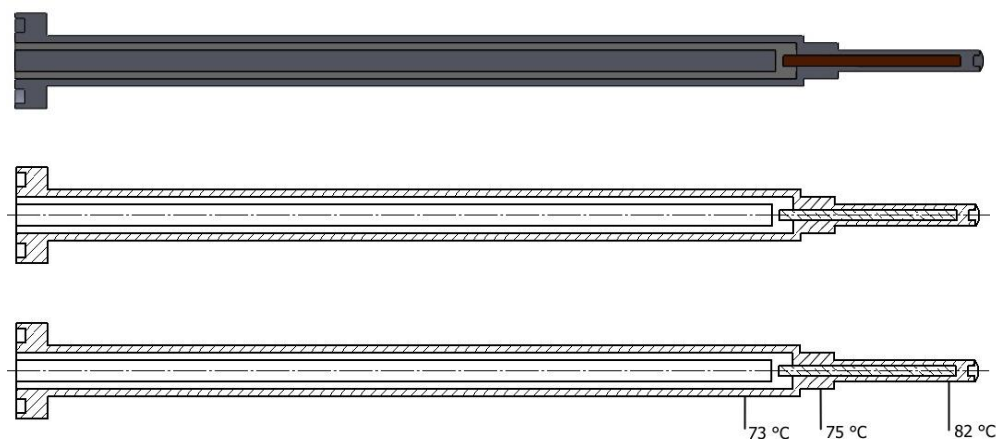
Jak je možné vidět na obrázku č. 24, zastaralý design chladicího jádra se používal pro chlazení dlouhých tenkých jader. Teplota vstříkovaného plastu 120 [°C]. Nízký součinitel tepelné vodivosti železa 73 [W·m⁻¹·K⁻¹] při 20 [°C] zapříčinil odklon tohoto řešení ve prospěch nových variant. [7]



Obr. č. 25 Chladicí jádro se středovou trubičkou (dle Drbohlava, 2005)

Jak je možné vidět na obrázku č. 25, zastaralý design chladicího jádra se středovou trubičkou se používal pro chlazení dlouhých tenkých jader. Teplota vstříkovaného plastu 120 [°C]. Nedokonalé chlazení tenkých dlouhých trnů délky cca 160 [mm] s vnějším průměrem do 5 [mm] způsobuje špatné rozložení teplot na trnu, kde dochází k vytváření nesprávné amorfní struktury plastu. Rozdíly mezi jádrem stěny výstřiku a amorfní vrstvou znamenají vnitřní pnutí, což způsobuje praskání stěn výstřiku. [7]

Původní konstrukční řešení trnu s nedokonalým chlazením - dutina trnu je chlazena cca. 20 [°C] vodou přiváděnou středovou trubičkou. Nízký součinitel tepelné vodivosti železa 73 [W·m⁻¹·K⁻¹] při 20 [°C] zapříčinil odklon tohoto řešení ve prospěch nových variant. [7]



Obr. č. 26 Chladící jádro se středovou trubičkou a Cu jádrem

(dle Drbohlava, 2005)

Jak je možné vidět na obrázku č. 26, nové optimalizované konstrukční řešení trnu s vloženým měděným jádrem. Tímto způsobem je docíleno rovnoměrné rozložení teplot po celé pracovní délce trnu. Teplota vstříkovaného plastu 120 [°C]. Vysoký součinitel tepelné vodivosti mědi 395 [W·m⁻¹·K⁻¹] při 70 [°C] zapříčinil úspěch tohoto řešení. Dutina trnu je chlazena cca. 70 [°C] vodou přiváděnou středovou trubičkou, která tzv. „fontánkou“ oplachuje měděné jádro při průměrném průtoku 1.25 [l·min⁻¹]. Je nezbytné, aby nevznikla mezi ocelí profilu těla trnu a mědi vzduchová kapsa, která by se chovala jako izolant. Je nutno vytvořit pevný a nerozebíratelný spoj. [7]

Jak je popsáno na obrázcích č. 24,25 a 26, za určitých podmínek je vhodnější použití prvků kombinující aktivní i pasivní způsob temperance, před čistě pasivní konvenční metodou. [7]

Temperování za pomoci materiálů izolačního charakteru

Je využíváno především u forem, u kterých je zapotřebí dostat se na celkovou požadovanou teplotu. Tyto izolační materiály zabraňují prostupu tepla skrze formu pryč do okolního prostředí a umožňují tak hospodárnější provoz a zpřesnění regulace teploty uvnitř formy. Nejčastěji používané jsou tzv. izolační desky, které jsou

zpravidla umístěny na tzv. upínacích deskách, které se nacházejí v horní a dolní části formy. Ovšem toto není pravidlem a izolační desky mohou pokrývat i strany formy a izolovat tvárnici a tvárník. [7]

3 Cíl práce

Tato diplomová práce nastiňuje problematiku vstřikovacích nástrojů se zaměřením na temperanci a chlazení.

Cílem diplomové práce je navrhnout výstřik Fuel Tank Flange s co nejlepší rovinností lemu s hodnotou tolerance do 0,500 [mm].

Navrhnout a ověřit funkční chlazení nástroje.

Vyhodnotit a vybrat přínosnější způsob temperance a chlazení vstřikovací formy pro kriticky exponovaná místa.

4 Praktická část

V praktické části jsem se věnoval teoretickým návrhům temperančních okruhů. Bylo využito jak aktivních, tak i pasivních temperančních elementů, různé tavené materiály a odlišné teploty chladících kanálů.

V první části simulací se zaměřuji na plnicí fázi a chování taveného materiálu v závislosti na teplotě temperančních kanálů.

V druhé části se zaměřuji na porovnání pasivních a aktivních prvků temperančního systému s vyhodnocením optimální varianty pro návrh standardizace do vstřikovacího cyklu.

4.1 Metodika

Praktickou část této diplomové práce jsem provedl pod záštitou společnosti Robert Bosch v Českých Budějovicích. Simulační analýzy byly provedeny v programech CADMOULD 3D-F SIMULATION a AEROFLOW. Získané poznatky mohou být uplatněny pro optimalizaci cyklu vstřikovacího nástroje.

Zásady návrhu výrobku

Pro potřeby plastikářského průmyslu je nutné, aby byl výstřik správně plastikářsky navržen.

Mezi kritéria patří:

- Jednoduchý a funkční tvar
- Minimální spotřeba celkového použitého materiálu
- Požadovaný design
- Plynulé naplnění tvarové dutiny nástroje
- Zajistit odformování výstřiku
- Zajistit rovnoměrnou tloušťku stěn v celém profilu výstřiku, při kterém nemůže vzniknout hromadění materiálu a ostrých přechodů – povrchové vyraženiny, vnitřní dutiny, trhliny

Mezi problematické oblasti můžeme zařadit:

- Připojení žeber, styk stěn, rohové části, špatně chlazená místa atd.

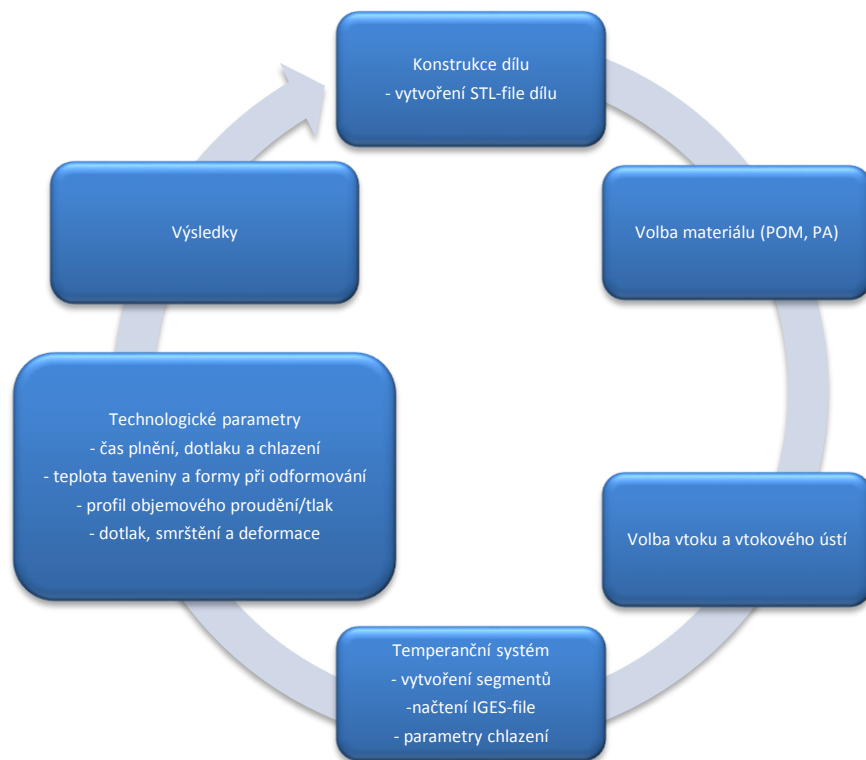
Simulační analýza výstřiku

Simulační analýza výstřiku je zinscenování či napodobení skutečného vstřikovacího procesu. Děje se tak cyklickým napodobováním vytváření plastových výstřiků ve vstřikovací formě během vstřikovacích procesů. Během vývojové a konstrukční fáze získáváme možnost lepšího posouzení nového produktu. Je možné již v před produkční fázi životního cyklu zjistit chyby v procesu, které je možné odstranit následnými opatřeními. Simulační analýzy přispívají ke zlepšení znalostí o plastových výstřicích a vstřikovacích formách. Nejdůležitější aspekt, díky kterému se simulace staly nedílnou součástí plastikářského průmyslu je úspora časového fondu a ekonomické aspekty.

Mezi pozitivní dopady simulační analýzy výstřiku patří:

- Zkvalitnění posuzování geometrie zkonstruovaných dílů, které mají být určeny k následné výrobě vstřikováním do formy
- Upřesnění ideální polohy vtoku a vtokového ústí včetně jeho druhu.
- Zpřesnění rozpoznávání jevů, které vznikají uvnitř tvarové dutiny formy (studené spoje, lunkry a dalším vadám výstřiku)
- Možnost vhodného určení sériového vstřikovacího nástroje
- Návrh optimálního teoretického temperančního systému, který má za úkol zlepšit kvalitu výstřiku při zachování ekonomických aspektů
- Získání deformačních hodnot výstřiků, které je možné vhodnými opatřeními snižovat do požadovaných tolerancí

Proces simulační analýzy výstřiku



Obr. č. 27 Proces simulační analýzy výstřiku

Před započítáním vlastní simulační analýzy je nutné zkonstruovat díl ve vhodném konstruktérském programu a následně jej převést do formátu STEP-file. Další je nutné provést volbu materiálu, jak je uvedeno na obrázku č. 28 s následným vybráním vtoku a vtokového ústí.

Melt Temperatures		Mold Temperatures	
Maximum	220 [°C]	Maximum	100 [°C]
Optimal	200 [°C]	Optimal	90 [°C]
Minimum	190 [°C]	Minimum	60 [°C]
Degradation Melt Temperature	220 [°C]		
No-Flow Temperature	148,6 [°C]		
Ejection Temperature	110 [°C]		
Maximum Shear Stress	0,45 [MPa]		
Maximum Shear Rate	40000 [1/s]		
Flow Front velocity	[mm/s]		
Date of update	[]		

Obr. č. 28 Volba materiálu v Cadmould databázi

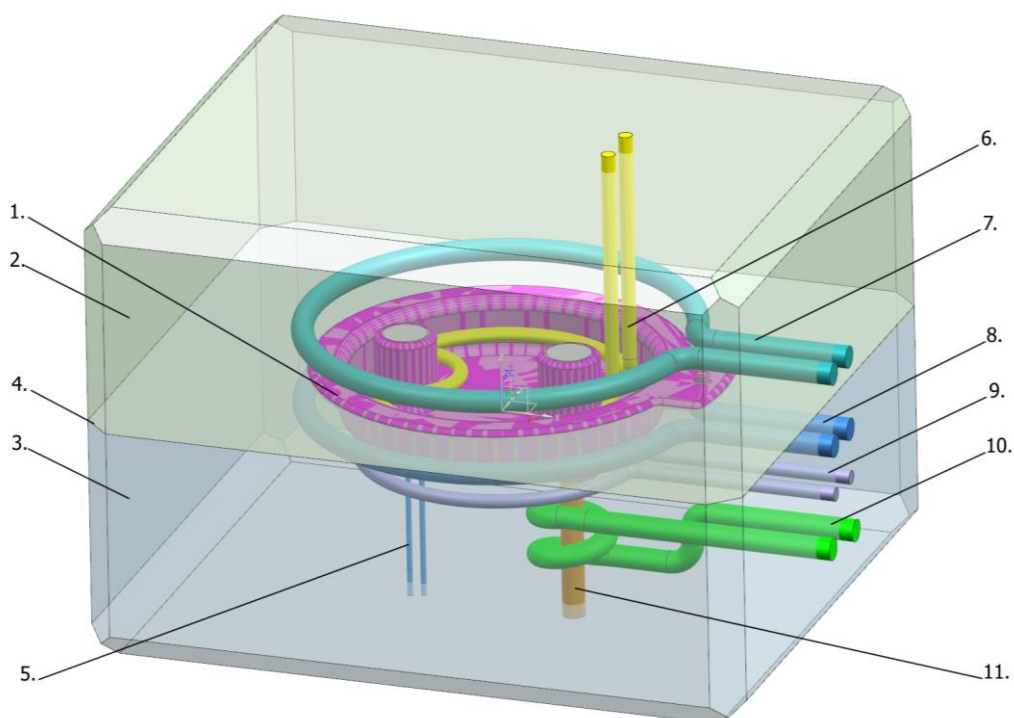
Praktické simulační analýzy výstřiků

V této části se zaměřuji na chování taveného materiálu v závislosti na teplotě temperačních kanálů.

Referenční materiály byly vybrány s ohledem na četnost použití ve společnosti Robert Bosch v Českých Budějovicích a jedná se konkrétně o neplněný POM (Polyoxymetylén) a plněný PA (Polyamid) s 40 [%] obsahem skla.

Konstrukce provedení temperačních okruhů tvárnice a tvárníku byla vybrána s ohledem na nejnovější trendy v plastikářském průmyslu. Nazývá se DMLS (Direct Metal Laser Sintering).

Referenční produkt, který byl vybrán pro potřeby simulací, se nazývá Fuel Tank Flange se silou stěny 3 [mm]. Je používána v automobilovém průmyslu jako součást nádržového palivového modulu, který čerpá a dopravuje konvenční fosilní paliva z nádrže systémem potrubí a hadic až ke vstřikovací soustavě motoru.



Obr. č. 29 Vstřikovací forma s tvarovou dutinou a temperačními okruhy
1. Výstřik, 2. Tvárnice, 3. Tvárník, 4. Referenční rovina, 5. Vývrtkový temperační kanál Ø 2 [mm], 6. Temperační kanál Ø 5 [mm], 7. Temperační kanál Ø 8 [mm], 8. Temperační kanál Ø 8 [mm], 9. Temperační kanál Ø 5 [mm], 10. Temperační kanál Ø 8 [mm], 11. Cu temperační jádro

4.2 Cadmould 3D-F

Cadmould 3D-F je moderní softwarový program, který zevrubně simuluje a analyzuje proces vstřikování taveniny do vstřikovací formy. Pro simulaci je nutný 3D CAD model požadovaného plastového výstřiku, který je v následujících ve formátech: STL, STEP anebo také IGES. Výpočtový model je připraven zcela automaticky, rychle a umožňuje sledovat změny v reálném čase a za pomoci barev barevného spektra. Je možné sledovat veličiny, jakými jsou teploty, smykové rychlosti aj. Výpočty jsou teplotně provázané, zohledňují fyzikální vlastnosti tavenin a berou v potaz i-viskozitu tavených plastů. Přesnost výsledného výpočtu je u tohoto softwarového programu na vysoké úrovni z důvodu započítání průběhu plnění až po ustálení vstřikovacího procesu.

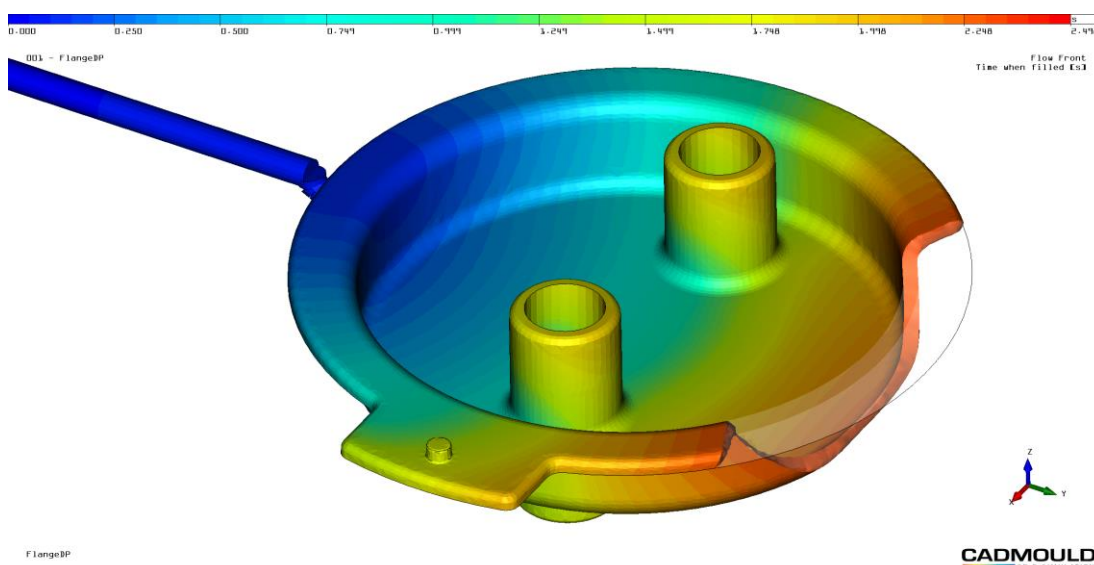
Průběh plnění Fuel Tank Flange bez TO - POM

- Nástroj: Jednónásobný (simulace pro jeden otisk)
- Materiál: POM (Polyoxymetylén), Ultraform
- Vtokový systém: Studený rozvod Ø 6 [mm], srpkový tunelový vtok Ø 2 [mm]
- Technologie:

Čas plnění	Nastaveno	Jednotky	Poznámka
	2,5	s	
Teplota taveniny	200	°C	
Odformovací teplota	110	°C	Teplota dílu při vyhození
Bod překrytalizace	148	°C	
Dotlak	32,5	s	
Čas chlazení	15	s	
Manipulační čas	70	s	
Čas cyklu	120	s	

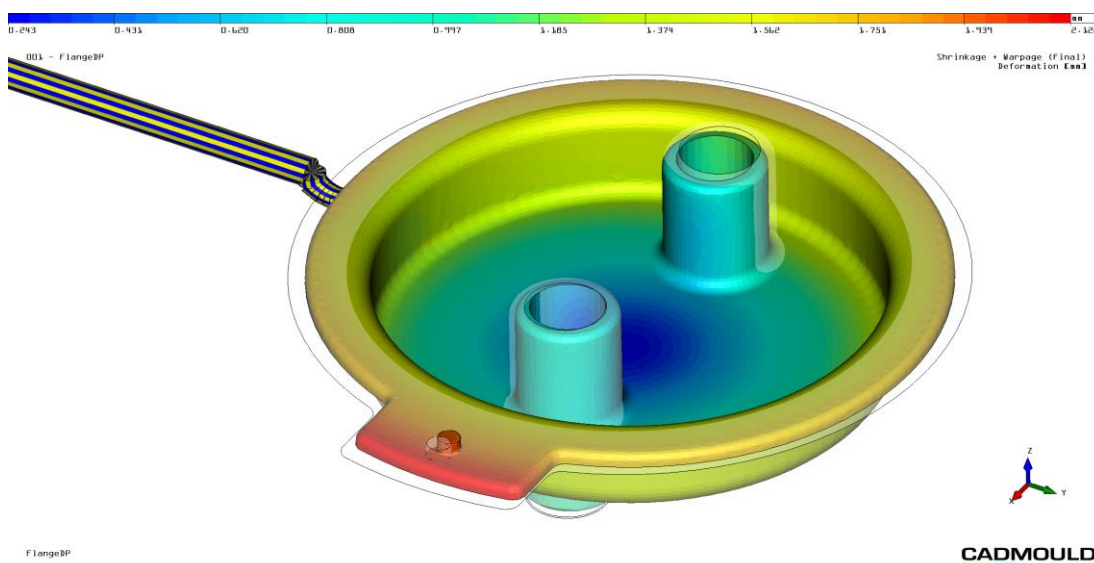
Tabulka č. 1 Technologie simulace

Simulace č. 1 - POM



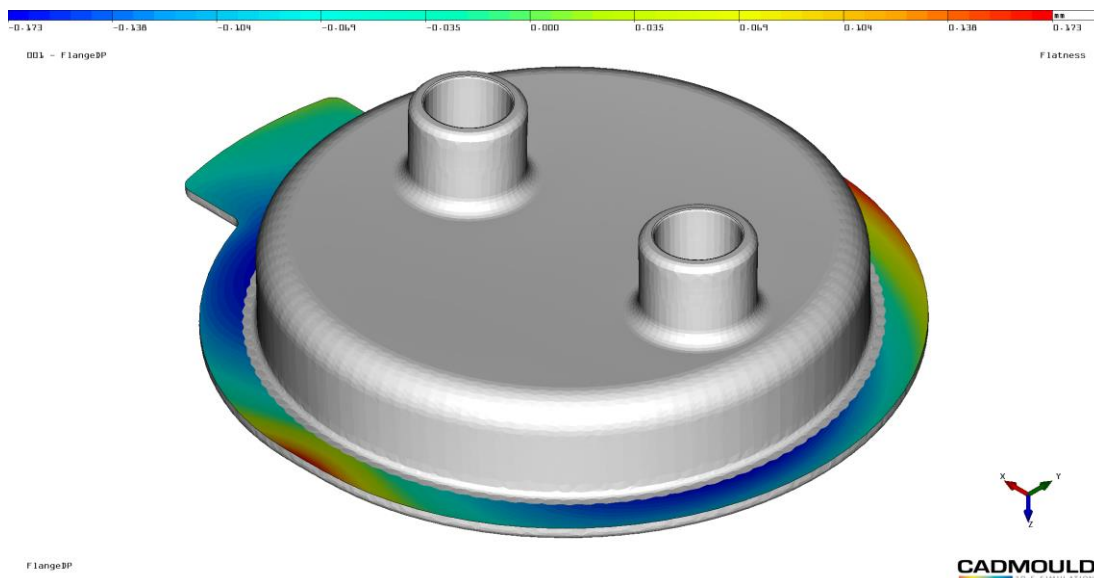
Obr. č. 30 Průběh plnění Fuel Tank Flange

Na obrázku č. 30 můžeme vidět průběh plnění Fuel Tank Flange. Umístění vtoku a vtokového ústí je vybráno s ohledem na eliminaci výskytu studených spojů, lunkrů či jiných negativních jevů.



Obr. č. 31 Průběh plnění Fuel Tank Flange

Jak je možné vidět na obrázku č. 31, celkové deformace a smrštění Fuel Tank Flange jsou po odformování na úrovni s hodnotou 1,885 [mm] s celkovou dobou plnění 2,498 [s]. Celkové deformace a smrštění jdou na vrub chování materiálu ve tvarové dutině formy.



Obr. č. 32 Rovinnost lemu

Na obrázku č. 32 je možné vidět hodnotu rovinnosti těsnícího lemu Fuel Tank Flange. Celková hodnota rovinnosti těsnícího lemu je na úrovni 0,346 [mm].

Vyhodnocení

Tlaková potřeba	Hodnota	Jednotky
	460	bar
Dotlak	391	bar
Uzavírací síla	525	kN
Hmotnost dílu	143	g
Celkové deformace + smrštění	1,885	mm
Rovinnost těsnícího lemu	0,346	mm

Tabulka č. 2 Vyhodnocení simulace

Průběh plnění Fuel Tank Flange s TO - POM

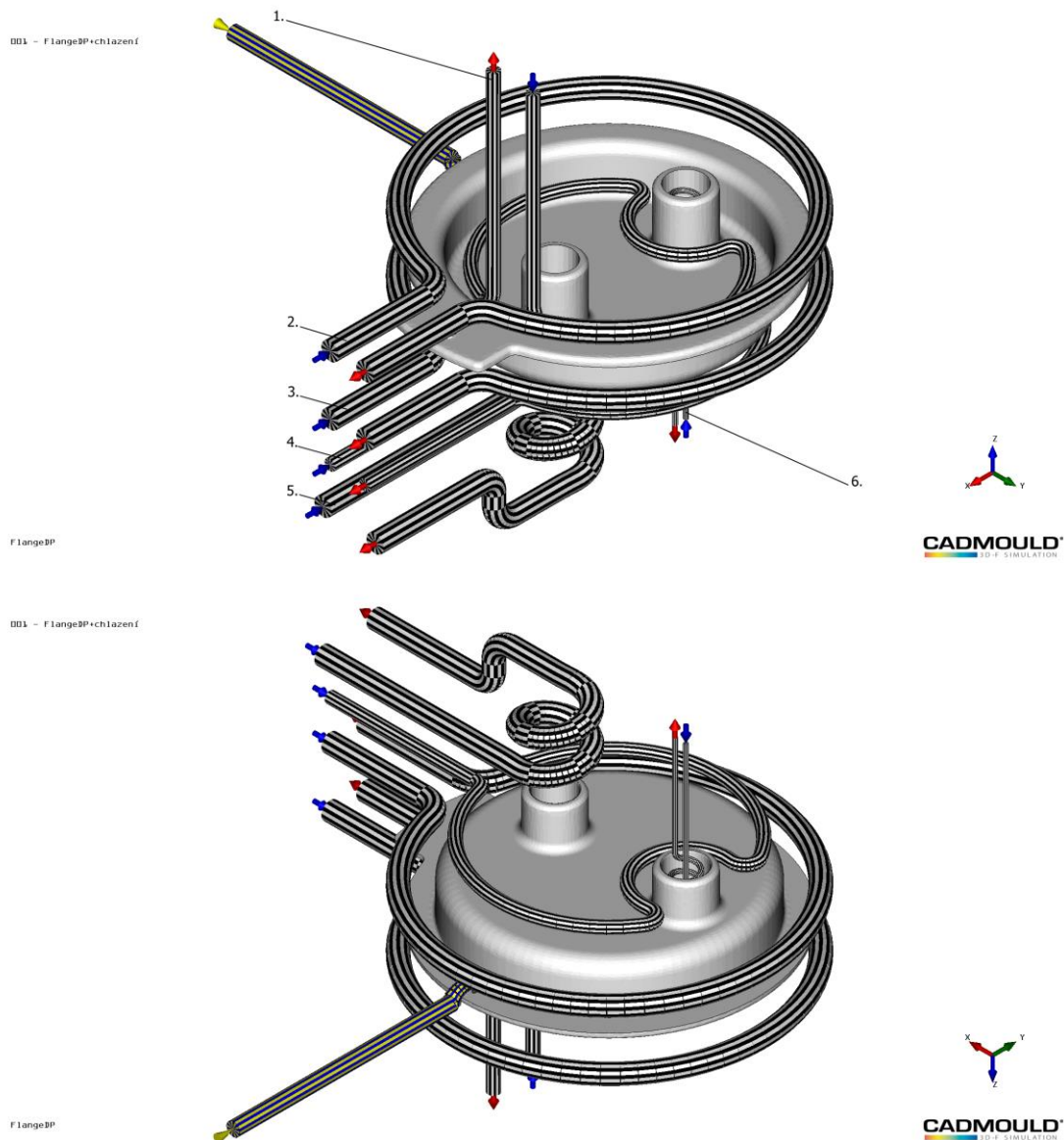
- Nástroj: Jednonásobný (simulace pro jeden otisk)
- Materiál: POM (Polyoxymetylén), Ultraform
- Vtokový systém: Studený rozvod Ø 6 [mm], srpkový tunelový vtok Ø 2 [mm]
- Technologie:

Čas plnění	Nastaveno	Jednotky	Poznámka
	2,5	s	
Teplota taveniny	200	°C	
Teplota TO	80	°C	Temperanční voda
Odformovací teplota	110	°C	Teplota dílu při vyhození
Bod překrytalizace	148	°C	
Dotlak	32,5	s	
Čas chlazení	15	s	
Manipulační čas	70	s	
Čas cyklu	120	s	

Tabulka č. 3 Technologie simulace

TK	Průtok [l·min ⁻¹]	Tlak [bar]	T. TK sim. č. 1 [°C]	T. TK sim. č. 2 [°C]	T. TK sim. č. 3 [°C]
1	30	4,64	80	80	80
2	40	3,91	80	60	80
3	40	3,92	80	80	60
4	13	4,86	80	80	80
5	38	4,87	80	80	80
6	1,1	4,73	80	80	80

Tabulka č. 4 Teploty a tlaky temperančních kanálů

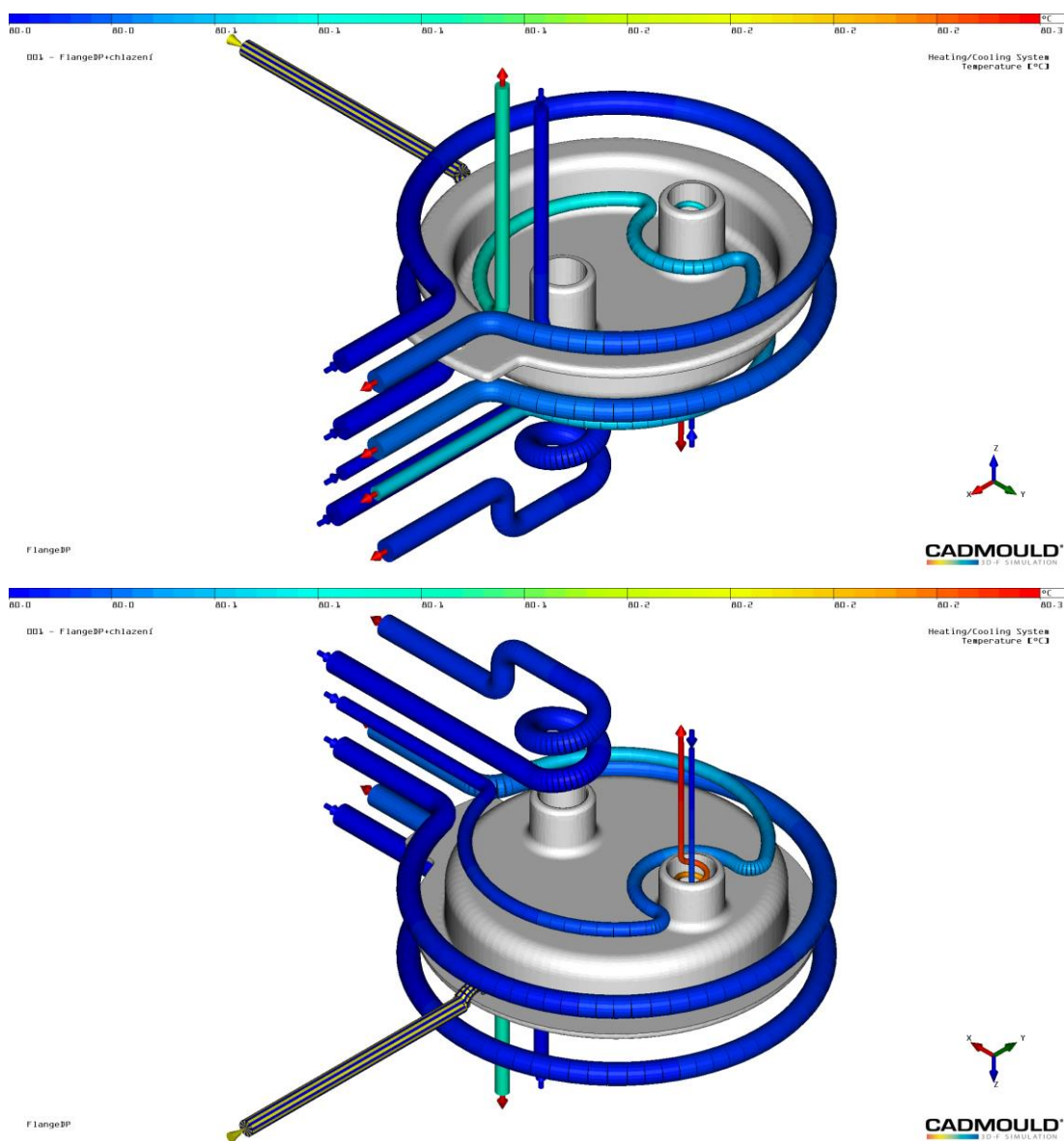


Obr. č. 33 a 34 Temperanční kanály

1. Temperanční kanál $\text{Ø } 5$ [mm], 2. Temperanční kanál $\text{Ø } 8$ [mm], 3. Temperanční kanál $\text{Ø } 8$ [mm], 4. Temperanční kanál $\text{Ø } 5$ [mm], 5. Temperanční kanál $\text{Ø } 8$ [mm],
6. Vývrtkový temperanční kanál $\text{Ø } 2$ [mm]

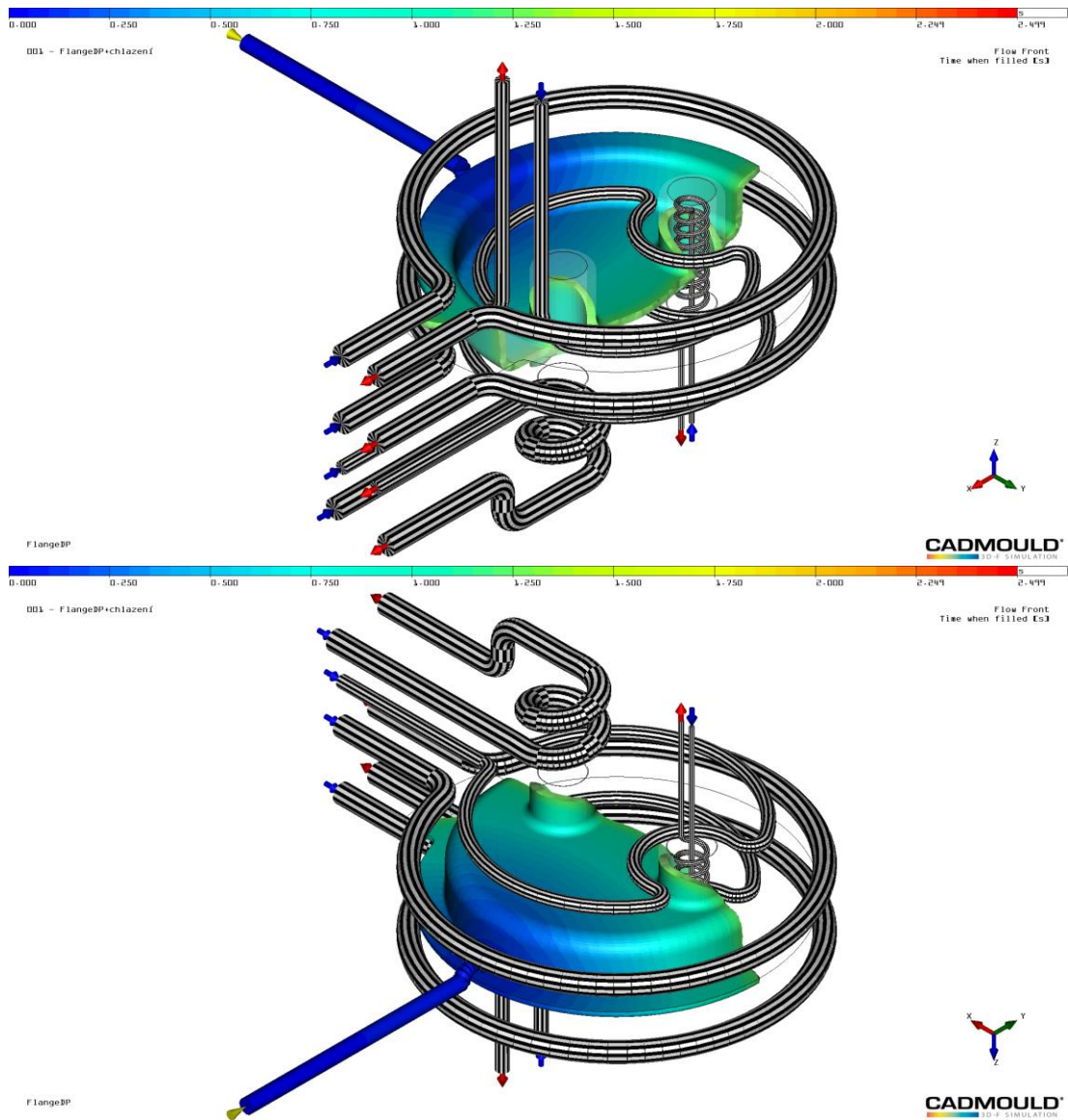
Jak je možné vidět na obr. č. 33 a 34, po exportu Fuel Tank Flange do simulačního programu Cadmould načteme i temperanční kanály č. 1 – 6. Dále označíme směry proudění temperančního media, v našem případě temperanční vodu. Jako poslední zvolíme požadovaný průtok jednotlivými kanály v $[\text{l} \cdot \text{min}^{-1}]$.

Simulace č. 1 - POM



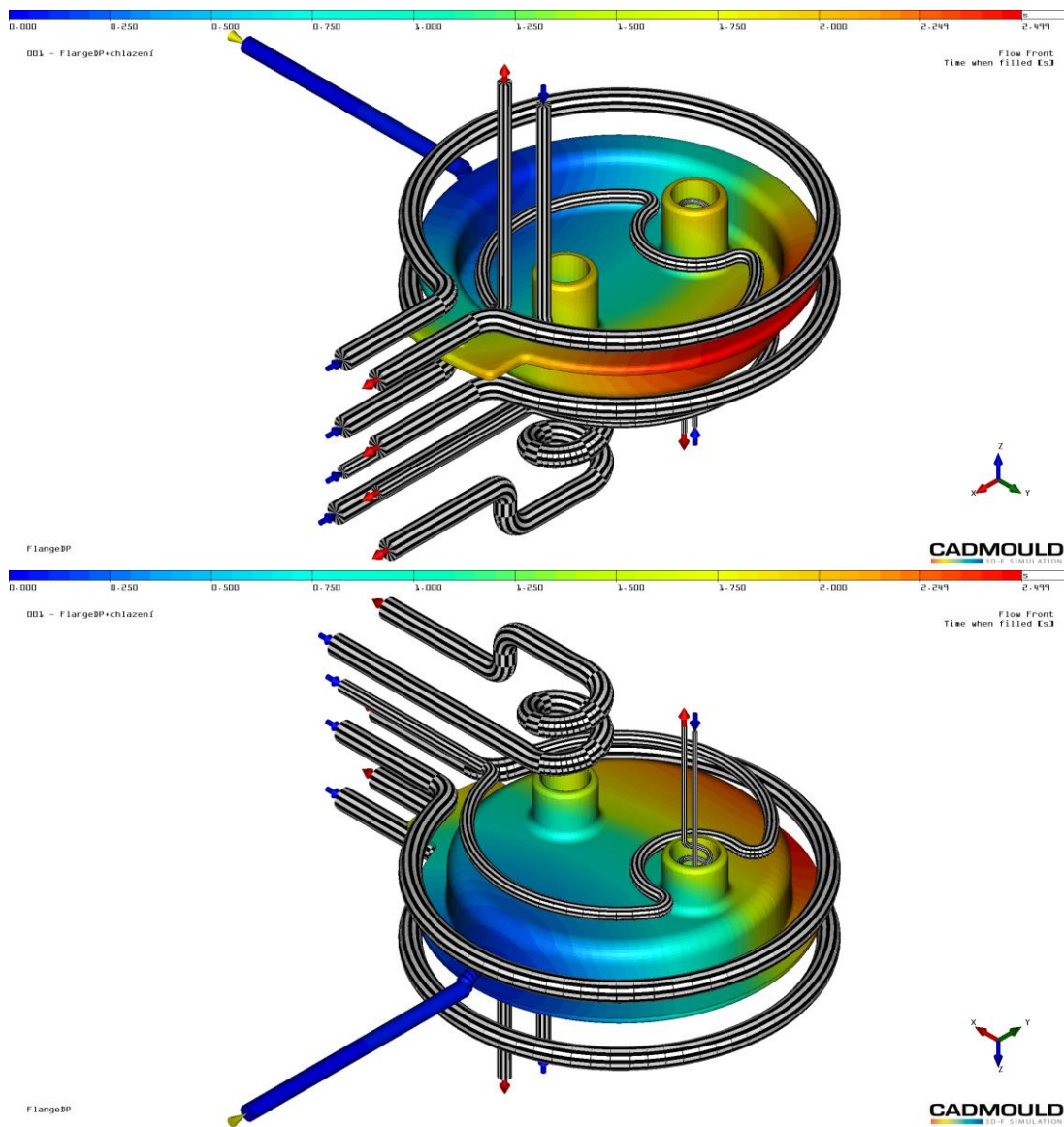
Obr. č. 35 a 36 Teplota temperančních kanálů

Jak je možné vidět na obr. č. 35 a 36, po zvolení požadovaného průtoku jednotlivými kanály v [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$], je jako další krok nutné nastavit správný tlak v [bar], pod kterým bude toto medium cirkulovat. Většina temperančních hydraulických systémů je konstruovaná na maximální tlak 5-6 [bar]. Z tohoto důvodu je nutné optimálně zvolit průtok v závislosti na průměru a délce každého jednotlivého temperančního okruhu. V simulaci č. 1 byla teplota temperančního media ve všech okruzích 80 [°C].



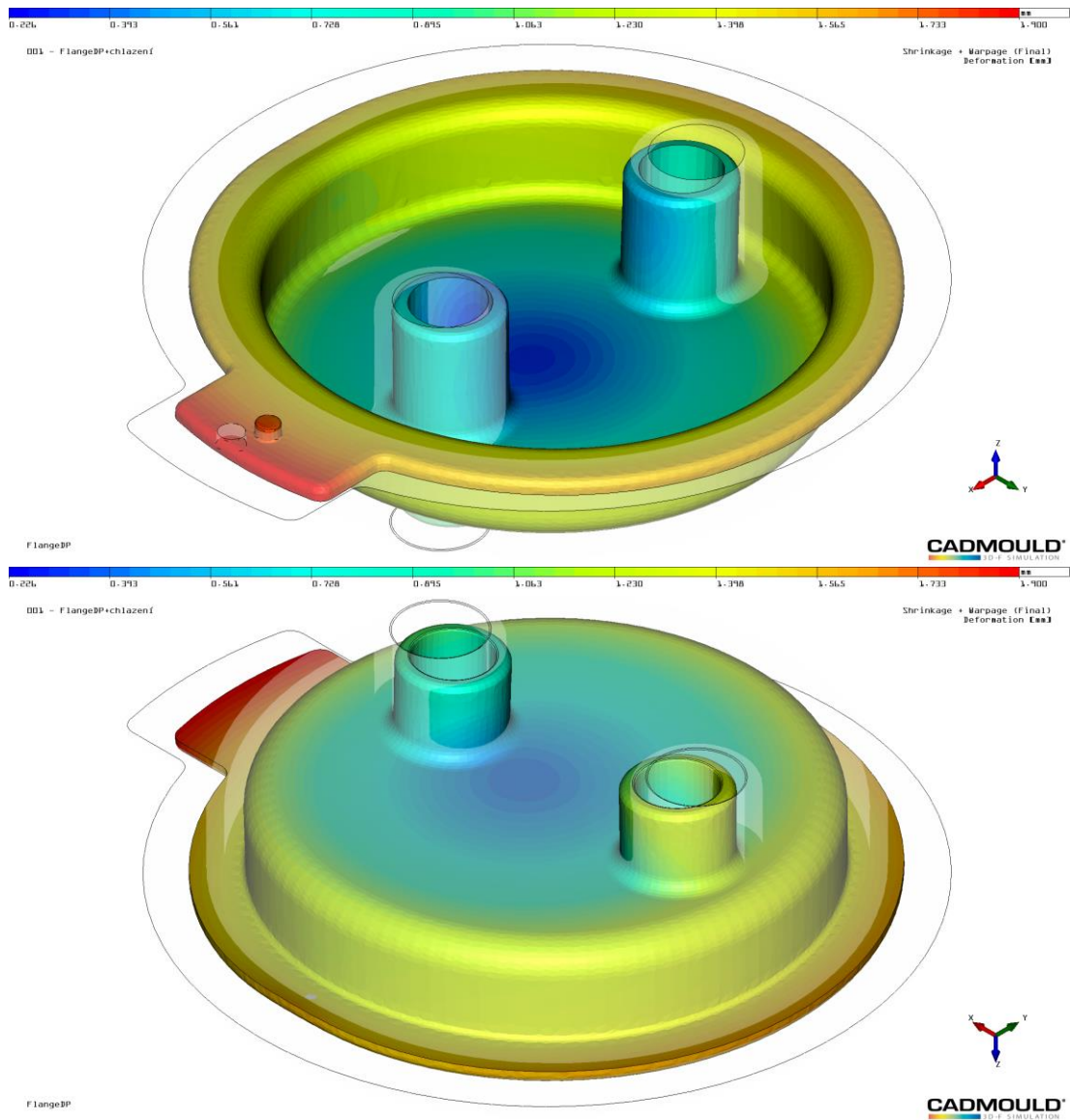
Obr. č. 37 a 38 Simulace plnění s aktivními prvky

Po korekcích a nalezení optimálního poměru průtoku media vůči tlaku, je možné přistoupit k samotnému spuštění simulace plnění i se zapojením aktivních prvků temperance. Jak je možné vidět na obrázcích č. 37 a 38, průběh plnění tvarové dutiny formy v 50 [%] zaplnění. Vzhledem k možnosti sledování jednotlivých fází plnicího cyklu, můžeme vytipovat problematická místa výstřiku, jakými jsou studené spoje, vznikající lunkry aj.



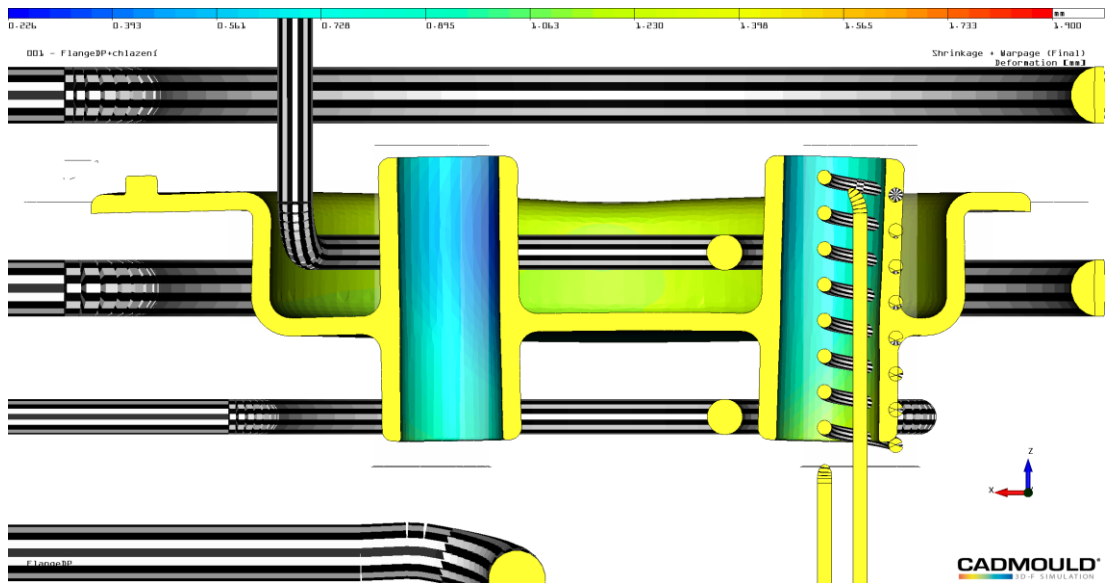
Obr. č. 39 a 40 100 [%] naplnění tvarové dutiny

Na obrázcích č. 39 a 40 je možné vidět 100 [%] naplnění tvarové dutiny formy. Vzhledem k možnosti sledování jednotlivých fází plnicího cyklu, můžeme vytipovat problematická místa výstřiku, jakými jsou studené spoje, vznikající lunkry aj.



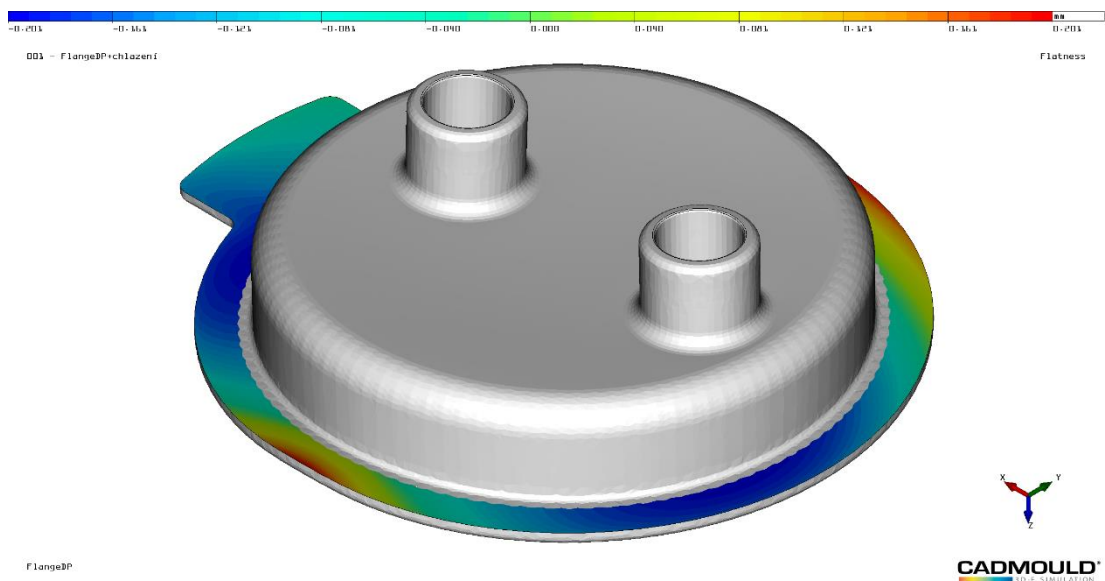
Obr. č. 41 a 42 Celkové smrštění a deformace

Jak je možné vidět na obrázcích č. 41 a 42, po dovršení procesu plnění tvarové dutiny formy je možné vyextrahovat různé vlastnosti výstřiku. Konkrétně zde se jedná o celkové deformace a smrštění (5ti násobné zvětšení), které jsou jedny z nejdůležitějších požadavků na výstřik. U simulace č. 1 bylo celkové smrštění s deformacemi na hodnotě 1,674 [mm]



Obr. č. 43 Celkové smrštění a deformace v řezu

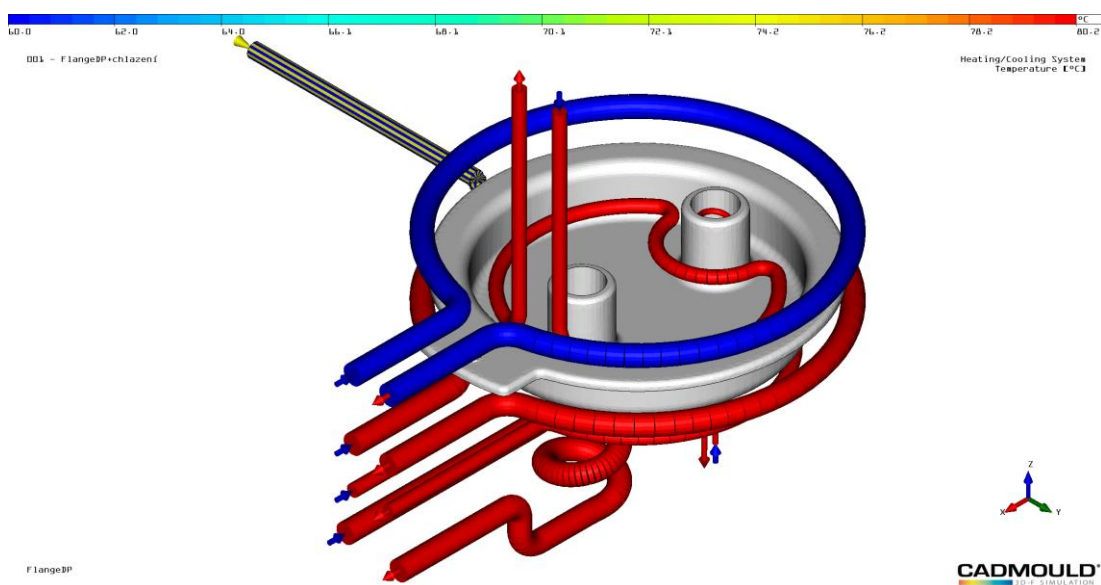
Na obrázku č. 43, který je řez obrázků č. 41 a 42 pozorujeme, že ve spodní části Fuel Tank Flange, která je umístěna v palivové nádrži motorového dopravního prostředku celkové smrštění a deformaci je směrem ke středu výstřiku. Protilehlá část Fuel Tank Flange, která je obvykle umístěna v interiéru motorového dopravního prostředku je celkové smrštění a deformace směrem od středu výstřiku.



Obr. č. 44 Rovinnost lemu výstřiku

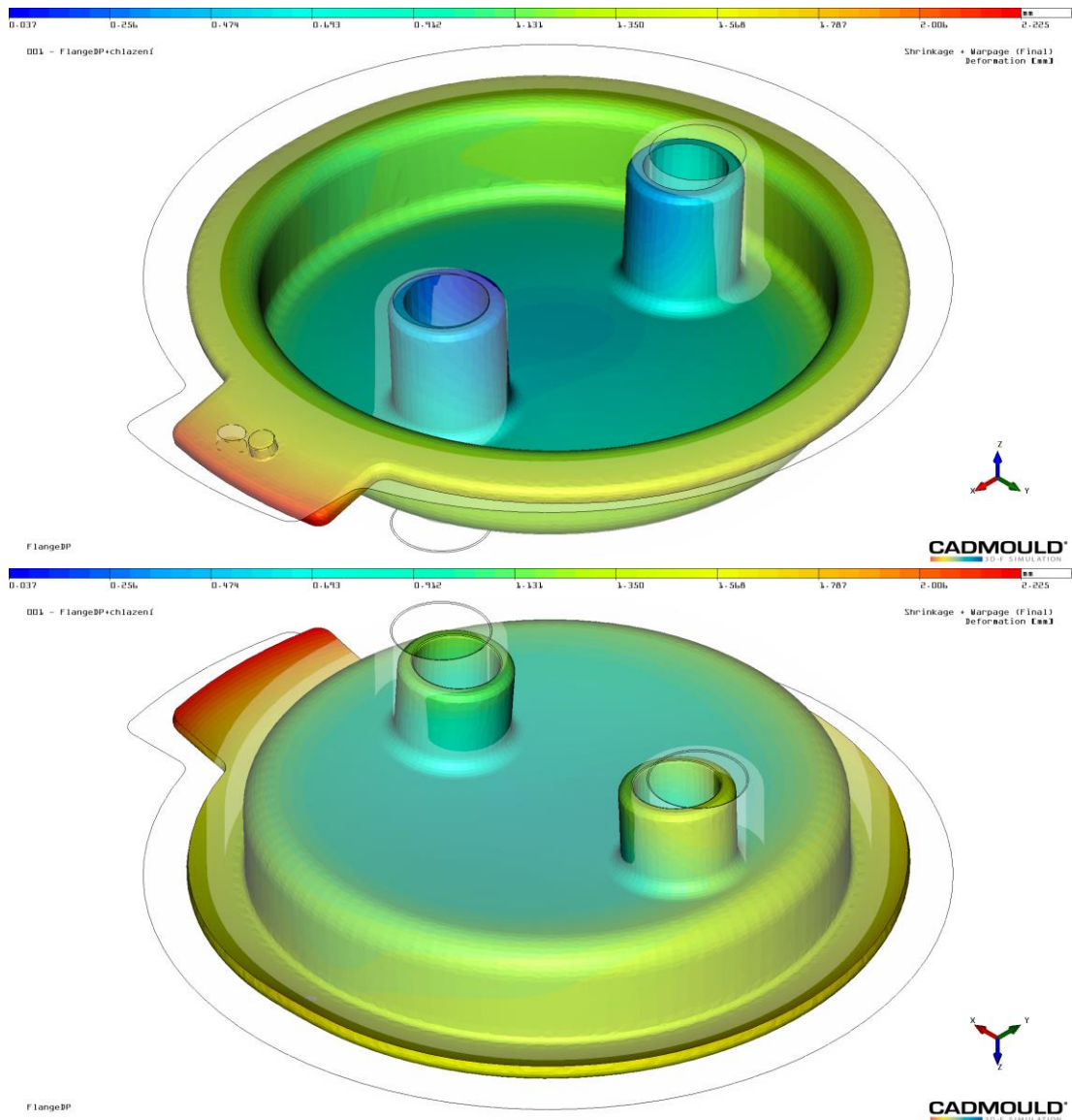
Jak je možné vidět na obr. č. 44, celková rovinnost lemu Fuel Tank Flange je 0,403 [mm]. Tato hodnota je jednou z nejdůležitějších pro vyhodnocení správné jakosti výstřiku. Pokud by nebyla v požadované normě, následkem může být jak zvýšené namáhání plastového výstřiku během provozu motorového dopravního prostředku, ale též pronikání palivových výparů do prostoru určeném pro posádku.

Simulace č. 2 - POM



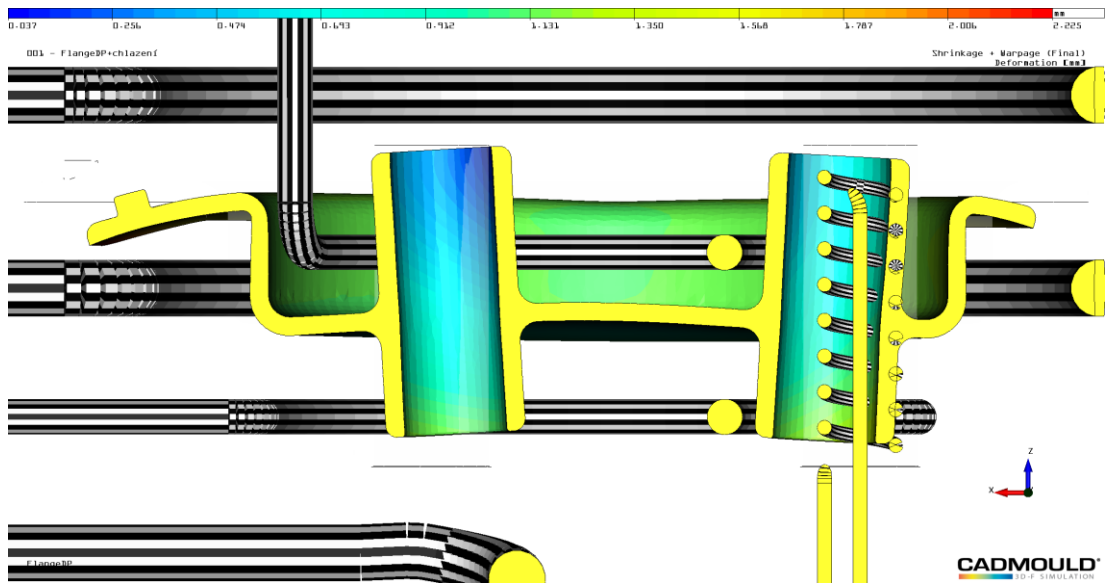
Obr. č. 45 Teplota temperančních kanálů

Jak je možné vidět na obr. č. 45, průtok jednotlivými kanály v [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$] a tlak v [bar], pod kterým bude toto medium cirkulovat, byla převzata ze simulace č. 1. V simulaci č. 2 byla teplota temperančního media v okruhu č. 2 snížena na hodnotu 60 [°C], ve zbylých okruzích 80 [°C].



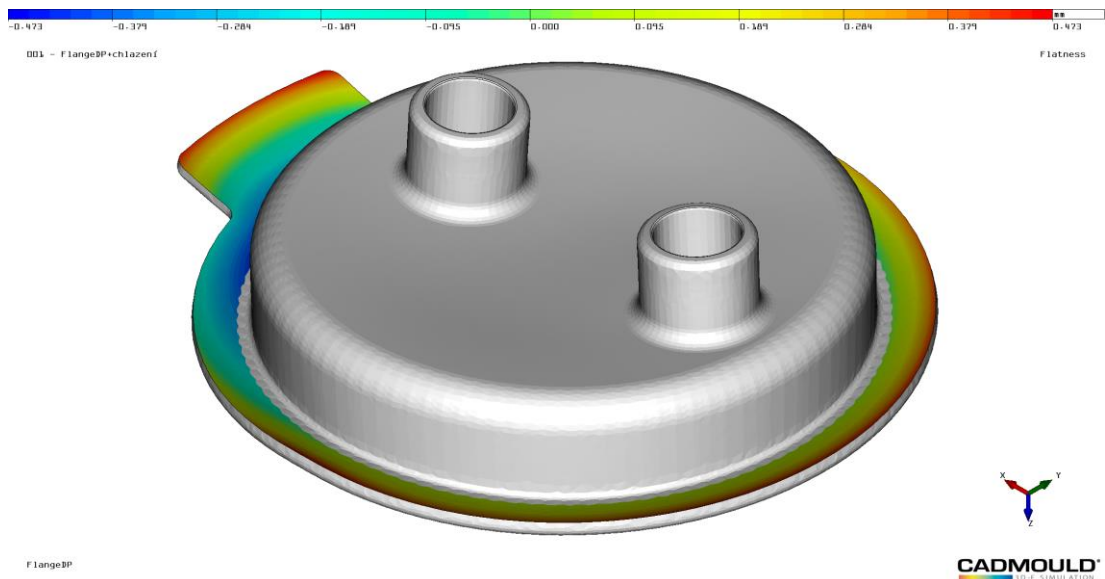
Obr. č. 46 a 47 Celkové smrštění a deformace

Jak je patrné z obrázků č. 46 a 47, po dovršení procesu plnění tvarové dutiny formy, celkové deformace a smrštění (5ti násobné zvětšení), které jsou jedny z nejdůležitějších požadavků na výstřik, jsou u simulace č. 2 na hodnotě 2,188 [mm]. Rozdílná teplota temperančních okruhů s největším průtokovým množstvím média na exponovaných místech v oblasti lemu Fuel Tank Flange zapříčinila, že celý výstřik se smrštil a zdeformoval do již neakceptovatelné podoby. V tomto konkrétním případě by již lem, jakožto těsnicí část neplnila svoji funkci.



Obr. č. 48 Celkové smrštění a deformace v řezu

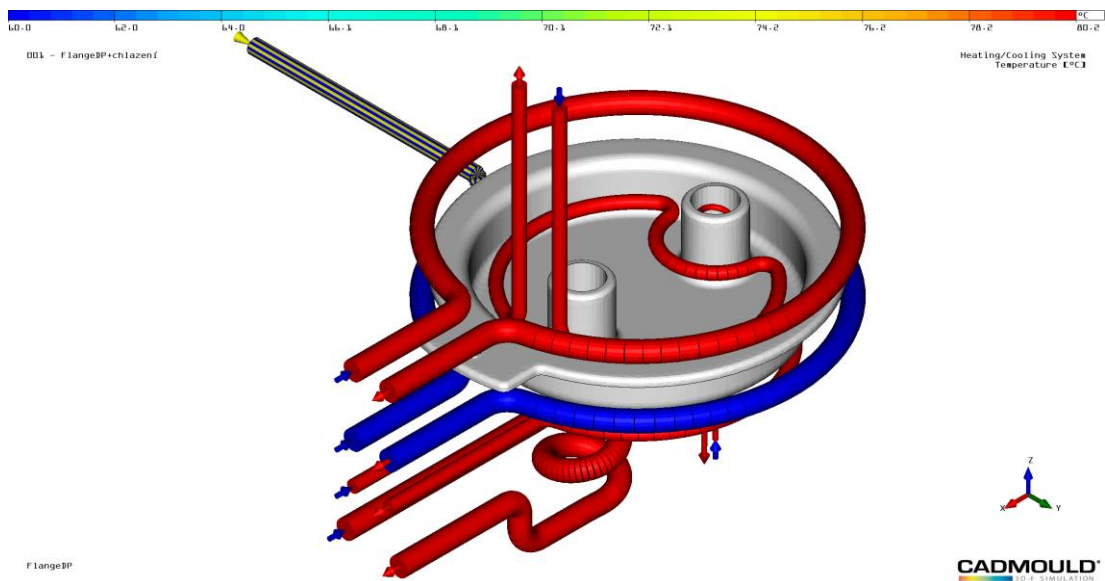
Na obrázku č. 48, který je řez obrázků č. 46 a 47 pozorujeme, že ve spodní části Fuel Tank Flange, která je umístěna v palivové nádrži motorového dopravního prostředku celkové smrštění a deformaci je směrem ke středu výstřiku. Protilehlá část Fuel Tank Flange, která je obvykle umístěna v interiéru motorového dopravního prostředku je celkové smrštění a deformace směrem od středu výstřiku.



Obr. č. 49 Rovinnost lemu výstřiku

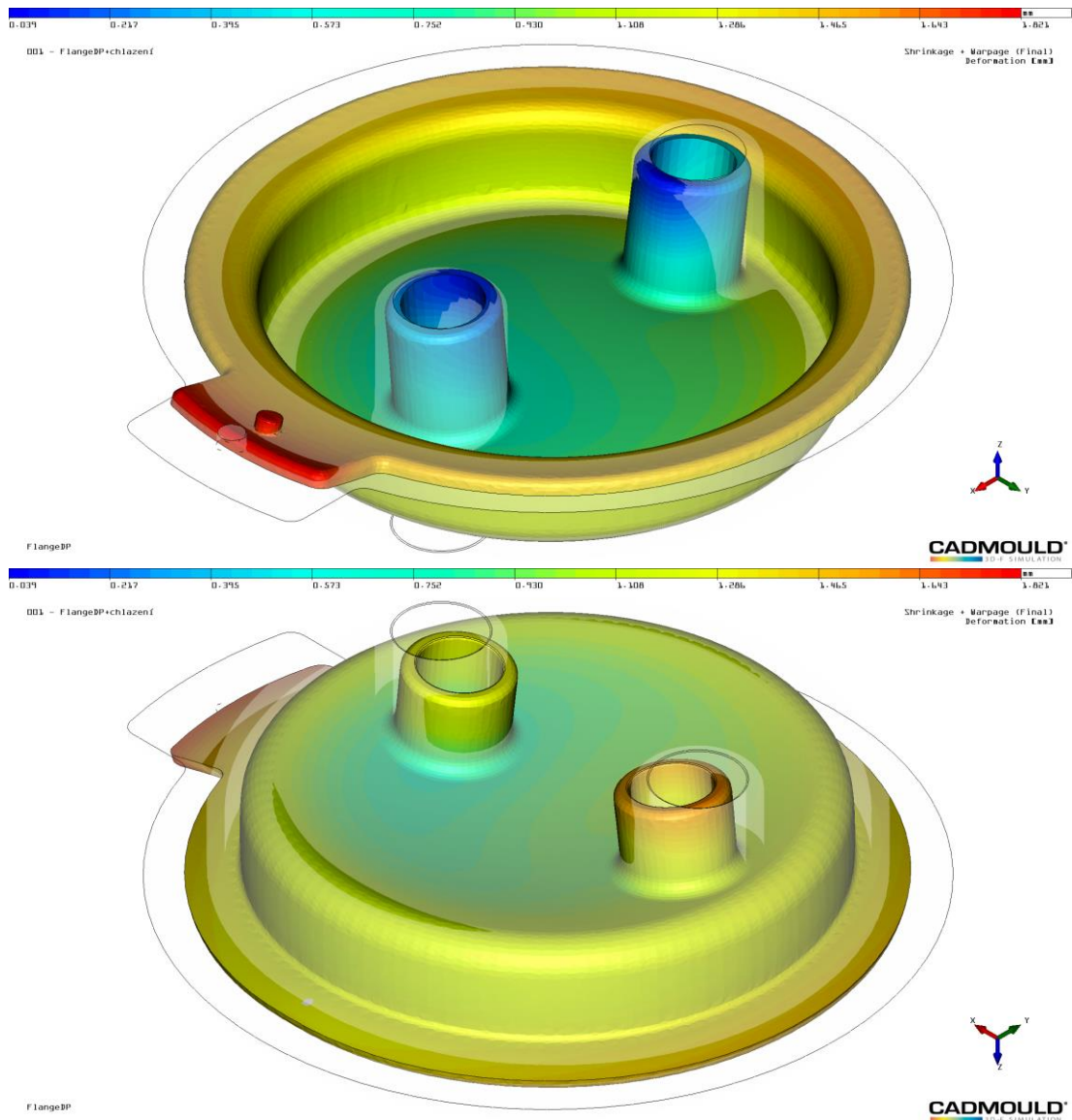
Jak je možné vidět na obr. č. 49, celková rovinnost lemu Fuel Tank Flange je 0,946 [mm]. Tato hodnota je jednou z nejdůležitějších pro vyhodnocení správné jakosti výstřiku. Pokud by nebyla v požadované normě, následkem může být jak zvýšené namáhání plastového výstřiku během provozu motorového dopravního prostředku, ale též pronikání palivových výparů do prostoru určeném pro posádku.

Simulace č. 3 - POM



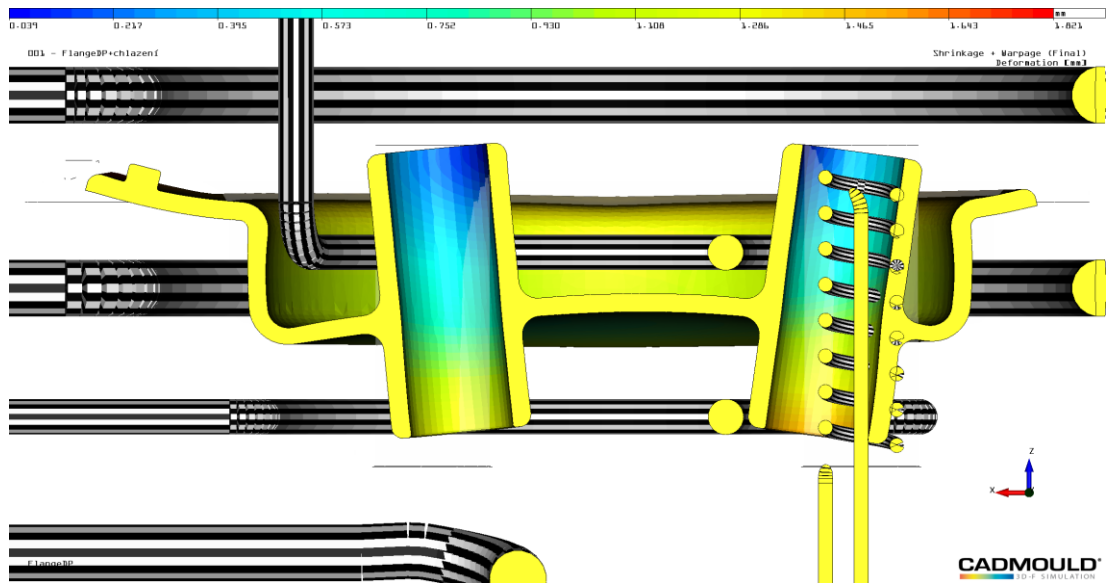
Obr. č. 50 Teplota temperančních kanálů

Jak je možné vidět na obr. č. 50, průtok jednotlivými kanály v [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$] a tlak v [bar], pod kterým bude toto medium cirkulovat, byla převzata ze simulace č. 1. V simulaci č. 3 byla teplota temperančního media v okruhu č. 3 snížena na hodnotu 60 [°C], ve zbylých okruzích 80 [°C].



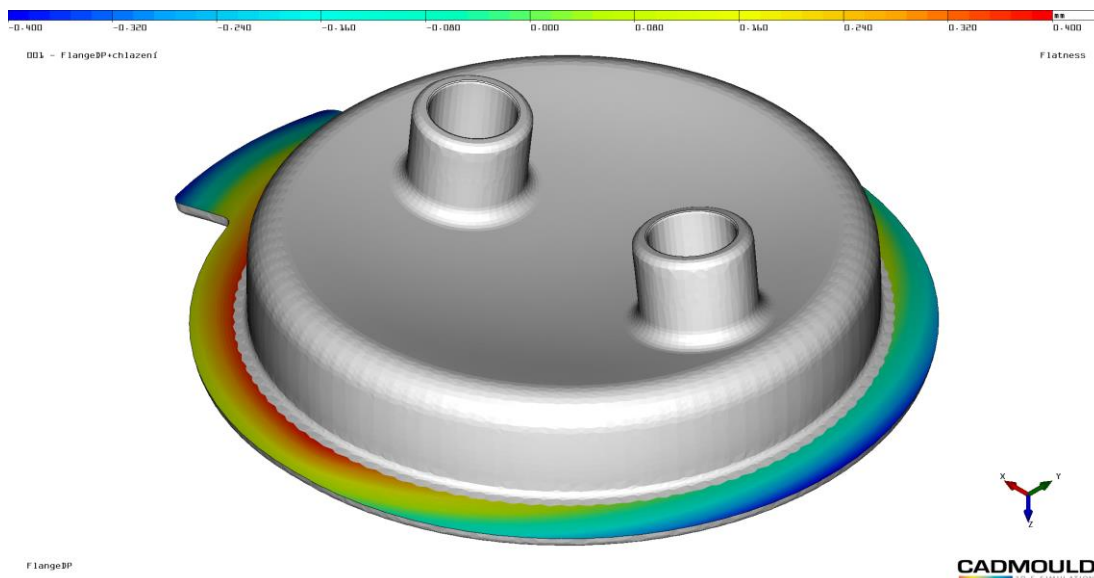
Obr. č. 51 a 52 Celkové smrštění a deformace

Jak je patrné z obrázků č. 51 a 52, po dovršení procesu plnění tvarové dutiny formy, celkové deformace a smrštění (5ti násobné zvětšení), které jsou jedny z nejdůležitějších požadavků na výstřik, jsou u simulace č. 3 na hodnotě 1,782 [mm]. Rozdílná teplota temperančních okruhů s největším průtokovým množstvím média na exponovaných místech v oblasti lemu Fuel Tank Flange zapříčinila, že celý výstřik se smrštil a zdeformoval do již zvlněné podoby. V tomto konkrétním případě by již lem, jakožto těsnicí část neplnila svoji funkci včetně přívodních a odvodních kanálů, které jsou již značně vychýleny od svého původního tvaru.



Obr. č. 53 Celkové smrštění a deformace v řezu

Na obrázku č. 53, který je řez obrázků č. 51 a 52 pozorujeme, že ve spodní části Fuel Tank Flange, která je umístěna v palivové nádrži motorového dopravního prostředku celkové smrštění a deformaci je směrem ke středu výstřiku. Protilehlá část Fuel Tank Flange, která je obvykle umístěna v interiéru motorového dopravního prostředku je celkové smrštění a deformace směrem od středu výstřiku. Naopak těsnící lem se smrští k temperančnímu okruhu, který má vyšší teplotu. Z tohoto důvodu vzniklo vlnění výstřiku v celém jeho profilu.



Obr. č. 54 Rovinnost lemu výstřiku

Jak je možné vidět na obr. č. 54, celková rovinnost lemu Fuel Tank Flange je 0,800 [mm]. Tato hodnota je jednou z nejdůležitějších pro vyhodnocení správné jakosti výstřiku. Pokud by nebyla v požadované normě, následkem může být jak zvýšené namáhání plastového výstřiku během provozu motorového dopravního prostředku, ale též pronikání palivových výparů do prostoru určeném pro posádku.

Vyhodnocení

Tlaková potřeba	Hodnota	Jednotky	Poznámka
	460	bar	
Dotlak	391	bar	
Uzavírací síla	525	kN	
Hmotnost dílu	143	g	

Tabulka č. 5 Vyhodnocení simulace

Simulace	Deformace + smrštění [mm]	Rovinnost těsnícího lemu [mm]
1	1,674	0,403
2	2,188	0,946
3	1,782	0,800

Tabulka č. 6 Deformace + smrštění, rovinnost těsnícího lemu

Průběh plnění Fuel Tank Flange s TO - PA

- Nástroj: Jednonásobný (simulace pro jeden otisk)
- Materiál: PA 66 (Polyamid) – 40 [%] obsah skleněných vláken
- Vtokový systém: Studený rozvod Ø 6 [mm], srpkový tunelový vtok Ø 2 [mm]
- Technologie:

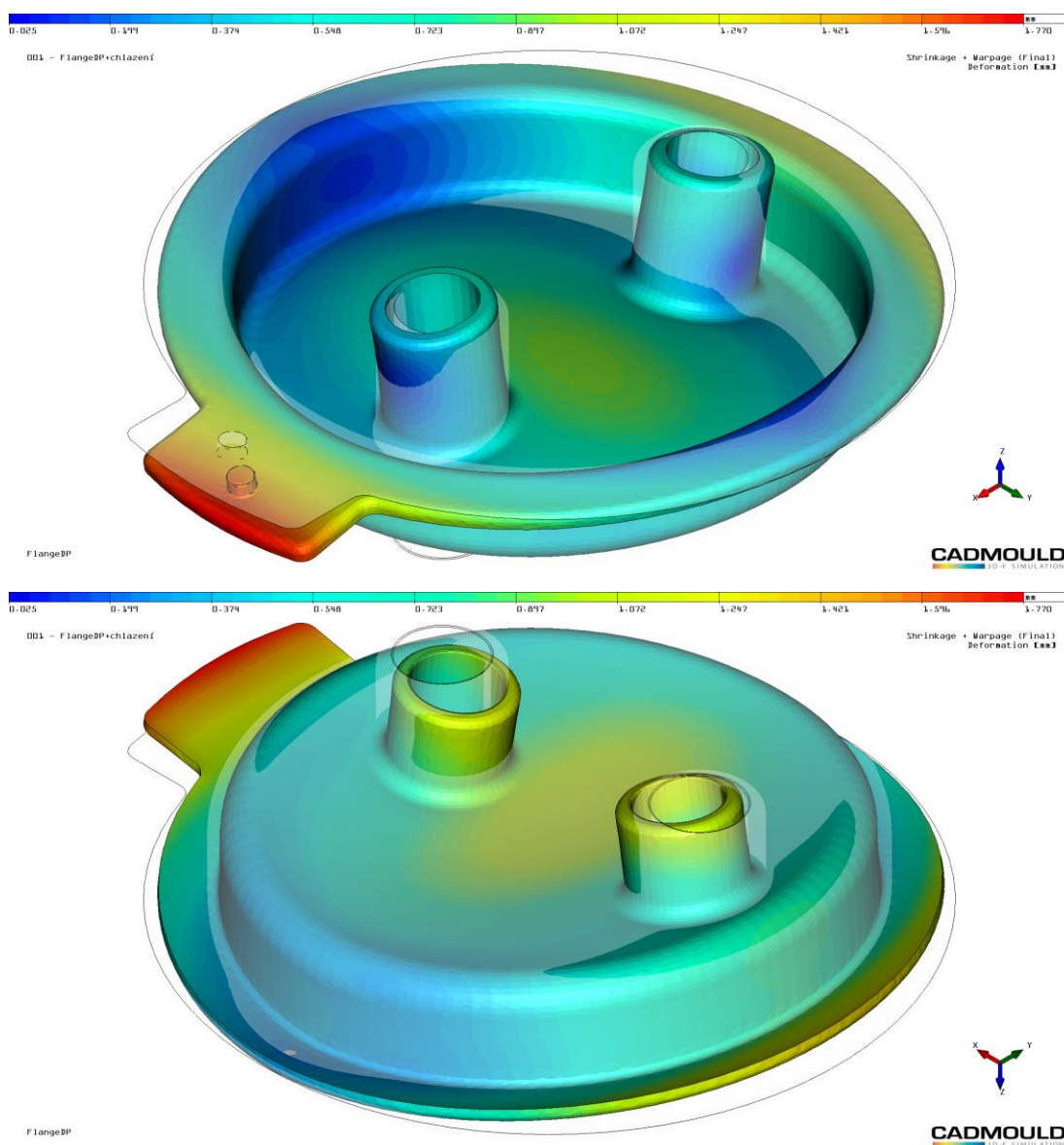
Čas plnění	Nastaveno	Jednotky	Poznámka
	2,5	s	
Teplota taveniny	290	°C	
Teplota TO	80	°C	Temperanční voda
Odformovací teplota	195	°C	Teplota dílu při vyhození
Bod překrytalizace	260	°C	
Dotlak	32,5	s	
Čas chlazení	15	s	
Manipulační čas	70	s	
Čas cyklu	120	s	

Tabulka č. 7 Technologie simulace

TK	Průtok [l·min ⁻¹]	Tlak [bar]	T. TK sim. č. 1 [°C]
1	30	4,64	80
2	40	3,91	80
3	40	3,92	80
4	13	4,86	80
5	38	4,87	80
6	1,1	4,73	80

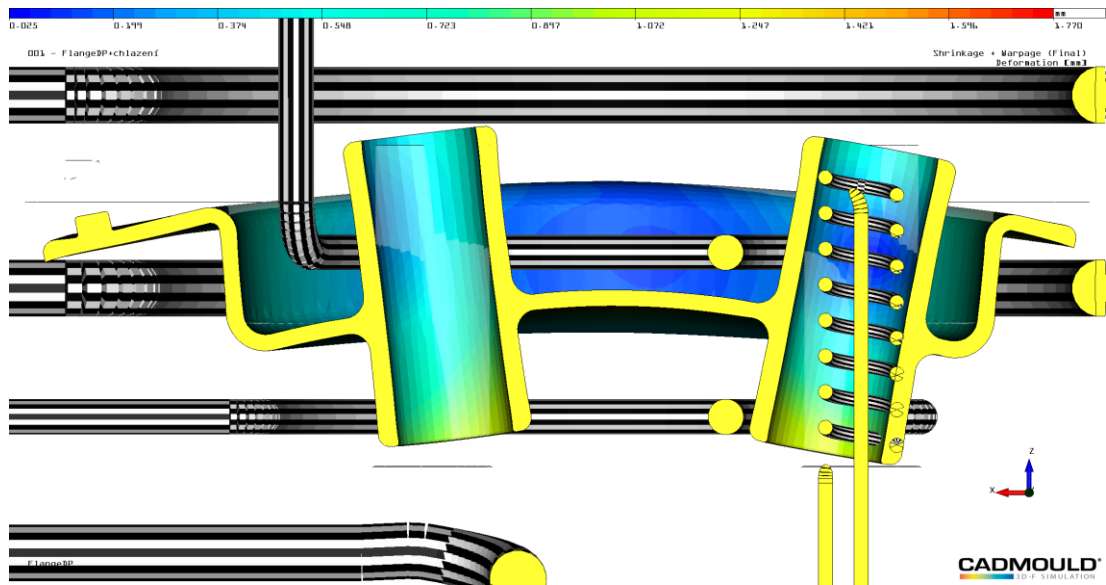
Tabulka č. 8 Teploty a tlaky temperančních kanálů

Simulace č. 1 - PA



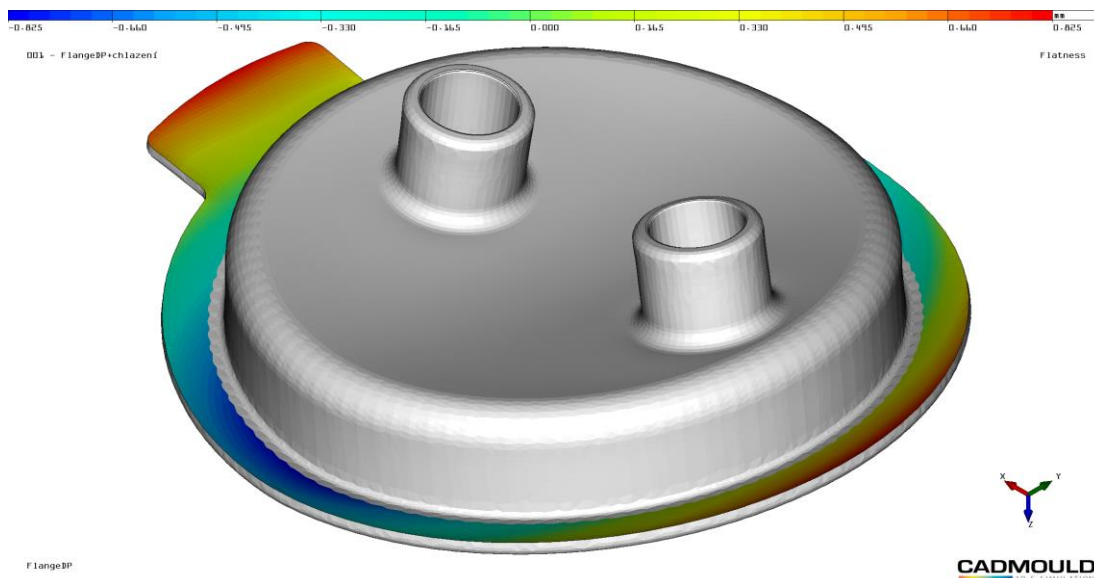
Obr. č. 55 a 56 Celkové smrštění a deformace

Jak je patrné z obrázků č. 55 a 56, po dovršení procesu plnění tvarové dutiny formy, celkové deformace a smrštění (5ti násobné zvětšení) jsou u simulace č. 1 pro materiál PA 66 na hodnotě 1,745 [mm]. Navzdory vyrovnané teplotě temperačních okruhů v celé vstřikovací formě pro Fuel Tank Flange zapříčinila, že celý výstřik se smrští a zdeformoval do podoby, kterou můžete vidět výše. V tomto konkrétním případě by již lem, jakožto těsnicí část neplnila svoji funkci včetně přívodních a odvodních kanálů, které jsou již značně vychýleny od svého původního tvaru.



Obr. č. 57 Celkové smrštění a deformace v řezu

Na obrázku č. 57, který je řez obrázků č. 55 a 56 pozorujeme, že celá Fuel Tank Flange, která je umístěna v palivové nádrži motorového dopravního prostředku se smrštila a deformovala. Rovinnost celého výstřiku navzdory vyrovnané teplotě temperančních okruhů v celé vstřikovací formě již není akceptovatelná. Z tohoto důvodu by se muselo přistoupit ke změnám teplot jednotlivých temperančních kanálů, aby se celková rovinnost dostala do požadovaných tolerančních limitů.



Obr. č. 58 Rovinnost lemu výstřiku

Jak je možné vidět na obr. č. 58, celková rovinnost lemu Fuel Tank Flange je 1,649 [mm]. Tato hodnota je jednou z nejdůležitějších pro vyhodnocení správné jakosti výstřiku. Pokud by nebyla v požadované normě, následkem může být jak zvýšené namáhání plastového výstřiku během provozu motorového dopravního prostředku, ale též pronikání palivových výparů do prostoru určeném pro posádku. Zde již je za hranicí tolerančního pole. Obvyklá hodnota je maximálně 0,500 [mm].

Vyhodnocení

Tlaková potřeba	Hodnota	Jednotky	Poznámka
	355	bar	
Dotlak	302	bar	
Uzavírací síla	383	kN	
Hmotnost dílu	143	g	

Tabulka č. 9 Vyhodnocení simulace

Simulace	Deformace + smrštění [mm]	Rovinnost těsnícího lemu [mm]
1	1,745	1,649

Tabulka č. 10 Deformace + smrštění, rovinnost těsnícího lemu

4.3 AeroFlow

Aeroflow je moderní softwarový program, který zevrubně řeší numerické simulace, u kterých proudí tekutina a chceme zahrnout i vliv tepla. Výpočtový model je připraven zcela automaticky sledovat změny v reálném čase a za pomoci barev barevného spektra ovšem výpočty jsou vzhledem na vysokou robustnost úloh a korektnost řešení velmi zdoluhavé navzdory hardwaru. Výpočty jsou teplotně provázané a zohledňují fyzikální vlastnosti. Přesnost výsledného výpočtu je u tohoto softwarového programu na vysoké úrovni.

Průběh plnění Fuel Tank Flange s TO - POM

- Nástroj: Jednonásobný (simulace pro jeden otisk)
- Materiál: POM (Polyoxymetylén), Ultraform
- Vtokový systém: Studený rozvod Ø 6 [mm], srpkový tunelový vtok Ø 2 [mm]
- Technologie:

Čas plnění	Nastaveno	Jednotky	Poznámka
	2,5	s	
Teplota taveniny	200	°C	
Teplota TO	80	°C	Temperanční voda
Odformovací teplota	110	°C	Teplota dílu při vyhození
Bod překrystalizace	148	°C	
Dotlak	35	s	
Čas chlazení	32,5	s	
Manipulační čas	50	s	
Čas cyklu	120	s	
Drsnost povrchu	130	Rz, µm	
Doba zahřívání	87	s	
Doba chlazení	32	s	
Vstupní tlak TO	3,92, 4,86, 4,87, 4,73	bar	Pro 1, 2, 3 a 4 TO

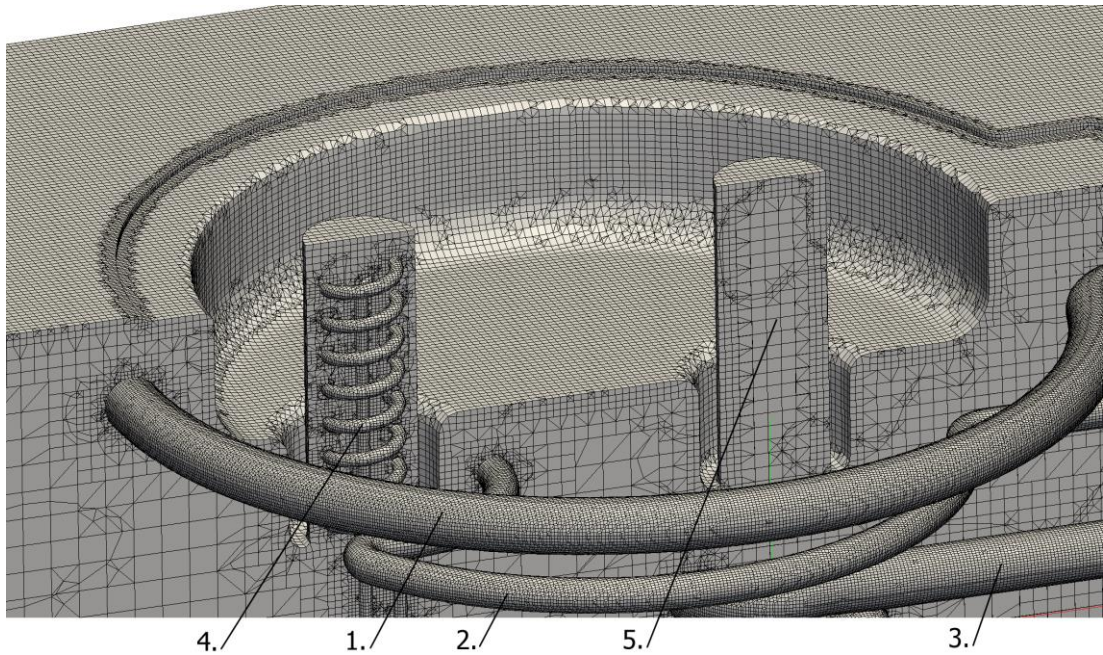
Tabulka č. 11 Technologie simulace

Simulační síť:

Sít'	Nastaveno	Jednotky
Úhel vnitřní kanál	80	°
Úhel vnější kanál	130	°
Hrana vnější povrch	3	
Hrana vnitřní kanál - 1	3	
Povrch vnější povrch	2	
Povrch in/out	2	
Povrch vnitřní kanál - 1	3	
Velikost buňky	4	
Celkový počet buněk	1,39	mil.

Tabulka č. 12 Hustota simulační sítě

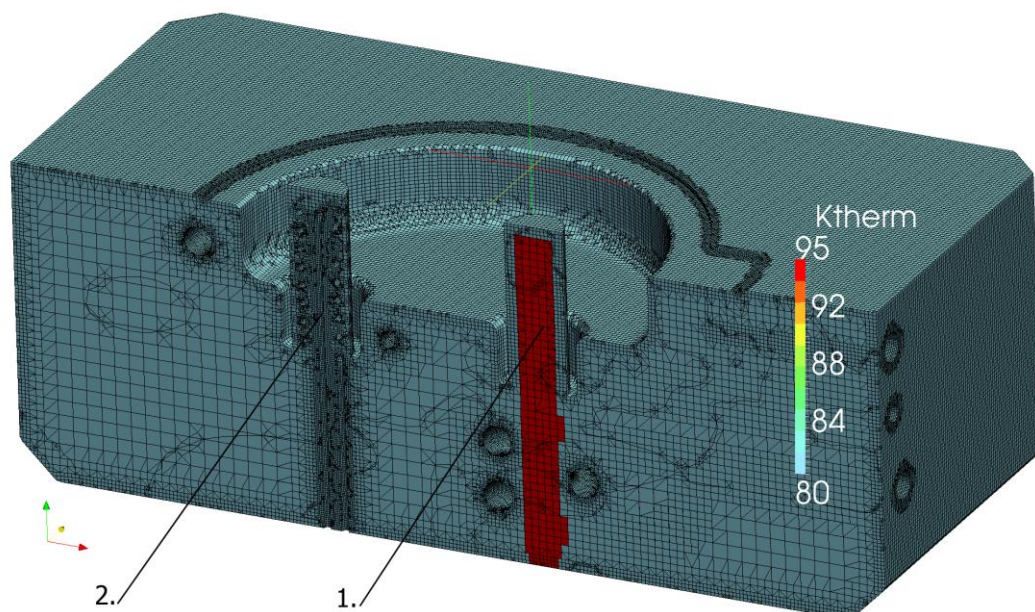
Simulace č. 1 – POM



Obr. č. 59 Simulační síť

1. Temperanční kanál \varnothing 8 [mm], 2. Temperanční kanál \varnothing 5 [mm], 3. Temperanční kanál \varnothing 8 [mm], 4. Vývrtkový temperanční kanál \varnothing 2 [mm], 5. Pasivní prvek temperance

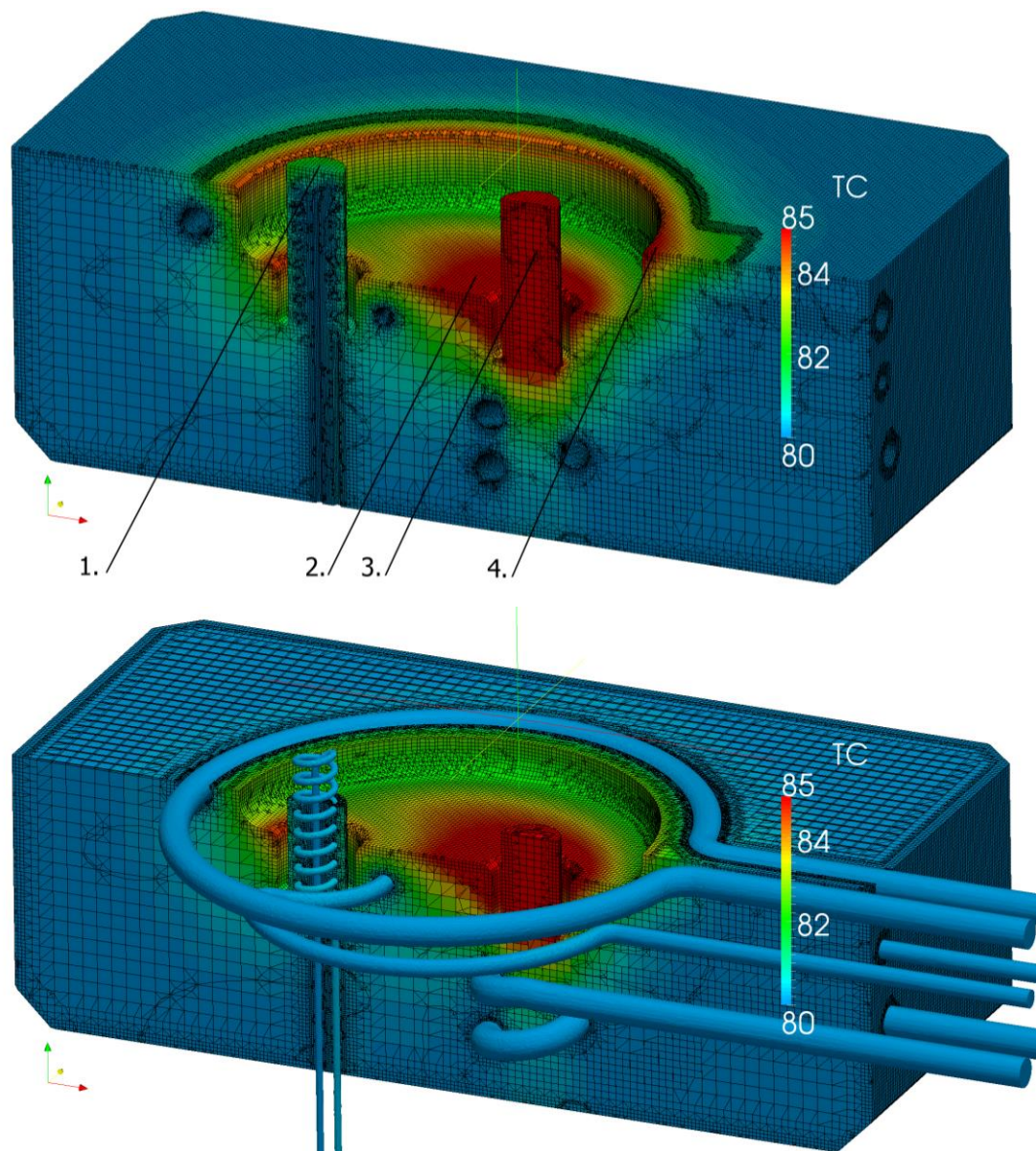
Jak je možné vidět na obr. č. 59, export tvárníku s aktivními a pasivními prvky temperance a chlazení do simulačního programu Aeroflow. Dále je nutné nastavit veškeré vstupní údaje, které jsou uvedeny v tabulce č. 11 Technologie simulace. Z obrázku je možno vypořozovat rozdílnou hustotu konečných prvků, která odkazuje a je podmíněna tabulkou č.12.



Obr. č. 60 Aktivní a pasivní prvek chlazení

1. Pasivní prvek chlazení, 2. Aktivní prvek chlazení

Na obrázku č. 60, je řez obrázku č. 59 bez aktivních prvků temperance a chlazení. V tomto řezu možné lokalizovat umístění pasivního prvku chlazení z mědi v oblasti, která odvádí přebyteční teplo z vnitřní části palivového kanálu výstřiku. U druhého palivového kanálu je použito vývrtkového chladicího okruhu aktivního prvku temperance a chlazení.

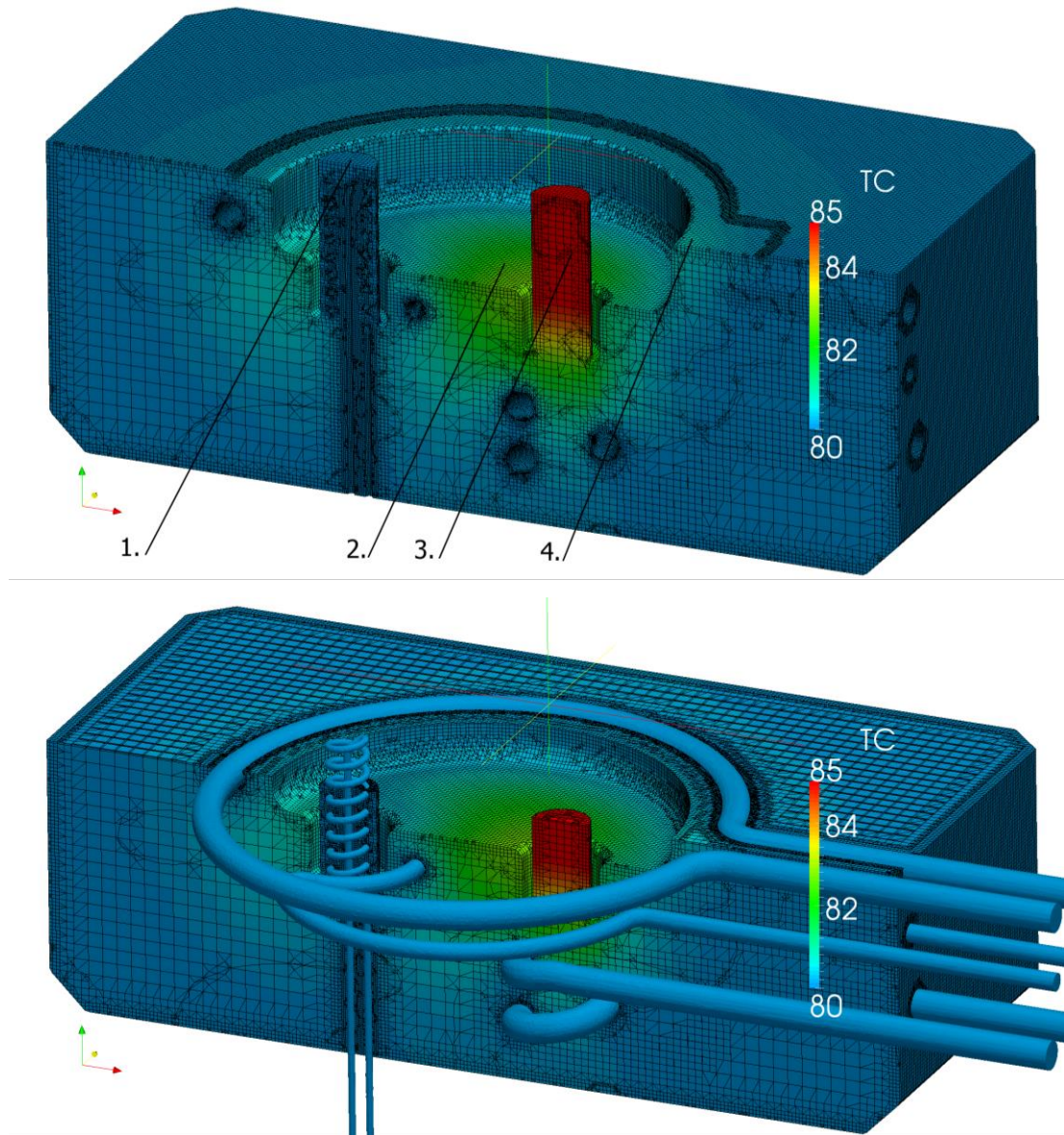


Obr. č. 61 a 62 Odformovací fáze formy

1. Teplota formy u palivového kanálu výstřiku.
2. Teplota formy v okolí palivového kanálu výstřiku,
3. Teplota formy palivového kanálu výstřiku,
4. Teplota formy v okolí těsnícího lemu výstřiku

Na obrázku č. 61 a 62 jsou zaznamenány teplotní podmínky tvárníku v 87 [s]. Jedná se o stav maximální zahřátí nástroje. Teplotní škála je záměrně zregulována na maximálních 85 [°C] z důvodu patrnějších teplotních rozdílů. Bod č. 1 ukazuje maximální teplotu formy u palivového kanálu výstřiku, který je chlazen vodou. Zde se teplota dostala na přibližnou hodnotu 82 [°C]. Bod č. 2 poukazuje na teplotu formy výstřiku v okolí palivového kanálu, který je chlazen mědí. Toto místo má již odlišné teplotní podmínky od zbytku tvárníku a je na hranici 85 [°C]. Teplota formy v okolí

palivového kanálu výstřiku, jak můžeme vidět pod bodem č. 3, který je chlazen mědí má již teplotu přesahující 85 [°C] při maximálních 94.862 [°C], jak je uvedeno v tabulce č. 13. Pod bodem č. 4 je možné pozorovat teplotu formy v okolí těsnícího lemu výstřiku, kde teplota osciluje na hranici 85 [°C].

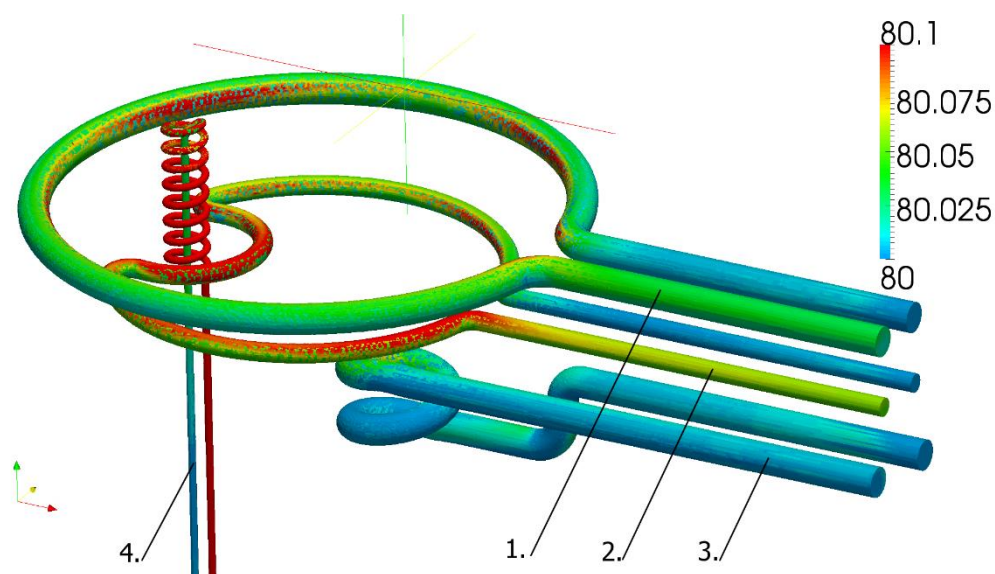


Obr. č. 63 a 64 Teplota formy po vychlazení

1. Teplota formy u palivového kanálu výstřiku.
2. Teplota formy v okolí palivového kanálu výstřiku,
3. Teplota formy palivového kanálu výstřiku,
4. Teplota formy v okolí těsnícího lemu výstřiku

Na obrázku č. 63 a 64 jsou zaznamenány teplotní podmínky tvárníku ve 119 [s] případně v čase 0 [s], kdy je ukončen celý cyklus a započne nový. Jedná se

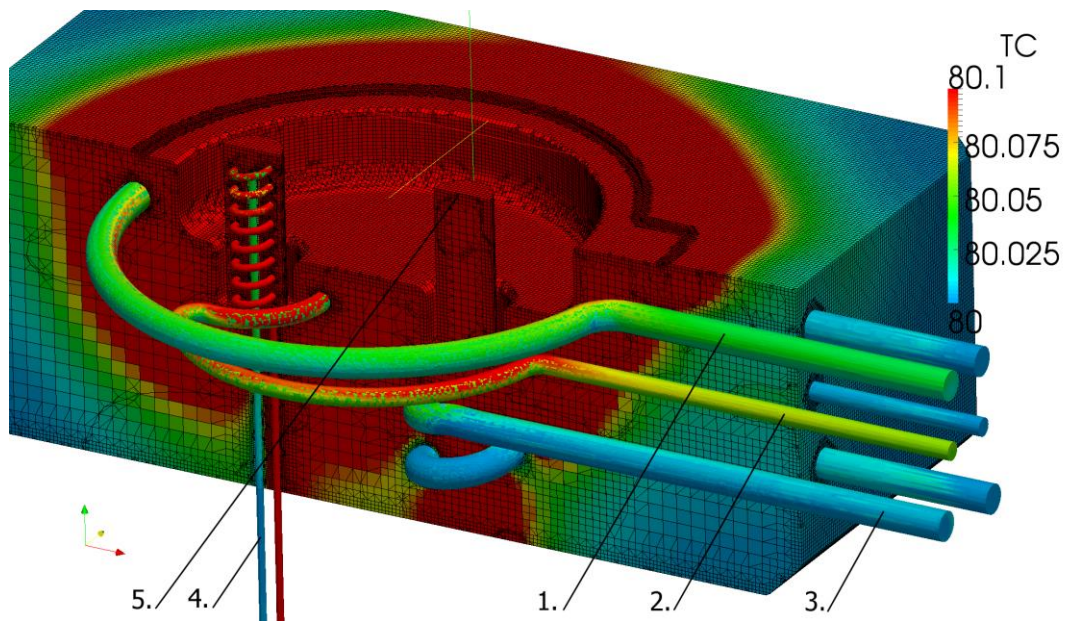
o stav po vychlazení nástroje. Teplotní škála je záměrně zregulována na maximálních 85 [°C] z důvodu patrnější teplotní difference. Bod č. 1 ukazuje minimální teplotu formy u palivového kanálu výstřiku, který je chlazen vodou. Zde se teplota dostala na přibližnou hodnotu 80 [°C], což odpovídá teplotě chladicího média. Bod č. 2 poukazuje na teplotu formy v okolí palivového kanálu, který je chlazen mědí. Toto místo má již odlišné teplotní podmínky od zbytku tvárníku a teplota se pohybuje na 82 [°C]. Teplota formy v okolí palivového kanálu výstřiku, jak můžeme vidět pod bodem č. 3, který je chlazen mědí má již teplotu přesahující 85 [°C] při maximálních 87.259 [°C], jak je uvedeno v tabulce č. 13. Pod bodem č. 4 je možné pozorovat teplotu formy v okolí těsnícího lemu výstřiku, kde teplota osciluje na hranici 81 [°C].



Obr. č. 65 Teplota temperančních kanálů v odformovací fázi

1. Temperanční kanál Ø 8 [mm], 2. Temperanční kanál Ø 5 [mm], 3. Temperanční kanál Ø 8 [mm], 4. Vývrtkový temperanční kanál Ø 2 [mm]

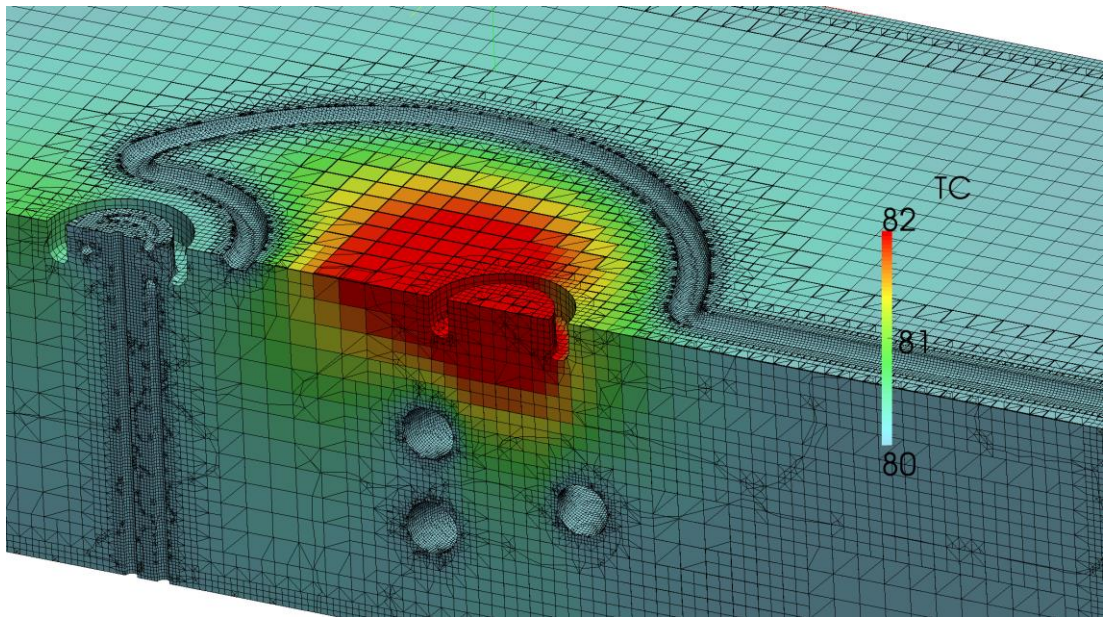
Vzhledem k nízké tepelné vodivosti vody $0,671 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ při 80 [°C] a její vysoké měrné tepelné kapacitě $4180 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ spolu s vysokým objemovým průtokem $1.1 \text{ až } 49,078 \text{ [l} \cdot \text{min}^{-1}]$ v temperančních kanálech zapříčiní, že teplota vody uvnitř kanálů se v čase 87 [s] zvýší maximálně o desetiny stupně u kanálu č. 4. U zbylých kanálů č. 1, 2 a 3 je teplota na vstupu a na výstupu maximálně v rozmezí 0,05 [°C]. Teplotní škála je záměrně zregulována na maximálních 80,1 [°C] z důvodu patrnější teplotní difference.



Obr. č. 66 Teplota temperančních kanálů a tvárníku v odformovací fázi formy

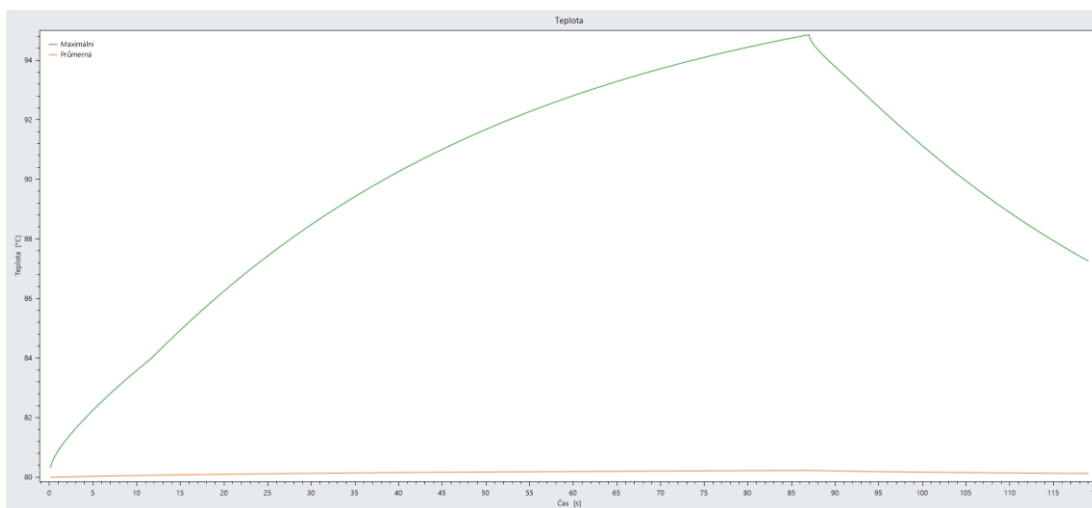
1. Temperanční kanál Ø 8 [mm], 2. Temperanční kanál Ø 5 [mm], 3. Temperanční kanál Ø 8 [mm], 4. Vývrtkový temperanční kanál Ø 2 [mm], 5. Pasivní prvek temperance

Jak je možné vidět na obrázku č. 66, veškeré temperanční potažmo chladící prvky jsou v tvárníku formy umístěny správně a odebírají teplo z exponovaných částí výstřiku v čase 87 [s] při maximálním zahřátí vstřikovacího nástroje. V případě, že by kanál byl umístěn mimo oblast červené barvy, která značí hranici 80,1 [°C], neměl by již přímý chladící účinek tvarové dutiny formy a zastával by sekundární odvod tepla od okruhů, které přímo odvádí teplo či by případně jenom temperoval vstřikovací nástroj na provozní teplotu. Teplotní škála je záměrně zregulována na maximálních 80,1 [°C] z důvodu patrnější teplotní difference.



Obr. č. 67 Kritické oblasti

Na obrázku č. 67 jsou zaznamenány teplotní podmínky tvárníku ve 119 [s] případně v čase 0, kdy je ukončen celý cyklus a započne nový. Pozorujeme nadměrné přehřátí tvárníku vstřikovacího nástroje až s hodnotou 87,259 [°C]. Teplotní škála je záměrně zregulována na maximálních 82 [°C] z důvodu patrnější teplotní difference.



Obr. č. 68 Teplotní podmínky nástroje

Na obr. č. 68 jsou zaznamenány teplotní podmínky nástroje v celém jeho cyklu. Maximální zahřátí nástroje je v exponovaném místě až 94.862 [°C] v čase 87 [s]. Konečná teplota nástroje je v exponovaném místě na hodnotě 87,259 [°C] v čase 119 [s].

Vyhodnocení

	Hodnota	Jednotky
Teplota před chlazením: maximální	94,862	°C
Teplota před chlazením: průměrná	80,231	°C
Konečná teplota: maximální	87,259	°C
Konečná teplota: průměrná	80,127	°C
Průtok - kanál č.1	41,513	l·min ⁻¹
Průtok - kanál č.2	13,245	l·min ⁻¹
Průtok - kanál č.3	49,078	l·min ⁻¹
Průtok - kanál č.4	1,1	l·min ⁻¹

Tabulka č. 13 Vyhodnocení simulace

5 Závěr

Správná funkčnost vstřikovacích forem ovlivňuje kvalitu výstřiku (výrobku), a proto jsou do jejich vývoje a následné výroby vynakládány značné finanční prostředky. Za pomoci softwarových simulačních programů je možné eliminovat množství chyb, které by vyplynuly na povrch až v dalších fázích životního cyklu vstřikovacího nástroje. Veškeré chyby výstřiku, které se vyskytují, ať už se jedná o studené spoje, spáleniny, nevyplněná místa formy, lunkry atd., nemusí být nutně způsobeny nevhodnou konstrukcí vstřikovacího nástroje, a proto jsou veškeré mechanické zásahy až tou poslední variantou řešení. V mnoha případech se jedná pouze o nevhodně nastavené technologické parametry či stav plastového granulátu, který se má tavit a následně vstřikovat.

V této diplomové práci jsem simulací v programu Cadmould došel k následujícím výsledkům:

- Teoretický ideální stav výstřiku je chlazení bez temperančních kanálů a ponechání jej ve formě co nejdelší dobu. Tím dosáhneme nejlepší kvality výstřiků. Z důvodu požadavku na co nejkratšího technologický čas je nutné chladit výstřik uvnitř vstřikovací formy temperančními kanály.
- Celkové deformace a smrštění spolu s rovinností lemu u výstřiku je možné korigovat změnou teploty vybraných temperančních kanálů. Konkrétně 1,674 [mm] u POM a 1,745 [mm] u PA. U materiálu POM lze také dosáhnout lepších hodnot rovinnosti lemu než u materiálu PA. Konkrétně 0,403 [mm] u POM a 1,649 [mm] u PA, s 90° pootočením deformace rovinnosti z důvodu rozdílně natočených skelných vláken u materiálu PA.
- Pohybovat se v doporučené provozní teplotě vstřikovací formy mezi 60 – 100 [°C], pro zachování nejlepší kvality výstřiku.
- Rozdílné chování neplněného POM (polyoxymetylén) materiálu a plněného PA materiálu při zachování totožné technologie vstřikování z důvodu nestejně orientovaných vláken ve výstřiku u materiálu PA.
- Sintrovat tvarovou dutinu je přínosné z hlediska lepšího odvodu tepla jak z tvarově jednoduchých, tak i tvarově složitých částí výstřiku.

V této diplomové práci jsem na základě simulací v programu AeroFlow došel k následujícím výsledkům:

- Aktivní prvky temperance a chlazení jsou lepší alternativou s ohledem na kvalitu, čímž je myšlena rovinnost výstřiku a celkové smrštění s deformacemi.
- Pohybovat se v doporučené provozní teplotě vstřikovací formy mezi 60 – 100 [°C].
- Doplnění temperančního sintrovaného okruhu do kritických oblastí, jak popisuje obrázek č. 67, tím se sníží celkový technologický čas.
- Dle obr. č. 63 a 64 je z důvodu lepšího odvodu tepla chladit tvárník aktivními prvky temperance než použít pasivní.

Sintrovat tvarovou dutinu je přínosné z hlediska lepšího odvodu tepla jak z tvarově jednoduchých, tak i tvarově složitých částí výstřiku.

6 Seznam použité literatury

[1] KRAHN, H., DIETER E. H., LAUTERBACH, T., VOGEL, H., 1000 Konstruktionsbeispiele für den Werkzeug- und Formenbau beim Spritzgießen. München: Hanser, Carl, 2007. ISBN 3446412433.

[2] HYNEK, M., MÜLLER, E., HELLER Š. *Temperance vstřikovacích forem*. [online]. Západočeská univerzita 2013 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://www.kks.zcu.cz/>

[3] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., *Strojírenská technologie 1*. 3. přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002. ISBN 80-7183-262-6.

[4] Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. Dostupné z: <http://www.ksp.vslib.cz/>

[5] TOMIS, F., *Gumárenská a plastikářská technologie: z`Zpracovatelské procesy*. Editační středisko VUT Brno, 1987.

[6] Sborník přednášek z celostátní konference FORMY '97 pro zpracování plastů. Brno 22-24.9. 1997. 200 s.

[7] DRBOHLAV, L., *Seminář plastů – vstřikovací nástroje*, 2005, 93s

[8] SKZ-KTT GmbH. Mould Tempering [online]. 2014. [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <https://www.skz.de/de/index.htm>

[9] ZEMAN, L., *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3, 248 s.

[10] ŘEHULKA Z., *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON, 2005. 226s. ISBN 80-86604-18-7

[11] *Dau* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.dau-at.com/?LNG=de>

[12] HYNEK, M., MÜLLER, E., HELLER Š. *Studené a živé vtokové systémy*. [online]. Západočeská univerzita 2013 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://www.kks.zcu.cz/>

[13] MÜLLER, A., Seminář SKZ: *Weiterqualifikation zum Werkzeugkonstrukteur für Kunststoff-Spritzgieß-Werkzeuge - Optimierte Werkzeugtemperierung*, 2015

[14] HYNEK, M., MÜLLER, E., HELLER Š. *Horké vtoky*. [online]. Západočeská univerzita 2013 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://www.kks.zcu.cz/>

[15] WESTHOFF, R., Seminář SKZ: *Conturfolgende Temperierkanalsysteme für eine, optimale Spritzgieß-Werkzeugtemperierung*, 2015

[16] *Husky Injection Molding Systems* [online]. Husky, 2017 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.husky.co/EN-US/>

