

Návrh vstřikovací formy pro část středového panelu

Bc. Ondřej Koblíha

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Koblíha**

Osobní číslo: **T15329**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro část středového panelu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukční návrh 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete sestavu vstřikovací formy ve 2D včetně kusovníku.
5. Návrh ověřte pomocí simulací.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný díl z plastu, který je součástí středového panelu automobilu.

Teoretická část práce obsahuje literární rešerši, která popisuje technologii vstřikování, materiály používané pro vstřikování a zásady pro konstruování vstřikovacích forem.

Praktická část práce obsahuje vytvoření 3D modelu vstřikovací formy pro zadaný díl. Pro tento model byla vytvořena výkresová dokumentace sestavy ve 2D s pozicemi a kusovníkem. Nakonec byla provedena analýza vstřikovacího procesu v programu Autodesk Moldflow.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, moldflow analýza

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the design of the injection mold for the plastic part, which is part of the center panel of the car.

The theoretical part of the thesis contains a literary research which describes the technology of injection moulding, materials used for injection molding and principles for injection mold design.

The practical part of the thesis includes the creation of a 3D model of the injection mold for given part. Drawing documentation of the assembly with positions and BOMs was created for this model. Finally, an analysis of the injection process in Autodesk Mold-flow was performed.

Keywords: Injection moulding, injection mold, moldflow analysis

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D za pomoc a čas, který mi věnoval během vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
IV TEORETICKÁ ČÁST	12
1 PLASTY POUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.1 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	13
1.2 VSTŘIKOVÁNÍ REAKTOPLASTŮ	14
1.3 VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ.....	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	15
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	18
2.2.1 Vstřikovací jednotka	18
2.2.2 Uzavírací jednotka	19
2.2.3 Řídící jednotka	20
2.2.4 Rozdělení vstřikovacích strojů.....	20
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	22
3.1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY PŘI NÁVRHU PLASTOVÝCH VÝROBKŮ.....	22
3.1.1 Úkosity	22
3.1.2 Zaoblení hran a rohů	23
3.1.3 Tloušťka stěn.....	23
3.1.4 Konstrukce žeber.....	24
3.1.5 Konstrukce úchyťů	25
3.1.6 Použití okrajů a obrub	26
3.1.7 Rýhování	26
3.1.8 Závity	27
3.1.9 Díry	27
3.1.10 Písmo, značení a textura.....	28
3.1.11 Zálisky, zástříky, inserty	28
3.2 DODATEČNÉ ÚPRAVY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	29
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	30
4.1 KONSTRUKCE FORMY	30
4.1.1 Postup při konstrukci formy.....	31
4.1.2 Smrštění výstřiku	32
4.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY	33
4.2.1 Studený vtokový systém	33
4.2.2 Vtoková vložka	35
4.2.3 Rozvodný kanál.....	36
4.2.4 Ústí vtoku	36
4.2.5 Horký vtokový systém	38
4.2.6 Horké trysky.....	39
4.2.7 Horké rozvodné bloky.....	40
4.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	41
4.3.1 Mechanický vyhazovací systém.....	41

4.3.2	Pneumatický vyhazovací systém.....	42
4.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	43
4.5	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	43
4.6	MATERIÁLY NA VÝROBU FOREM.....	44
v	PRAKTICKÁ ČÁST.....	46
5	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	47
6	POUŽITÉ APLIKACE.....	48
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	49
8	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	50
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	51
9.1	DĚLÍCÍ ROVINA.....	52
9.2	NÁSOBNOST FORMY.....	53
9.3	RÁM FORMY.....	53
9.4	TVAROVÉ VLOŽKY.....	54
9.5	POSUVNÁ JÁDRA.....	54
9.6	VTKOVÝ SYSTÉM.....	56
9.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	56
9.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	57
9.9	TRANSPORTNÍ SYSTÉM FORMY.....	58
10	CAE ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU.....	59
10.1	NASTAVENÍ ANALÝZY V PROGRAMU MOLDFLOW.....	59
10.2	UMÍSTĚNÍ VTOKU.....	60
10.2.1	Ukazatel odporu toku taveniny (Flow resistance indicator).....	60
10.2.2	Vhodnost umístění vtoku (Gate suitability).....	60
10.3	ANALÝZY PLNĚNÍ.....	61
10.3.1	Doba plnění (Fill time).....	61
10.3.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk).....	62
10.3.3	Čas potřebný k vyhození (Time to reach ejection temperature).....	63
10.3.4	Studené spoje (Weld lines).....	63
10.3.5	Vzduchové kapsy (Air traps).....	64
10.3.6	Uzavírací síla (Clamping force).....	65
10.4	ANALÝZY CHLAZENÍ.....	65
10.4.1	Teplota chladicího média (Circuit coolant temperature).....	65
10.4.2	Reynoldsovo Číslo (Circuit Reynolds temperature).....	66
10.4.3	Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).....	67
10.5	ANALÝZA SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE.....	67
10.5.1	Celková deformace (Deflection, all effects).....	67
11	DISKUZE VÝSLEDKU.....	69
	ZÁVĚR.....	70

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	71
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	75
SEZNAM TABULEK.....	77
SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

Historie polymerů sahá do druhé poloviny 19. století, k jejich rozšíření však došlo až po 2. Světové válce. Plasty díky jejich všestrannosti postupně začali nahrazovat původní materiály. V současné době využití plastů neustále stoupá a to zejména v automobilovém průmyslu.

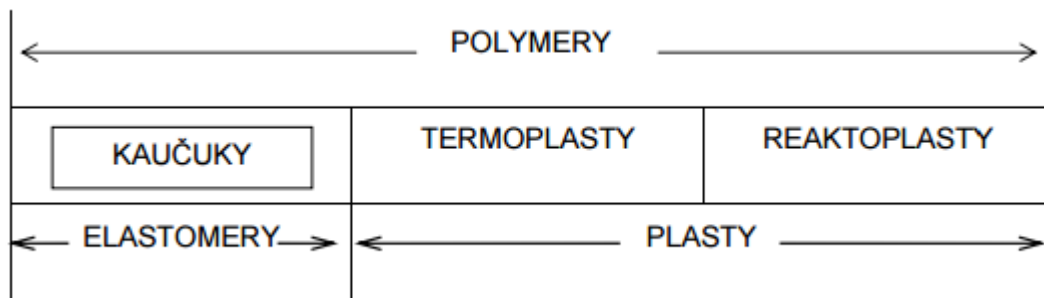
Plasty se zpracovávají mnoha způsoby vstřikováním, vytlačováním, vyfukováním, lisováním, atd. Proces vstřikování je nejpoužívanější a má mnoho výhod, jako rychlost výroby, tvarová rozmanitost, atd. Největší nevýhodou vstřikování je vysoká cena vstřikovací formy, proto se vstřikování používá především v sériové výrobě.

Při procesu vstřikování dochází k plnění dutiny formy taveninou polymeru. Po ztuhnutí polymeru následuje vyhození výstřiku z formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PLASTY POUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Polymer je makromolekula skládající se z jednotek až tisíců merů. Makromolekuly polymerů mají řetězcovou strukturu, kterou si můžeme představit jako dlouhý řetěz (polymer) lineárně seskládaný z velkého počtu článků (merů). Tyto makromolekuly mohou, ale také nemusí být rozvětveny. Polymery jsou děleny na plasty a elastomery, plasty jsou pak dále děleny na termoplasty a reaktoplasty. [14][15]



Obr. 1 Rozdělení polymerů [15]

1.1 Vstřikování termoplastů

Termoplasty jsou za pokojové teploty v tuhém stavu, po zahřátí nabudou stav tvárný až kapalný a lze je znovu tvarovat, ochlazením pak znovu ztuhnou. Tento postup lze opakovat, protože při zpracování termoplastů dochází pouze ke změnám fyzickým. Teplotní rozsah tání běžných termoplastů se pohybuje mezi 100 °C a 130 °C. Díky tomu patří termoplasty k dobře zpracovatelným materiálům.

Při vstřikování termoplastů polymer je zahřát nad teplotu tavení, tím je získán středně viskózní materiál, který je vstříknut přes vtokový systém do dutiny formy. Důležité je při plnění formy zajistit dostatečný tlak pro úplné zatečení polymeru. Následuje ochlazení v dutině formy, která je temperována pod teplotu tavení, čímž se zafixuje tvar vstřikovaného výrobku.

Příklady běžných termoplastů: polyethylen, polystyren, polymethylmethakrylát (plexisklo), polyvinylchlorid (PVC) nebo polyamidy (např. nylon, silon). [14] [25]

1.2 Vstřikování reaktoplastů

Reaktoplasty (dříve termosety) jsou polymery, které jsou za pokojové teploty měkké až tekuté, tuhého stavu nabývají až po vytvrzení, což je chemická reakce při které dojde k prostorovému zasíťování polymerních řetězců. K vytvrzování dochází díky zvýšené teplotě často také při zvýšeném tlaku nebo přidáním vytvrzovacích činidel. Vytvrzování reaktoplastů je nevratný děj.

Při vstřikování je reaktoplast v tekutém stavu vstříknut do dutiny formy, která je temperována na vytvrzovací teplotu (dle druhu reaktoplastu na 150 až 190 °C). Je důležité hlídat, aby nevznikly lokální zvýšení teploty, tím by mohlo dojít k degradaci vstřikované směsi. Následuje vytvrzení v dutině formy, k ochlazení výrobku dochází až po vyhození z dutiny formy.

Kromě rozdílu v technologii je i rozdíl v konstrukci šneku, který má potlačenu kompresní část, aby nedošlo k předčasnému vytvrzení. U konstrukce formy je důležité odzdušnění, protože při ohřevu reaktoplastů vznikají plyny. [14] [25]

1.3 Vstřikování elastomerů

Elastomery jsou polymery, které se skládají z amorfních materiálů a dalších přísad (např.: vulkanizační, ochranný a zpracovatelský systém). Elastomery se zpracovávají vulkanizací, což je chemická reakce, při které dojde k zasíťování (při vysokých teplotách) a vznikne guma. Elastomery mají vysokou hodnotu elastické deformace.

Při vstřikování se kaučuková směs plastifikuje ve šnekové plastifikační jednotce, při čemž je důležité, aby nedošlo k předčasné vulkanizaci. Plastifikovaný materiál je většinou dopraven do vstřikovacího válce, ze kterého se vstříkuje do dutiny vstřikovací formy. Forma je temperována na vulkanizační teplotu, která je vyšší než teplota vstřikované směsi, tím vzniká tečení materiálu na povrchové vrstvě, to klade podmínky na správnou konstrukci vtokového systému (šíře kanálu). Dutina formy musí být důkladně odzdušněna. Konstrukce vyhazovacího systému musí brát na zřetel velkou elasticitu a malou pevnost gumy. [8]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikováním lze vyrábět tenkostěnné i tlustostěnné, tvarově složité výrobky, polotovary nebo díly pro kompletaci celku z termoplastů reaktoplastů a pryže. Vstřikování je nejpoužívanější způsob zpracování plastů.

Materiál nejčastěji ve formě granulí či prášku je nasypán do násypky plastikační jednotky, ve které je změněn z pevného stavu do stavu tekutého. Roztavený plast je pak tryskou vysokým tlakem vstříknut do formy, kde se ochlazením zafixuje tvar výrobku. Vstřikování je diskontinuální cyklický způsob výroby.[14]

Na kvalitu a vlastností výrobku má vliv několik faktorů:

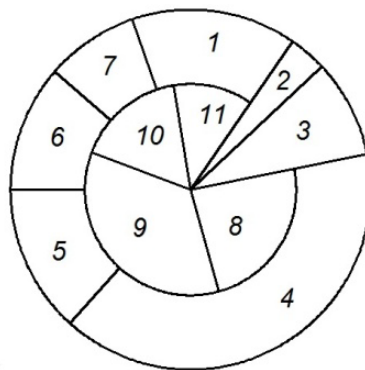
Polotovar – materiál použitý pro výrobu má velký vliv na výsledné vlastnosti výrobku

Parametry výrobního cyklu – nastavení podmínek přípravy taveniny a její distribuce do dutiny formy

Nástroj – udává tvar a kvalitu povrchu výrobku

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je přesně daný postup operací (fází) tvořící práci stroje při výrobě vstřikovaného dílu. Vstřikovací cyklus je proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Vstřikovací cyklus tak můžeme popsat časovou závislostí tlaku, nebo v p-v-T diagramu.



Obr. 2 Vstřikovací cyklus [5]

1 - uzavření formy, 2- vstříknutí, 3- dotlak, 4 - chlazení, 5- otevření formy, 6- vyprázdnění formy, 7- příprava formy, 8- odjezd plastikační jednotky, 9 - plastikace , 10- prodleva, 11 - příjezd plastikační jednotky

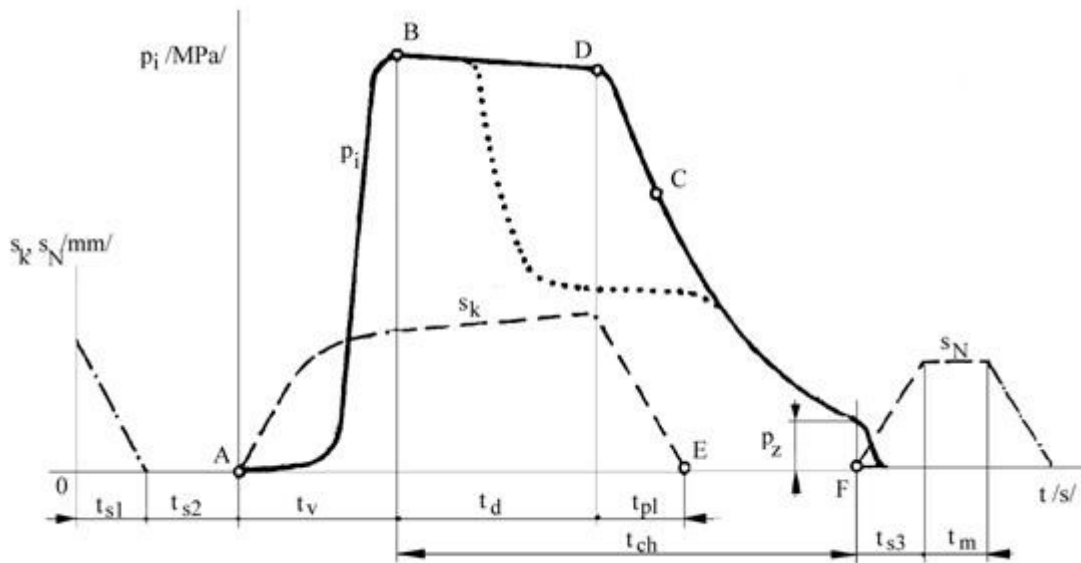
Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne, musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu.

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. Během chladnutí se polymer smršťuje a zmenšuje svůj objem, aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy.

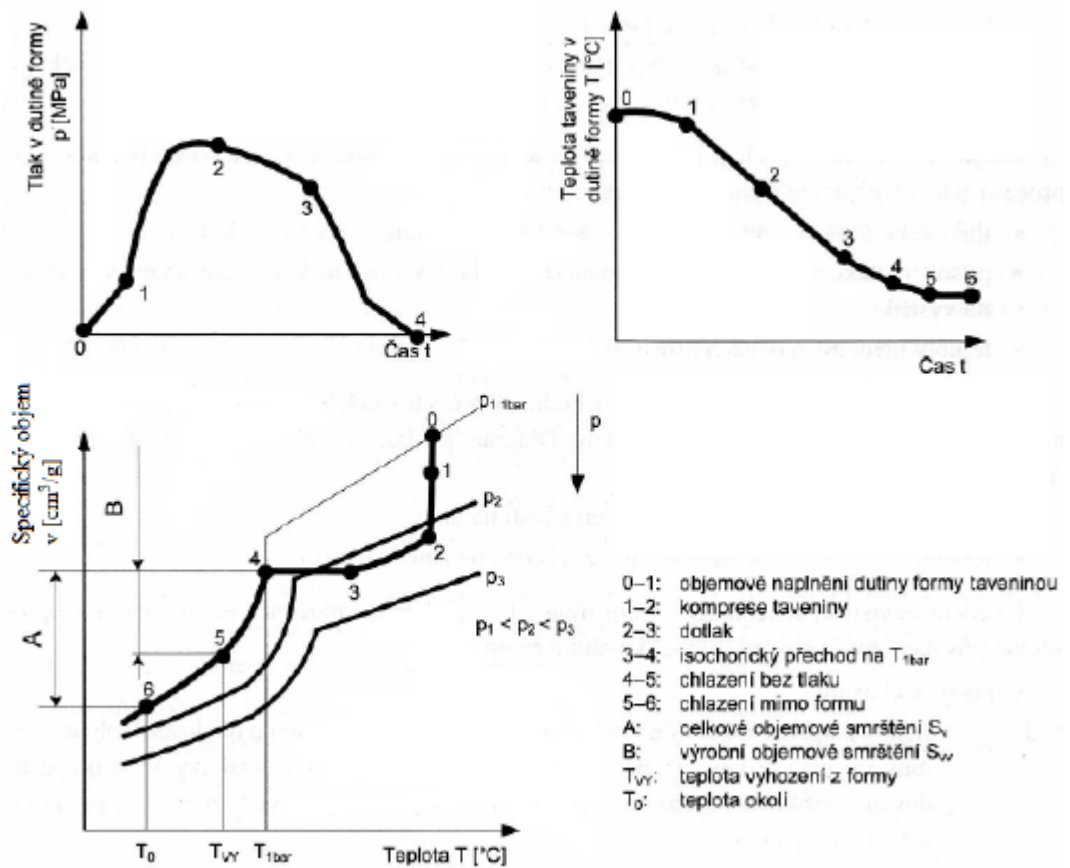
Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu - polštář, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být moc velký (obvykle kolem 10 až 15 %, méně než jednonásobek průměru šneku D), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty.

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo. Dále může anebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy.

Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku, což je tlak, pod nímž se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku nebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém zchladnutí výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. [1][4]



Obr. 3 Průběh vnitřního tlaku p v dutině formy během procesu vstřikování [14]



Obr. 4 p - v - T diagram semikrystalického polymeru [1]

2.2 Vstřikovací stroj

Existuje mnoho konstrukčních řešení vstřikovacího stroje, v podstatě se však všechny skládají ze tří částí tj. vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky. [16]

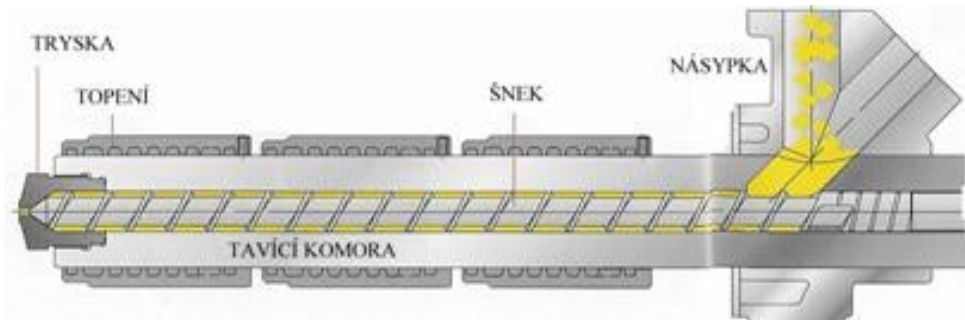


Obr. 5 Vstřikovací stroj [16]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Plní dva hlavní úkoly: přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. První vstřikovací jednotky, které byly použity pro vstřikování plastů již na konci minulého století, byly jednotky pístové. Jejich princip byl převzat z lití roztavených kovů pod tlakem. Udržely se až do poloviny 20. století, kdy byly postupně zcela vytlačeny jednotkami šnekovými.

Činnost šnekového stroje je následující: Při plastikaci se šnek otáčí a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavicí komory, kde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku a šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplasticování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Jelikož plastikace nové dávky plastu může probíhat ještě ve fázi chlazení výstřiku ve formě, je výrobní cyklus kratší oproti pístovým strojům. K dalším přednostem patří jednoduché dávkování, možnost hmotu dodatečně barvit a plnit plnivý nebo přidávat další přísady až při zpracování [14]

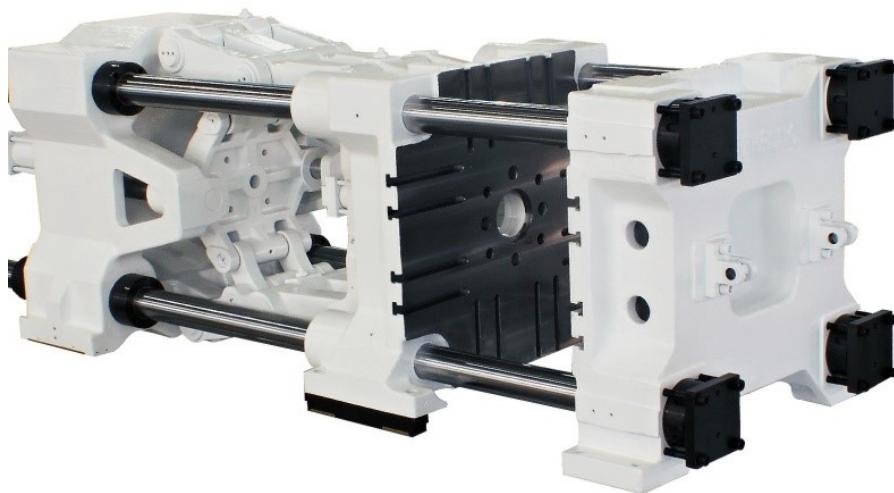


Obr. 6 Řez vstříkovací jednotkou [14]

2.2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstříkování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela.

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstříkovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Vstříkovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanické způsobu (závorování) a v poslední době se používají i elektrické systémy.[14]



Obr. 7 uzavírací jednotka [26]

2.2.3 Řídící jednotka

U moderních strojů vstřikovací cyklus probíhá automaticky či poloautomaticky čímž se zvyšuje produktivita práce. Koncepce současných vstřikovacích strojů se neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo textové formy nastavování technologických parametrů se využívá grafické formy řízení pracovního cyklu na dotykovém displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Pracovní cyklus sestavený do potřebných programových sekvencí je pak snadno kontrolovatelný a případně i upravitelný. [14]

2.2.4 Rozdělení vstřikovacích strojů

Většina všech vstřikovacích strojů na plasty jsou hydraulické. Elektromotorem řízená čerpadla hydraulického oleje dodávají toto médium při požadovaném tlaku a množství do hydraulických válců a hydromotorů. Přenos energie kapalinou je v dnešní době velmi dobře zvládnutý a bezproblémový. Rozvoj řízených elektrických pohonů v posledních letech umožnil koncepční změnu, využití elektrických pohonů i v rámci vstřikovacích strojů. [14]

Hydraulické stroje

Základem je hydraulický obvod s regulací tlaku a objemovým průtokem (tzv. čerpadla s p-Q regulací). Tím je zaručené plynulé ovládání vstřikovacího procesu. Nastavení polohy šneku oboustranným pístem, umožní zvýšení přesnosti vstřikovacího procesu v rámci ovládání rychlosti posuvu šneku. Rozpětí uzavírací síly lisu je závislé na výrobci pohybuje se v rozmezí 125 až 6000 kN. Hydraulický systém je závislý na účelu použití. Na základě toho jsou dostupné jednookruhové čerpadla pro sériové sekvence nebo dvouokruhové pro souběžné pojezdové pohyby.

Elektrické stroje

Odpadá problém s hydraulickým hospodářstvím a nižší ekologické zatížení. Snížení hlučnosti. Zvýšení rychlosti upínací pohyblivé desky oproti hydraulickému pohonu. Efektivnější využití energie (využívání rekuperace energie při brždění). Rotační pohyb motoru je využit na otáčení rotačních částí (šnek) a lineární pohyb pohyblivé upínací desky je vykonáván kuličkovým šroubem.

Výhody:

- Energetická úspora okolo 20 – 30%
- Zvýšená přesnost u výrobků s krátkými pracovními cykly

– Elektrické pohony pracují nezávisle a jejich činnost je provedena během pohybu stroje
Nevýhody:

- Vyšší spotřeba elektrické energie, zvýšení provozních nákladů
- Horší aplikace pro tlustostěnné výrobky a více násobné formy
- Vyšší nároky na údržbu a servis.
- Zvýšené nároky na kuličkové šrouby

Hybridní stroje

Tyto stroje se používají pro kvalitnější výrobu termoplastů. Spojením elektrického pohonu se zvyšuje rychlost a přesnost celého vstřikovacího procesu. Hydraulický pohon přináší vyšší uzavírací síly a zlepšenou dynamiku vstřikovacího procesu. Především nastává kombinace výhod elektrického a hydraulického zařízení a celkově se tak zvedá účinnost výrobní technologie. [14]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Návrh nového výrobku nese značné finanční riziko pro firmu či konstruktéra, je proto nutné před započítáním práce zvážit několik konstrukčních problémů. Mezi klíčové konstrukční principy, které musí konstruktér zvážit, patří tloušťka výlisku, úkosy, tvar a tloušťka žeber, zaoblení a další. Přestože konstruktér nezná v tuto chvíli přesný dopad na výrobu, musí tyto parametry definovat před zajištěním nástroje do materiálu, dokud jsou náklady na změny minimální. Rychlý vývoj moderních 3D CAD systémů způsobil evoluční krok v návrhu produktů, jehož výsledkem jsou organičtější formy se vzrůstající složitostí.

3.1 Konstrukční zásady při návrhu plastových výrobků

Při konstrukčním návrhu součástí z plastu se konstruktér musí řídit zásadami danými pro materiál budoucího výrobku (smrštění, pevnost, zatékavost, ...). Pro realizaci plastových dílů jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by neměly být překročeny. [17][18]

3.1.1 Úkosy

Úkosový úhel je důležitým technologickým parametrem, který umožňuje bez problémů vytáhnout výlisek z dutiny formy. Vysoký tlak vstřikovaného materiálu a jeho následné smrštění často způsobují obtíže při vyjímání dílu z formy. Je sice možné zaformovat díl s nulovým úkosem (nebo dokonce záporným úkosem) za využití čelistí, vyhazovačů nebo dvoustupňového vyhazování, ale všechny tyto postupy výrazně zvyšují složitost a cenu formy.

Obecně platí, že tenkostěnné díly pod vysokým tlakem vstřikování potřebují větší úkos. Materiál je v tomto případě do dutiny více vtlačen. Proto díly, které nejsou vstřikovány pod vysokým tlakem, mohou mít menší úkos. [17][18]

Tab. 1 Doporučené velikosti úkosů [1]

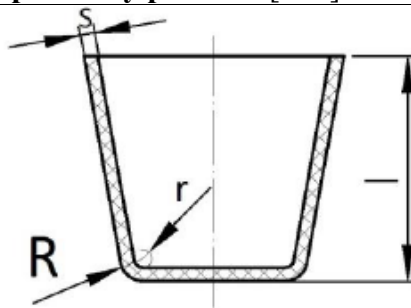
Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Otvory do hloubky 2 D	30' ÷ 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°
Žebra, nálitky	1° ÷ 10° (3°)
Výstupky	2° ÷ 10°

3.1.2 Zaoblení hran a rohů

Velké množství plastových vylisků má problémy v důsledku ostrých rohů a nedostatečných poloměrů zaoblení. Ostré rohy vytváří místní vnitřní pnutí, důsledkem čehož může být popraskání a předčasný rozpad plastového dílu. Přidání zaoblení na všechny ostré rohy nejenom sníží vnitřní pnutí, ale zlepší také tečení materiálu. Čím větší je rádius zaoblení, tím snadnější je tok taveniny. Vnější rádius stěny bývá větší než vnitřní rádius, takže tloušťka stěny je v celém zaoblení stejná. Minimální rádius zaoblení má být asi čtvrtina tloušťky stěny. [17][18]

Tab. 2 Zaoblení hran a rohů [27]

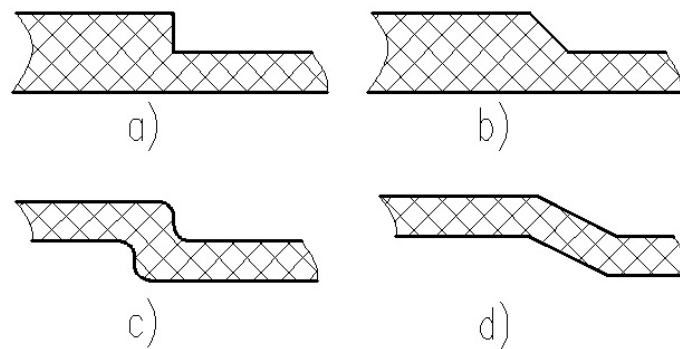
Minimální poloměr [mm]			Doporučený poloměr [mm]	
Plast	r	R	l	r
Plněné PA, PC	1,5	r + s	>50	1,6
			50-100	2,5
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6-1	r + s	100-150	4
			150-200	5
			200-250	6
PE, PP, PPO, POM, PETP, PA, ABS	0,5	r + s	250-300	8
			300-400	12
			400-500	20



3.1.3 Tloušťka stěn

Po celou dobu konstrukce se konstruktéři musí snažit udržet stejnou tloušťku stěn na celém modelu. Jakákoliv větší nerovnoměrnost může způsobit problémy typu vnitřních vzduchových kapes, propady povrchu, nepředvídatelná smrštění a v neposlední řadě prodloužení celého cyklu.

Zjednodušeně platí, čím menší tloušťka stěny výrobku, tím menší možnost vzniku povrchových propadlin, vnitřních staženin a působí menší smrštění. Minimální přípustná tloušťka je určena tuhostí, pevností a rozměrností výrobku. [17][18]

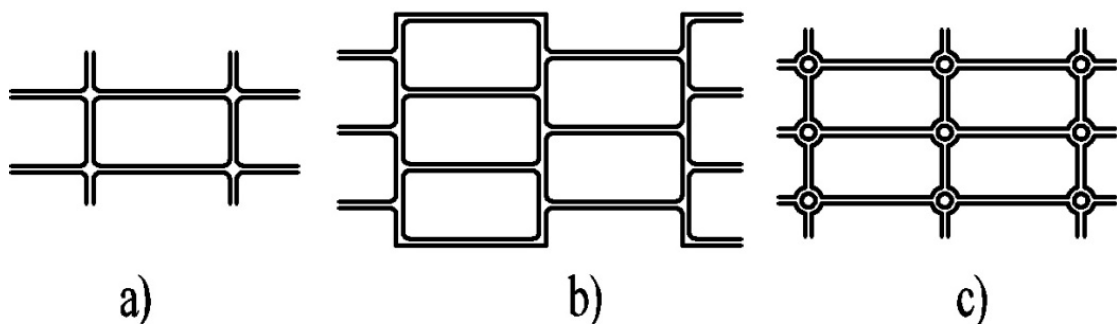


Obr. 8 Příklady přechodů tloušťky stěn a) nevhodné, b) lepší, c,d) vhodné [27]

Je-li změna tloušťky nezbytná, měla by být plynulá, aby umožňovala hladký průtok materiálu bez vytváření míst s vnitřním pnutím, které mohou způsobit rozpad dílu a to buď během testování a vynutit si nový návrh dílu nebo přímo při vstřikování plastu a vyvolat další náklady na úpravu formy.

3.1.4 Konstrukce žeber

Žebra se dělí na dva druhy, které se používají na vstřikovaných dílech. Žebra, které zabezpečují pevnost a tuhost součásti tzv. technická žebra. Žebra, které umožňují optimální plnění dutiny formy, nebo brání předpokládanému vzniku vad na výrobku nebo zabraňují zborcení stěny výrobku, jsou tzv. technologická žebra. Žebra jsou v první řadě použita k tomu, aby zvýšila tuhost specifické oblasti na výrobku a nemělo by docházet ke kompromisům z důvodu estetiky vylisku. Konstrukteři obvykle při jejich návrhu postupují podle standardních metod. Je-li to možné, nemělo by docházet ke kombinaci tlustých a tenkých žeber. [17][18]



Obr. 9 Příklady žeber: a,c) technologická, b) technická [27]

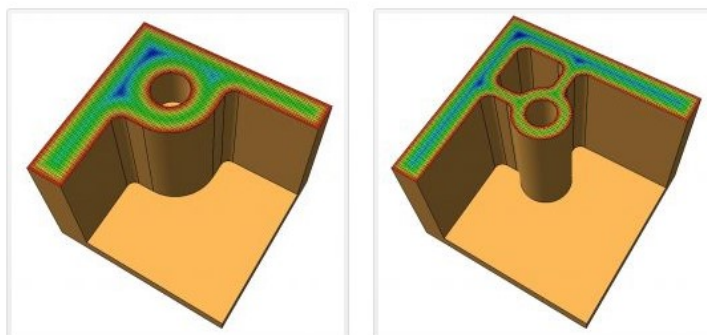
Zásady pro konstrukci žeber:

- Tloušťka žeber by měla být mezi 60% - 80% tloušťky stěny.
- Maximální výška žebra by neměla být větší než 3 násobek tloušťky stěny. Pro zvýšení pevnosti je lepší zvýšit počet žeber nežli zvětšovat jejich výšku.
- Minimální vzdálenost mezi žebry by měla být dvojnásobkem nominální tloušťky stěny.
- Poloměr zaoblení hran žeber by neměl být větší než 50% tloušťky žebra.
- Extrémně tlustá žebra by měla být odstraněna.
- Jako nejvhodnější se jeví křížení žeber (pokud to design dovoluje), protože poskytuje větší stabilitu a umožňuje rovnoměrné rozložení napětí.

3.1.5 Konstrukce úchytů

Úchyty jsou jednou ze základních komponent při návrhu plastového dílu. Jednak zvyšují pevnostní kvalitu plastu a také slouží jako spojovací element při tvorbě sestavy. Podobně jako u žeber, i u konstrukce úchytů je třeba zvažovat tloušťku jejich stěn. Následující pravidla pomáhají se vyhnout povrchovým nedokonalostem, jako jsou vnitřní kapsy, známky poklesu povrchu a nepředvídatelná smrštění. [17][18]

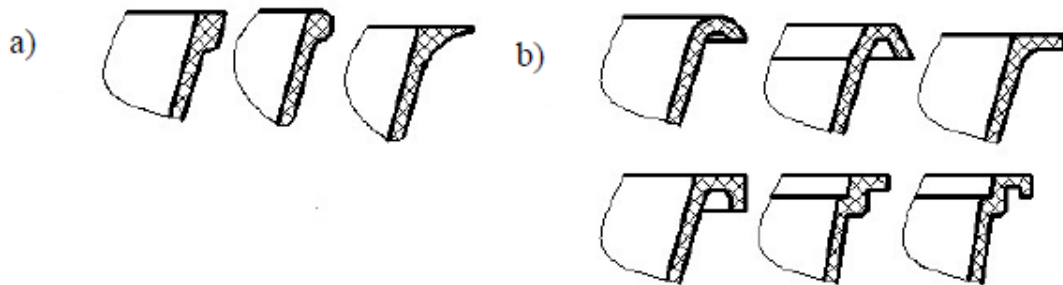
- Tloušťka úchytu by měla být 60% nominální tloušťky stěny. Je-li tloušťka stěny dílu větší než 4 mm, tloušťka úchytu by neměla přesáhnout 40% této nominální tloušťky.
- Výška úchytu by neměla být větší než je 2,5 násobek průměru díry úchytu.
- Úchyty v rozích, včleněné do stěn, způsobí zhutnění materiálu.
- Vysoké můstky úchytů pomáhají tečení materiálu a odvodu vzduchu a snižují pravděpodobnost vzniku vzduchových kapes.



Obr. 10 Příklady konstrukce úchytů nevhodný vlevo, vhodný vpravo [17]

3.1.6 Použití okrajů a obrub

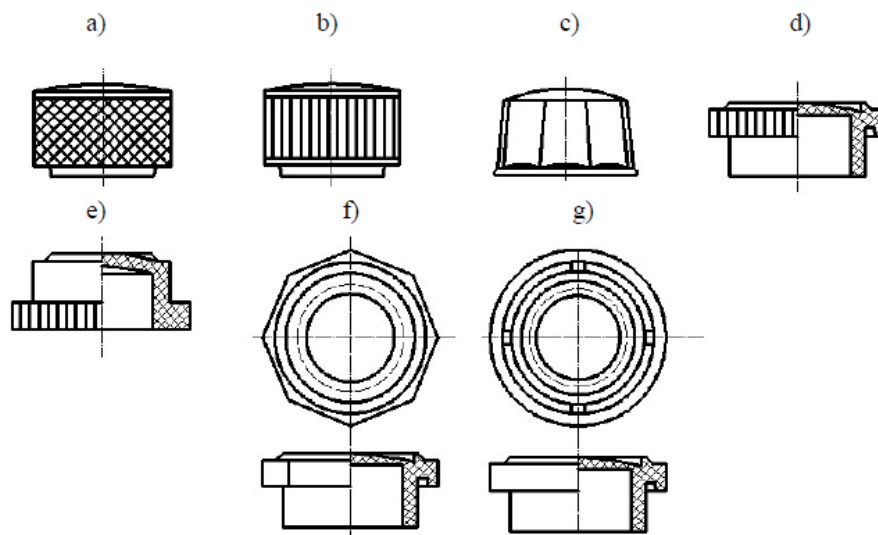
Okraje a obruby umístěné do dělicí roviny se vyznačují malou tuhostí, proto se tato část výrobku často vyztužuje. Okraje a obruby zvyšují pevnost a tuhost tenkostěnných výrobků.



Obr. 11 Příklady okrajů a obrub a) nevhodné, b) vhodné [27]

3.1.7 Rýhování

Rýhování se používá u různých držáků a ovládacích prvků, které má za úkol usnadnit manipulaci s daným držákem. Rýhování má být lehce zaformovatelné. Křížové rýhování (Obr. 12a) činí při vyhazování velké potíže. Proto se používá podélného rýhování s různým osazením a kuželovými stěnami.



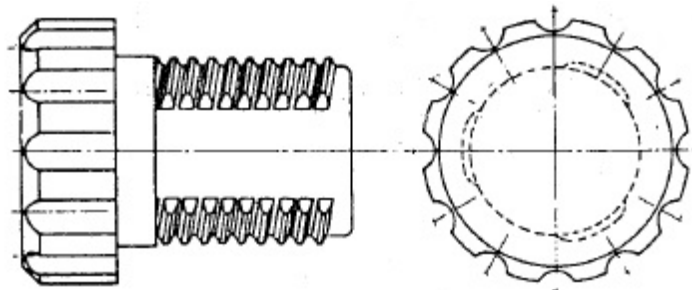
Obr. 12 Příklady rýhování [27]

3.1.8 Závity

Pokud je potřeba dají se závity vyrábět přímo ve formě. Odpadá tím dodatečné obrábění, avšak ve většině případů na úkor složitější formy. Důležitým prvkem je tvar závitu, z hlediska pevnostního a výrobně vhodnější se osvědčily tvar oblý, pilový, trapézový a podobné tvary. Jako nejvhodnější z hlediska výroby se jeví přerušovaný závit.

Vnější závity jdou vyrobit dvěma způsoby. Finančně nejméně náročné je proložit osu závitu dělicí rovinou, pokud toto není možné nebo osa závitu leží ve směru otevření formy je potřeba formu vybavit vnějším vytáčecím zařízením.

Vnitřní závity jsou vyráběny vnitřním vytáčecím zařízením, skládacími jádry nebo ročně vkládanými inserty, které jsou z formy vyhazovány zároveň s výrobkem.



Obr. 13 Šroub s přerušovaným závitem [1]

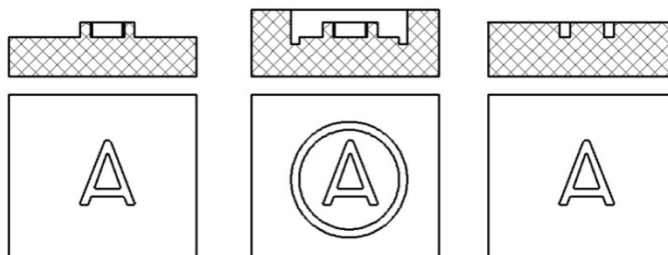
3.1.9 Díry

Díry jsou jednoduše vyrobitelné kolíky. Průchozí díry jsou jednodušší k zaformování, protože kolíky mají podporu na obou stranách. U děr neprůchozích může dojít k ohybu kolíku vlivem proudění taveniny, proto se doporučují neprůchozí díry hluboké maximálně dvojnásobek průměru.

Dalším problémem při navrhování děr je vznik studených spojů, ty vznikají při obtékání kolíku taveninou. Dále si musíme dávat pozor na otvory s osou kolmou ke směru otevírání formy, ty musí být opatřeny zásuvnými kolíky nebo bočním odformováním. [18]

3.1.10 Písmo, značení a textura

Pro potřeby výroby nebo pro koncového zákazníka může být na plochy formy přidáno písmo, značení nebo textura, ať už z hlediska informačního nebo designového. Hloubka těchto prvků je však limitovaná. Při větších hloubkách je nutno zajistit zkosení, aby se dal výrobek odformovat, nebo aby se při odformování nepoškodil. [17]



Obr. 14 způsoby značení [27]

3.1.11 Zálisky, zástříky, inserty

Zástříky s kovových materiálů tam kde je potřeba časté spojování a rozebírání bez poškození závitu, nebo kde je potřeba zajistit vedení elektřiny. Protože použití insertů má své nevýhody, zvláště při automatizaci výroby (nutnost vkládání insertů ručně nebo pomocí robotů), doporučuje se jejich použití, pouze pokud je to z funkčního hlediska nutné. Kolem zástříků také může docházet k praskání v důsledku rozdílné tepelné roztažnosti kovových a plastových materiálů. [18]



Obr. 15 Insert se závitem [19]

3.2 Dodatečné úpravy vstříkovaných výrobků

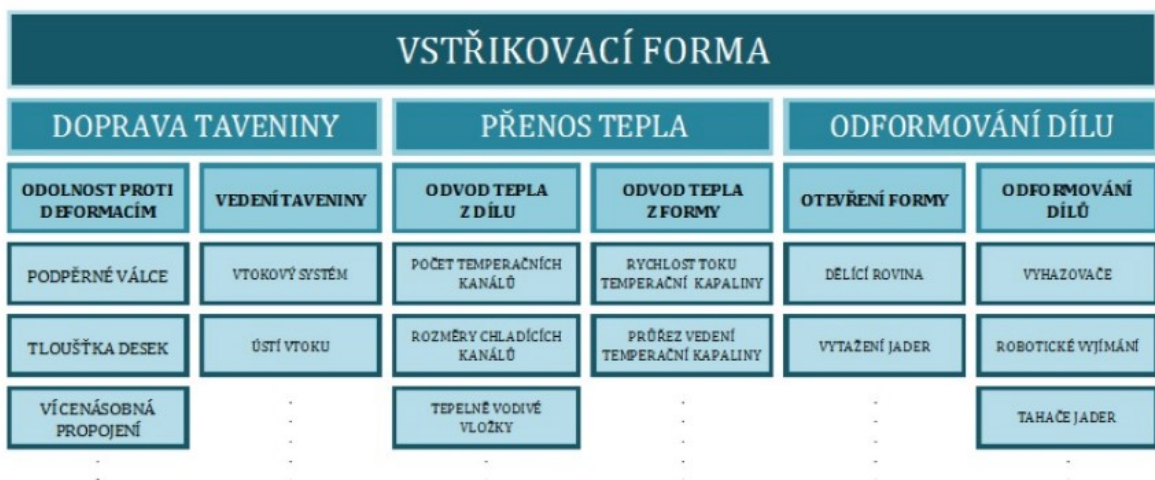
Vyrobený výstřík je charakterizován svými vlastnostmi, tvarem, rozměry a jakostí ploch. Charakter výrobků vyráběných technologií vstříkování je buď hotový výrobek, nebo polotovár určený pro další operace. Ne vždy musí být splněny všechny složky v požadovaném tolerančním poli. Potom je třeba výstřík opravit nebo dokončit.

Příklady dodatečných úprav:

- obrábění – nedodržení rozměrů, zvýšená přesnost výrobku, boční otvory, vyřezávání malých závitů,
- barvení, potisk – barva plastu je dána použitým materiálem popř. přidaným pigmentem, pokud se vyžaduje jiná barevná, nebo speciální úprava, je třeba tuto operaci provést již na hotovém výrobku,
- montáž - kompletace sestavy z plastových i neplastových dílů,
- svařování, lepení - svařování jednotlivých dílů vyrobených z termoplastu, poté následuje zkouška kvality sváru,
- temperování – tepelné zpracování pro zlepšení vlastností, nebo stabilizaci rozměrů. Provádí se za zvýšené teploty 30 - 40°C,
- kondicionování – tepelné zpracování silně navlhavých plastů ve vodě. Dochází ke zvýšení houževnatosti a ustálení rozměrů. Používá se i jako přípravná operace pro polymerní vzorky, které budou podrobeny nějaké zkoušce. [1]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj upnutý ve vstřikovacím stroji, jejím primárním úkolem je rozvod taveniny do dutiny formy a její úplné zaplnění. Sekundárním úkolem je odvod tepla z taveniny a tedy zatuhnutí polymeru. Terciální funkcí je dostatečně rychlé vyhození výrobku, aby bylo možné zajistit rychle opakování vstřikovacího cyklu. Forma musí dále plnit funkce podružné těmto třem hlavním (Obr. 16). Tyto vedlejší funkce mohou dále generovat další požadavky na vstřikovací formu zejména v případě speciálních modifikací vstřikovacího procesu. [17]



Obr. 16 Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [17]

Z obr. 16 je zřejmé, že některé funkce formy jsou v rozporu, například vyhazovače mohou překážet temperačním kanálům. Výsledná forma tedy musí být kompromisem mezi jejími funkcemi.

4.1 Konstrukce formy

Konstrukční koncepce a uspořádání formy a také způsob výroby závisí na účelu a požadavcích, které má forma splňovat. Životnost formy je dána volbou materiálu a tepelným zpracováním funkčních částí jako je tvárník, tvárnice atd. [1]

Materiál volíme s ohledem na:

- druh zpracovávaného plastu, - použité technologii,
- velikosti výrobku a jeho složitosti,
- velikosti série,

- tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi,
- ceně atd.

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

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

Vstřikovací forma se skládá z mnoha dílů. Jednotlivé díly lze rozdělit do několika kategorií. Jsou to díly:

- vymežující tvarovou dutinu,
- temperovacího systému,
- vtokového systému,
- upínací a vodící elementy.

4.1.1 Postup při konstrukci formy

Podle podkladů, které konstruktér formy obdrží (výkresu součásti, násobnosti formy, zvoleného stroje, konstrukčního návrhu a další doplňkové údaje) následují tyto kroky:

- s ohledem na umístění vtoku a způsobu zaformování, posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a vhodného zaformování určit, případně upřesnit tvar a umístění dělicí plochy tak, aby byla co nejjednodušší kvůli výrobě a aby procházela hranami výstřiku (kvůli funkčním a vzhledovým vadám),
- s ohledem na smrštění, výrobní toleranci a opotřebení dutiny stanovit rozměry tvarových dutin a jejich uspořádání. Velikost výrobní tolerance dutiny formy se volí 20% ze smrštění. Opotřebení dutiny je velmi malé, proto ho lze většinou zanedbat. Výjimkou je výroba přesných výstřiků ve velkých sériích.
- zvolení vhodné konstrukce temperovacího a vyhazovacího systému a způsobu odvodu vzdušnění,

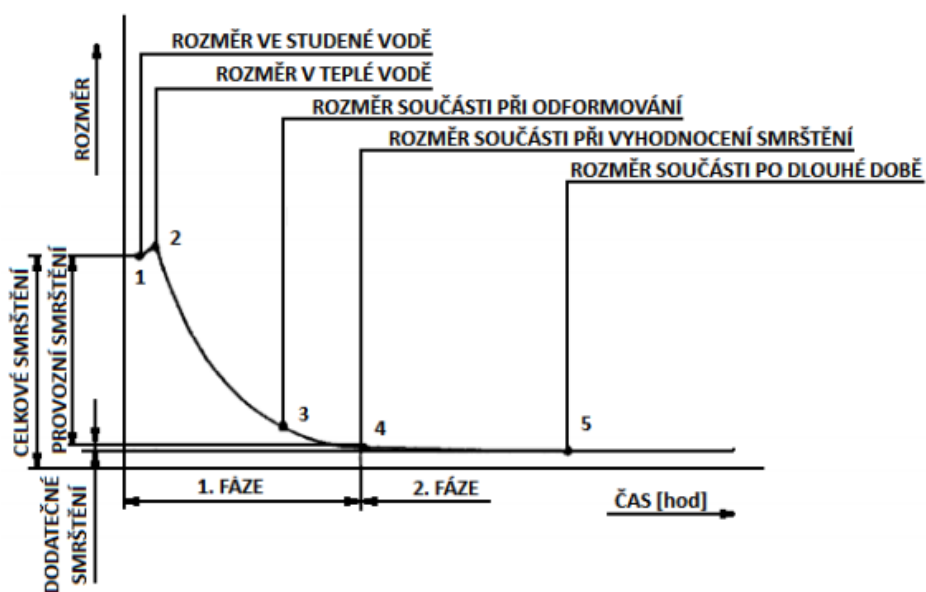
- určení vhodného materiálu na rám formy a ostatní díly s ohledem na zatížení a technologické podmínky vstřikování,
- zvolení vhodného druhu vystředění a upnutí formy na stroji,
- kontrola funkčních parametrů formy s ohledem na určený vstřikovací stroj.

Konstrukce formy se řídí nejen funkčními a výrobními požadavky, ale také ekonomikou a termínem dodání. Proto se dají použít i různá příslušenství, která splní všechny tyto podmínky. Jsou to např. typizované rámy forem, vyhřívané trysky, robotizace při vstřikování a další zařízení.[17]

4.1.2 Smrštění výstřiku

Smrštění se projevuje hlavně v průběhu tuhnutí taveniny polymeru a v čase bezprostředně následujícím po vyjmutí výstřiku z formy. Rozeznáváme přitom tzv. výrobní smrštění a dodatečné smrštění. Smrštění polymerního výstřiku není při vstřikování materiálovou konstantou, ale je také závislé na technologickém režimu výroby a jeho geometrickém tvaru.

Od jeho velikosti se odvíjí konstrukce formy (vtoková soustava, temperace formy apod.). Její stanovení je velmi obtížné, proto se využívá tabulek, ve kterých je pro jednotlivé druhy plastů smrštění již vypočítané. Stanovení smrštění z těchto tabulek však není vždy dostačující. U přesných výstřiků je třeba dutinu formy dimenzovat tak, aby jí bylo možné v případě nutnosti opravit (tvárník vyrobit větší, tvárnici menší). [33]



Obr. 17 Průběh smrštění výstřiku [27]

4.2 Vtokové systémy

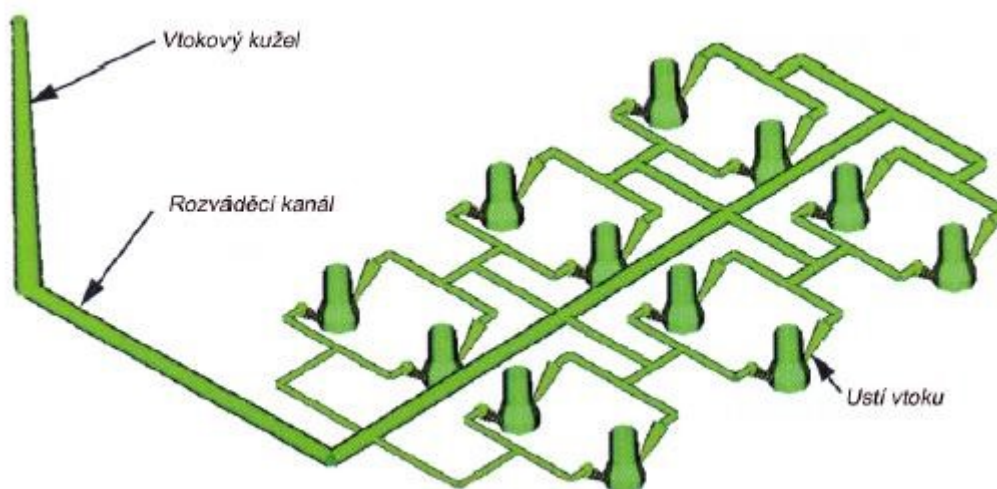
Vtokový systém je systém rozváděcích kanálů a ústí vtoků spojující otvor v trysce vstřikovacího stroje s tvarovou dutinou formy. Musí zajišťovat správné rovnoměrné naplnění dutiny formy, snadné odtržení, nebo oddělení od výstříku, snadné vyhození vtokového zbytku a objem vtokové soustavy omezit na minimum.

Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčního provedení výstříku, materiálu plastu a také podle toho, zda bude konstruována jako studený, nebo horký systém.

Konstrukce vtokové soustavy určuje společně s technologickými parametry tokové poměry při plnění formy a je tak důležitým článkem z hlediska kvality výstříku. [29]

4.2.1 Studený vtokový systém

Při vstříknutí taveniny plastu do studeného vtokového systému začíná tavenina okamžitě na jeho stěnách tuhnut. Vytvoří se tak izolační vrstva ztuhlého plastu a tavenina proudí horkým jádrem. Z tohoto důvodu je důležité odstupňování velikosti rozváděcích kanálů, při jejich větší délce u mnohonásobných forem. Tím se zajistí rovnoměrné zaplnění všech dutin. Tavenina vstupuje do dutiny přes vtokové ústí, které může být řešeno několika způsoby dle konstrukce formy a vstřikovaného dílu. Po zaplnění dutin nastává dotlak. Při dotlaku je, pomocí udržování taveniny pod definovaným tlakem, do dutiny doplňována tavenina, nahrazující ztrátu objemu způsobenou smrštěním chladnoucího plastu. Tím je omezeno objemové smrštění vylisku, omezeny propady, viditelnost propadů apod. [29]



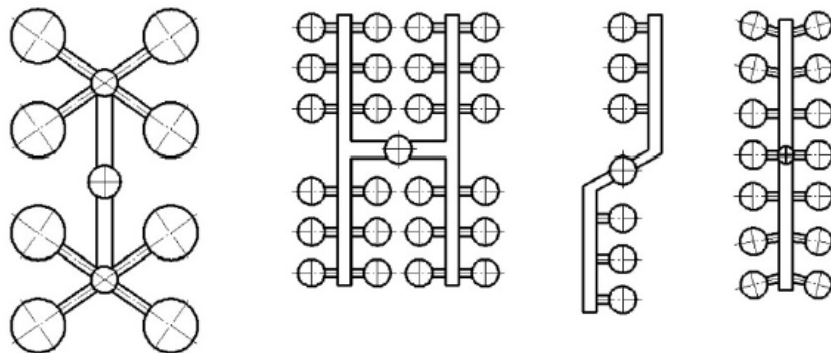
Obr. 18 Vtoková soustava[30]

Výhody studených vtokových systémů:

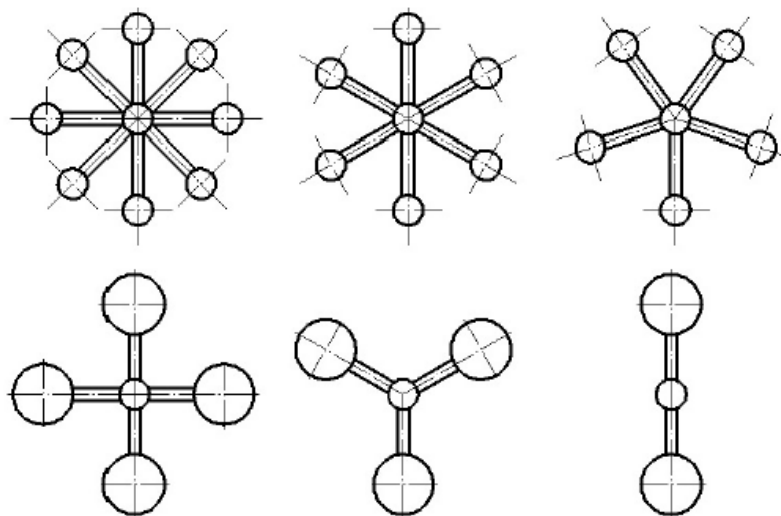
- levnější a jednodušší provedení formy než jsou horké vtoky
- komponenty (vtoková vložka) jsou dodávány jako normálie (standardizované díly)
- nepotřebují energetické připojení
- jednoduché provedení vícenásobné formy

Nevýhody studených vtokových systémů:

- větší spotřeba plastu než u horkého vtoku (zbytek vtoku)
- zajistit oddělování zbytků vtokového systému
- nutnost přidržování (po otevření formy musí vtokový zbytek zůstat na pohyblivé části formy) a vyhazování vtokového zbytku.



Obr. 19 Řadové uspořádání u vícenásobných forem [27]



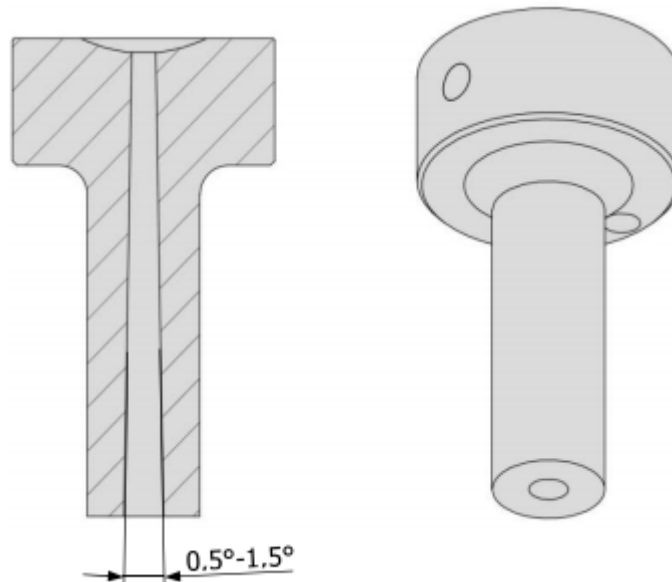
Obr. 20 Symetrické uspořádání u vícenásobných forem [27]

4.2.2 Vtoková vložka

Do hlavního vtokového kanálu je vstřikována tavenina plastu přímo z trysky stroje. Tryska stroje je centrována středícím kroužkem na vtokovou vložku formy, do níž je vyroben hlavní vtokový kanál.

Průměr v nejužším místě hlavního vtokového kanálu je o 0,5 až 1 mm větší než průměr trysky stroje. Pro dosažení správné funkce je vtokový kanál rozšiřován pod úhlem $0,5^\circ$ až $1,5^\circ$ směrem k dělicí rovině, aby bylo možné jednoduše zajistit vyhození zbytku vtoku. Vtokový kanál může ústít buď přímo do dutiny formy, nebo do rozváděcího kanálu. Průměr na konci hlavního vtokového kanálu je závislý na velikosti vstřikovaného dílu nebo na průměru rozváděcích kanálů.

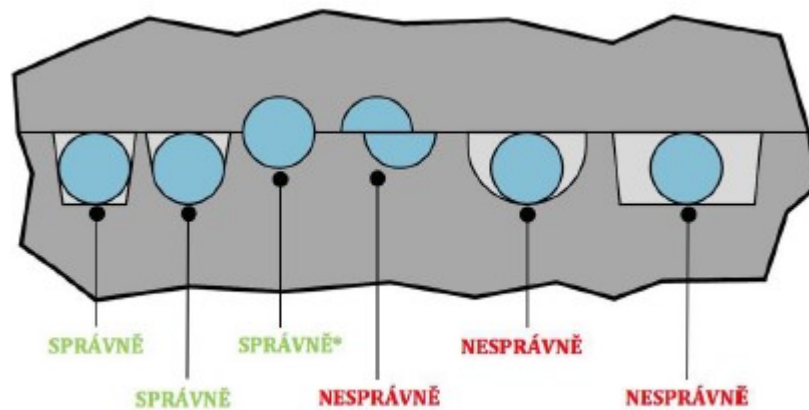
Vtoková vložka je dodávána jako normálie. Vtoková vložka je tepelně a mechanicky namáhána, výrobci ji proto vyrábí z houževnatého materiálu s tepelným zpracováním. Dle jednotlivých dodavatelů normálií pro vstřikovací formy se vtoková tryska dodává z materiálů 1.2823, 1.2826. Na vtokové vložce jsou předpřipravené otvory pro ustavení ve správné poloze ve formě pomocí kolíků. [1] [29]



Obr. 21 Vtoková vložka [29]

4.2.3 Rozvodný kanál

Rozvodné kanály zajišťují dopravu taveniny od vtokového kanálu k ústí vtoku. Rozvodné kanály mají velký vliv na kvalitu výstřiku a ekonomickou stránku vstřikovacího procesu. Průřez rozvodných kanálů nesmí být moc malý, protože by došlo k nárůstu tlaků, zároveň však nesmí být moc velký z důvodu ekonomičnosti výroby. Proto je výsledný návrh kompromis mezi snadným plněním dutiny a objemem rozvodného kanálu.[35]



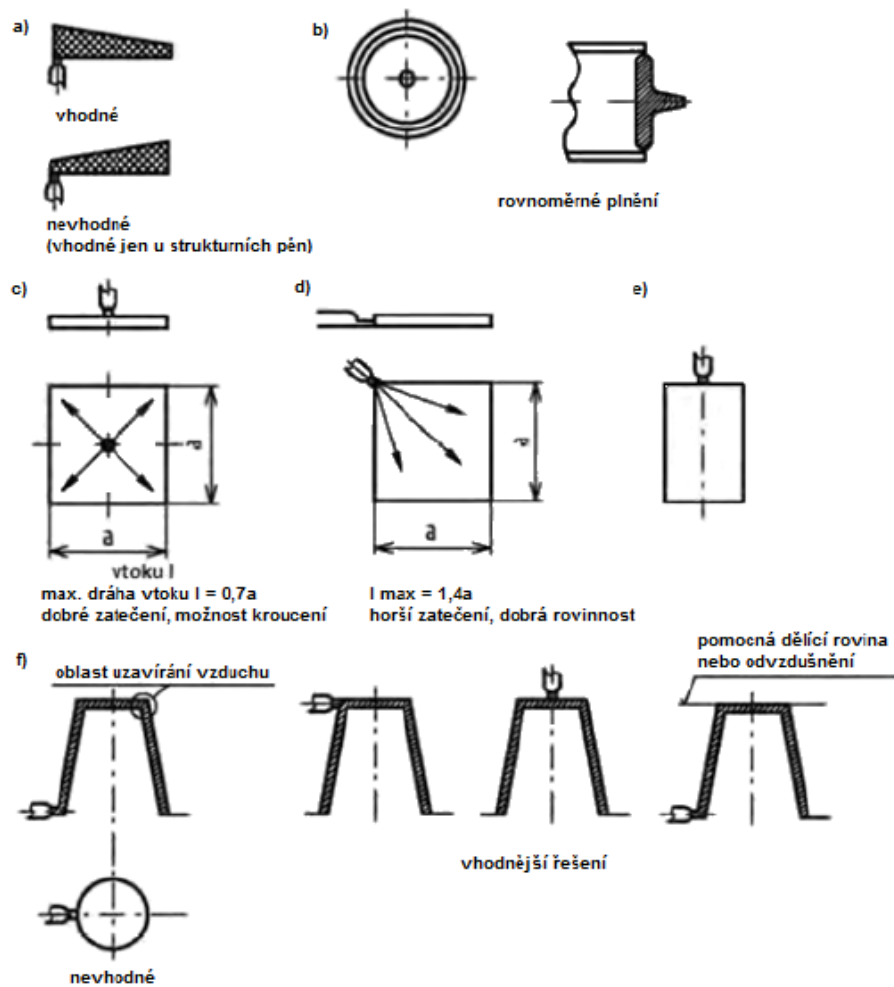
Obr. 22 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [35]

4.2.4 Ústí vtoku

Ústí vtoku je zúžené místo, přes které proudí tavenina z rozvodného kanálu do dutiny formy. Nezúžený rozvodný kanál se používá k plnění formy jen u velkoobjemových výrobků. Ústí vtoku by mělo být co neušší, aby stopy po vtoku na výrobku byly patrné co nejmíň. Další výhodou zúženého ústí vtoku je zvýšení teploty taveniny před vtokem do dutiny formy, kde by mohlo dojít ke strhávání chladných vrstev a následnému vzniku povrchových defektů. [27]

Zásady správného umístění vtokového ústí:

- do nejtlustšího místa stěny výrobku, tavenina má vždy téct z většího prostoru dutiny formy do míst menších,
- od geometrického středu výstřiku, aby tavenina zatekla do všech míst ve stejnou dobu,
- ve směru orientace žeber, zlepšení zatékavosti taveniny v dutině a další



Obr. 23 Umístění vtokového ústí [27]

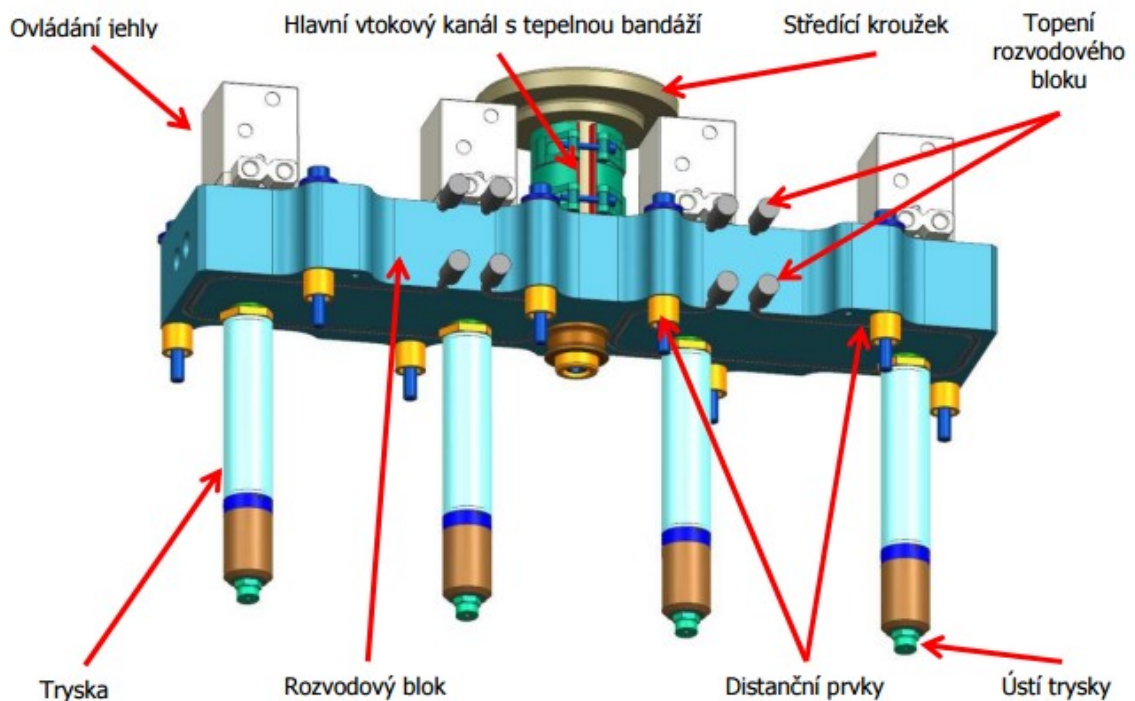
Základní druhy vtokových ústí:

- Plný kuželový vtok – Přívod taveniny přímo z hlavního vtokového kanálu, vznikají malé tlakové ztráty, nevýhodou je obtížné oddělení vtokového systému od výrobku.
- Bodový vtok - Ústí vtoku je kuželovitě rozšířeno směrem k výrobku, pro lepší oddělení vtokového systému, nevýhodou je větší stopa po vtoku a nutnost třídeskové formy.
- Tunelový vtok – Speciální případ bodového vtoku, kdy je vtokový zbytek v dělicí rovině, odpadá tak nutnost třídeskové formy.
- Banánový (prohnutý) vtok – Podobný tunelovému vtoku, výhodou je umístění vtoku na spodní nepohledové straně výrobku.

- Filmový vtok – Používá se protenkové ploché a prstencové díly, tok taveniny je rovnoměrný, nevýhodou je nutnost odříznutí vtokového systému a jeho větší velikost.[4]

4.2.5 Horký vtokový systém

Horký vtok je sestava vyhřívaných komponent (hlavní vtok, rozvodová deska, trysky a ovládání jehly), které udržují vstříkovaný polymer při konstantní teplotě do dutiny formy. Polymer má zaručenou stálou viskozitu v celém průřezu a délky rozváděcího systému od začátku vtoku, až do ústí dutiny formy. [32]



Obr. 24 Horký vtok s jehlou [32]

Výhody:

- Časové snížení výrobního cyklu
- Není zapotřebí výroba vtokových kanálů
- Eliminace odpadu, z tohoto důvodu klesají náklady na dokončovací operace
- Odpadá obnova vtokové soustavy
- Doba vstříkování je snížena v důsledku odstranění vtokových kanálů
- Výrazné zmenšení tlakových ztrát v důsledku dopravení horké taveniny přímo do dutiny formy

- Ovládání (regulace) teploty se ovlivní vlastnosti vstřikovaného výrobku
- Možnost postupného otevírání jednotlivých trysek, řízená poloha studených spojů
- Menší uzavírací síla stroje (odpadá vtoková soustava)

Nevýhody:

- Náročnější konstrukční zástavba do formy
- Větší pořizovací náklady, větší nároky na obsluhu
- Konzultace s dodavatelskou firmou při první zástavbě
- Zvýšení provozních nákladů
- Obtížné dodatečné změny polohy vtoků, v porovnání se studenou soustavou (komplexní změna formy)
- Nelze použít pro některé materiály s velkou citlivostí na teplo

4.2.6 Horké trysky

Horké trysky jsou části horkého vstřikovacího systému, které vedou taveninu z rozvodného bloku do dutiny formy. Důležitým úkolem horké trysky je udržení teplotní stability, trysky jsou proto konstruovány se zabudovaným topným článkem s regulací nebo jsou vyhřívány vnějšími zdroji tepla. [32]

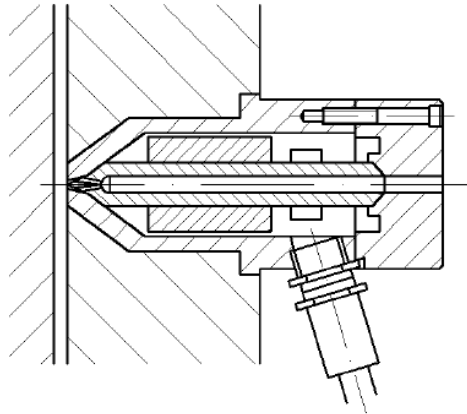
Provedení vyhřívání trysek:

a) nepřímo vyhřívání trysek:

- vytápěná tryska vlastním zdrojem tepla,
- vytápěná tryska rozvodným blokem.

b) přímo vyhřívání trysek:

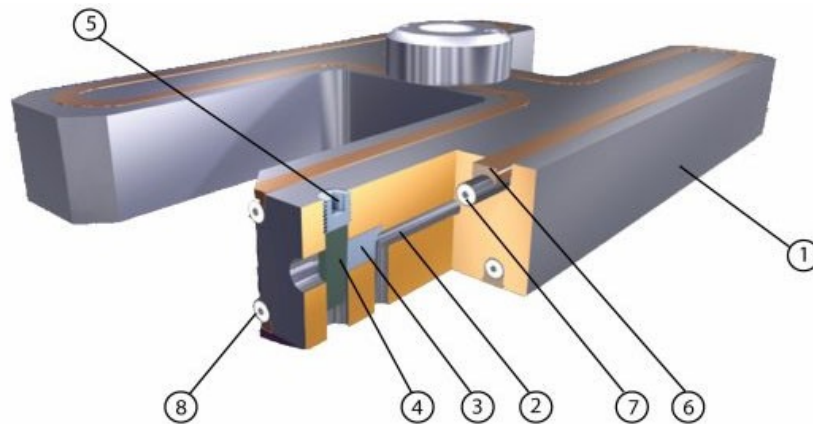
- s vnějším topením,
- s vnitřním topením.



Obr. 25 Sez horkou tryskou s vnějším vytápěním [1]

4.2.7 Horké rozvodné bloky

Horký rozvodný blok se zejména používá u vícenásobných forem. Jeho úkolem je vedení taveniny od vtoku do horkých trysek. Funkčnost bloku je podmíněna tepelnou stabilitou, aby nedošlo k nerovnoměrnému toku taveniny. Rozvodný blok je uložen mezi upínací a tvarovou deskou a je tepelně izolován nejčastěji vzduchovou mezerou. [32]



Obr. 26 Konstrukce Horkého rozvodného bloku [32]

- 1 - *Tělo rozvaděče* – vyrábí se v několika tvarových profilech (I,H,X,Y),
- 2 - *Kanál* - Hladce leštěný, velikost a provedení na základě plastového materiálu, podmínek formy a objemu vstřiku,
- 3 - *Koncovka* - Zabudovaná tak, aby předcházela vytékání a klouzání. Snímatelná pro případné čištění kanálu,
- 4 - *Šikmý kolík* - Konstruovaný tak, aby umožnil pozitivní tlak těsnění bez nebezpečí spojeného se závitovými vložkami,

- 5 - *Seřizovací šroub* - Zajišťuje šikmý kolík. Umožňuje jednoduchou výměnu,
- 6 - *Kryt topení* - Umožňuje úplné předání tepla rozvaděči, udržuje topné těleso chladnější a tím prodlužuje jeho trvanlivost,
- 7 - *Tubulární topení* - Ohnuto kolem obvodu rozvaděče, aby vyrovnávalo teplotní ztráty na povrchu bez místního přehřívání,
- 8 - *Druhá sada topení* - Udržuje rovnoměrnější vytápění.

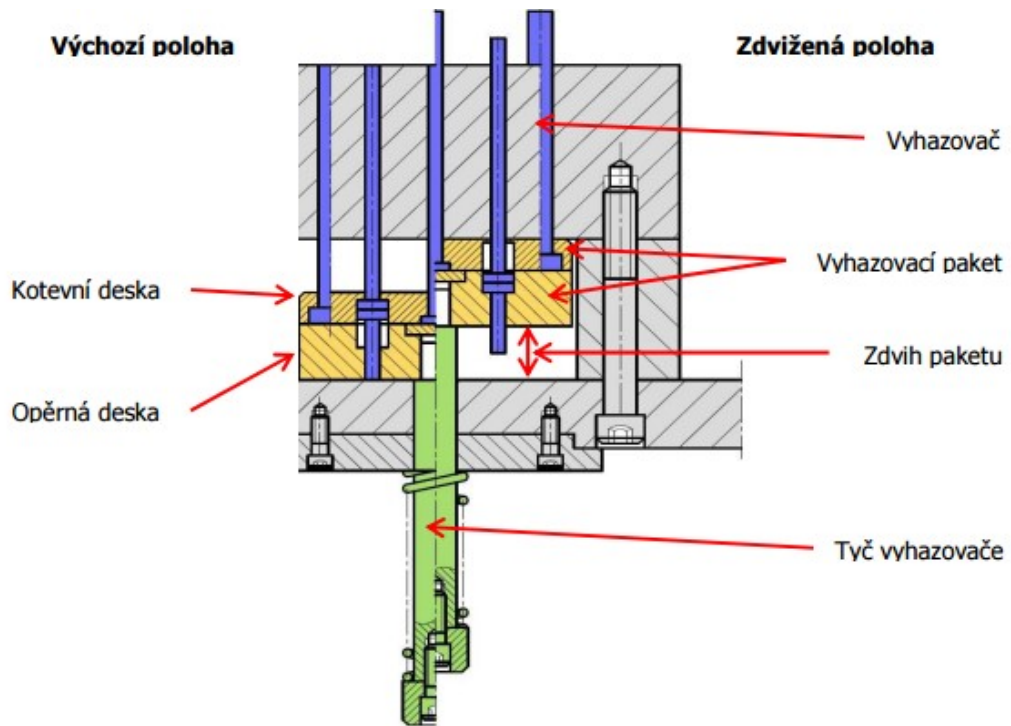
4.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je seskupení komponent sloužící pro vyhazování výrobků a vtokové soustavy z rámu formy. Konstrukce a rozložení vyhazovacího systému musí brát na zřetel i ostatní funkce formy.

4.3.1 Mechanický vyhazovací systém

Je složen z kotevní, opěrné desky, dorazů, vyhazovačů, zařízení pro připevnění k vyhazovacímu mechanismu lisu, vymežovacích tyčí (vratných kolků) a vodících sloupků.

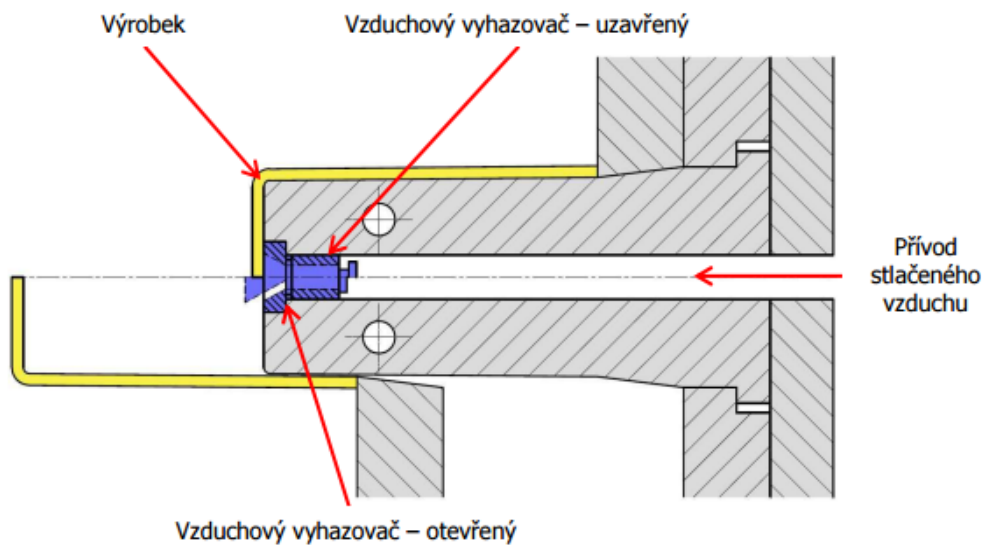
Vyhazovače jsou ustavené v deskách vyhazovacího paketu. Dvojice vyhazovacích desek se nazývají kotevní a opěrnou deskou. V kotevní desce jsou zapuštěny vyhazovače a vymežovací tyče. Tyto komponenty jsou jištěny vůči axiálnímu posuvu opěrnou deskou. Vyhazovacím paketem prochází vodící sloupky vyhazovacího paketu a válcová rozpěrka, která zvyšuje tuhost rámu formy. Na kotevní desce jsou uloženy vymežovací tyče. Opřením její čelní plochy o protilehlou plochu tvárnice se zajistí výchozí poloha vyhazovacího paketu při vratném pohybu tvárníku do pracovní polohy. Na opěrné desce jsou uloženy dorazy, které zajišťují vymezení vůle mezi opěrnou deskou a upínací deskou rámu formy. [34]



Obr. 27 Mechanický vyhazovací systém [34]

4.3.2 Pneumatický vyhazovací systém

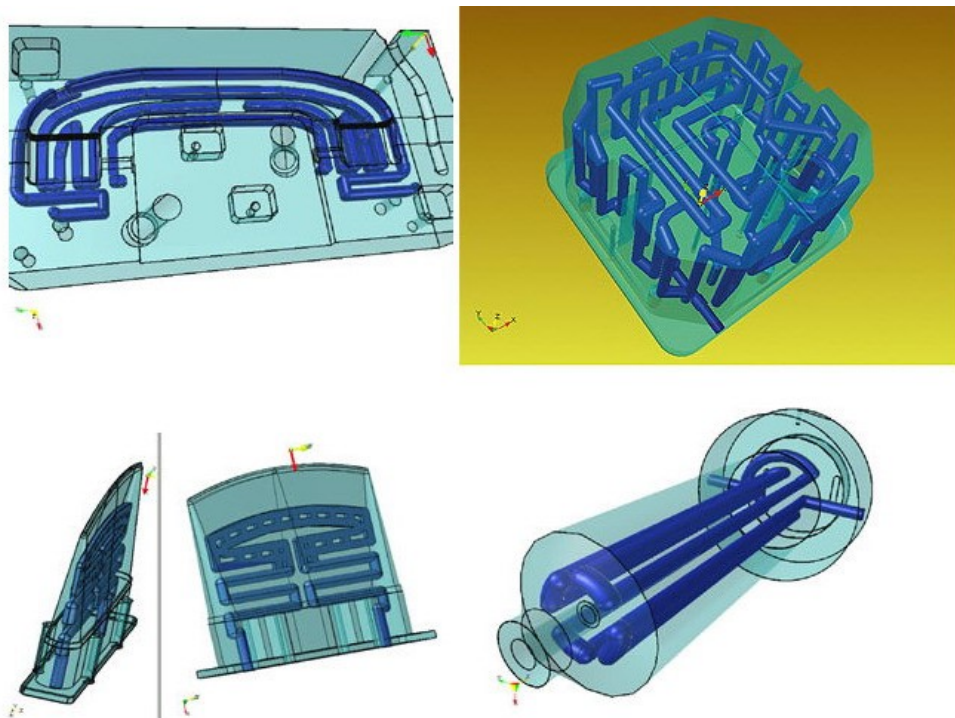
Často se používá v kombinaci s vyhazovači. Používají se pro výrobky větších rozměrů a složitějších tvarových ploch, u kterých záleží na kvalitě vzhledové plochy. Vytvoří mezi blokem a výliskem vzduchový polštář (mezeru), tím dojde k částečnému oddělení dílu od formy. Následkem toho se snižuje potřebná síla na vyjmutí výstřiku z formy. [34]



Obr. 28 Pneumatický vyhazovací systém [34]

4.4 Temperační systém

Hlavním úkolem temperačního systému vstřikovací formy během procesu vstřikování plastů je ustavit požadovanou teplotu dutiny vstřikovací formy v krátkém časovém okamžiku a udržet tuto teplotu v minimálním rozsahu. Temperace formy samozřejmě zahrnuje také činnost odvodu tepla při chlazení výrobku tak, aby mohl být vyjmut z formy, popřípadě i činnost vyhřívání dutiny formy s cílem dosáhnout vhodné teploty pro vstříknutí plastu. Teplota i její časový průběh ovlivňuje chování taveniny, resp. výrobku během výroby i poté, včetně výsledných vlastností a to nejen mechanických, ale také smrštní, kvality povrchu, u semikrystalických plastů stupně krystalinity, souvisejícího s hmotností a hustotou výstřiku, velikosti vnitřního napětí a v neposlední řadě (a to jak pro amorfnní tak pro semikrystalické plasty), celkové době vstřikovacího cyklu, kde fáze odvodu tepla zaujímá jeho převážnou část. [22]



Obr. 29 Příklady řešení temperačních systémů [14]

4.5 Odvzdušnění forem

Tvarová dutina je před vstříknutím roztaveného plastu plná vzduchu. Při plnění dutiny je důležité zajistit dostatečně rychlý únik vzduchu, jinak se vzduch stlačuje a narůstá tlak a teplota. Pokud je nárůst tlaku příliš velký, může dojít k vznícení vstřikovaného plastu (Dieselův efekt).

Při nedostatečném odvzdušnění se zvýrazňují studené spoje. Zvýšený tlak vzduchu v dutině může také proniknout do taveniny plastu a tím uvnitř vytvořit vzduchové bubliny, které jsou následně zdrojem snížených mechanických vlastností nebo nekvalitního povrchu dílu.

Při nízké rychlosti vstřikování, tlaku, teplotě taveniny nebo jejich kombinaci se vzduch v dutině přemísťuje na opačnou stranu než je vtok. Pokud vzduch nemůže z dutiny uniknout, tavenina do těchto míst, kde je vzduch nezateče.

Odvzdušnění může být zajištěno netěsnostmi v dělicí rovině nebo vůlí vyhazovače. Pokud toto nestáčí, používají se odvzdušňovací kanálky, ty však nesmí mít vliv na funkci ani nesmí zapříčinit vznik pohledových vad. [27]

4.6 Materiály na výrobu forem

Na materiál formy jsou kladeny požadavky zejména na jeho mechanické a tepelné vlastnosti. Kromě těchto požadavků, je nejzákladnějším kritériem pro výběr materiálu cena a počet výlisků, které potřebujeme vyrobit. Od těchto požadavků se odvíjí i druh materiálu, ze kterého bude forma vyrobena. [23]

Oceli:

1.1730 (ČSN 19083) – Základové desky, pouzdra, kolíky, sloupky

1.2080 (ČSN 19436) – Tvarové desky a formy pro velké série, dobrá odolnost proti opotřebení

1.2312 (ČSN 19520) – Doporučovaná ocel pro výrobu tvarových desek forem, dobře obrobitelná.

1. 2379 (ČSN 19573) – Tvarové desky a formy pro velmi velké série, velká odolnost proti opotřebení

1.2842 (ČSN 19313) – Menší tvarové desky na formy, stříhadla, měřidla

Nekovové materiály:

Dural - slitina hliníku, mědi, hořčíku a manganu.

5083 - Dural vhodný k použití na tvarové desky i tělesa forem pro malé série výlisků

5080R - Podobné vlastnosti jako tř. 5083, vylepšené složení slitiny

Certal - Je vhodný pro výrobu „levných“ forem, má větší odolnost proti otěru než 5083 a 5080R [23]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro tuto diplomovou práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracování literární studie na dané téma
- Provedení konstrukčního návrhu 3D modelu vstřikovaného dílu
- Návrh vstřikovací formy pro tento díl
- Nakreslení sestavy vstřikovací formy ve 2D včetně kusovníku
- Ověření návrhu pomocí simulací

Teoretická část práce obsahuje literární rešerši, která popisuje technologii vstřikování materiálu používané pro vstřikování a zásady pro konstruování vstřikovacích forem.

Praktická část práce obsahuje vytvoření 3D modelu vstřikovací formy pro zadaný díl, kterým je část středového panelu osobního automobilu. Pro tento model byla vytvořena výkresová dokumentace sestavy ve 2D s pozicemi a kusovníkem. Návrh formy byl ověřen simulací toku taveniny.

6 POUŽITÉ APLIKACE

Návrh vstříkovaného dílu a vstříkovací formy byl proveden v programu CATIA V5R19. CATIA je počítačový software, vyvinutý firmou Dassault Systéms, určený pro návrh konstrukce (CAD), výroby (CAM) a zahrnuje inženýrské analýzy (CAE) pomocí metody konečných prvků. Díky jeho všestrannosti patří k nejpoužívanějším CA (Computer-Aided) systémům a to zejména v leteckém a automobilovém průmyslu. Program CATIA V5R15 je vybaven modulem Mold Tooling Design, který je určen k tvorbě vstříkovacích forem.

Část normálií pro návrh formy byla importována z programu HASCO DAKO modul, což je katalog normálií firmy Hasco obsahující rozsáhlou knihovnu hotových 3D modelů součástí používaných pro sestavení vstříkovací formy. Program dále obsahuje dokumentaci popisující geometrii a předpis použití těchto dílů.

Pro analýzu toku taveniny byl použit program Autodesk Moldflow Insight 2016. Tento program je určen pro simulaci vstříkovacího procesu, lze tak ověřit funkčnost návrhu formy a provést její optimalizaci ještě před její výrobou.

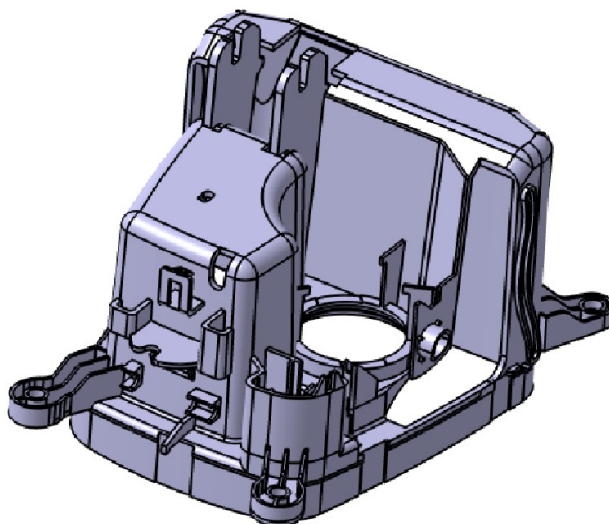
7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaný výrobek je částí středového panelu automobilu značky BMW. Vnitřní strana dílu je pohledová, je zde tedy brán zřetel na kvalitu povrchu a povrchové vady. Díl je dále opatřen otvorem pro zapalovač a vodícími drážkami pro držák na pití. Jako materiál byla zvolena směs ABS a PC (polykarbonát/akrylonitril-butadién-styrén) bez plnění. Tato směs poskytuje kombinaci velmi dobré zpracovatelnosti ABS a vynikajících mechanických vlastností a odolnosti proti nárazu a teple, které jsou typické pro PC.

Materiál vybraný z katalogu programu Moldflow je dodáván firmou Kumho petrochemical s obchodní značkou HAC 8270.

Doporučené teploty materiálu:

- Teplota taveniny	250 [°C]
- Teplota povrchu formy	50 [°C]
- Minimální teplota taveniny (doporučená)	230 [°C]
- Maximální teplota taveniny (doporučená)	270 [°C]
- Minimální teplota formy (doporučená)	40 [°C]
- Maximální teplota formy (doporučená)	60 [°C]
- Nejvyšší dovolená teplota taveniny	300[°C]
- Vyhazovací teplota	107[°C]



Obr. 30 Zadaný díl (vlevo), 3D model vstřikovaného dílu

8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Volba vstřikovacího stroje byla provedena podle kritérií jako, vstřikovací objem, rozměrů formy a velikosti uzavírací síly. Vstřikovaný objem je 231 cm^3 , k tomuto objemu je nutno přičíst rezervu 10 %, potřebný vstřikovaný objem je tedy $254,1 \text{ cm}^3$.

Jako vstřikovací stroj byl zvolen Allrounder 720S – 3200 – 2100 od německé firmy Arburg. Vzdálenost mezi vodícími sloupky není dostatečná, forma proto musí být do stroje vkládána z boku, nebo bude nutno při vkládání formy vodící sloupky dočasně vyjmout.

Tab. 3 Srovnání parametru stroje a formy

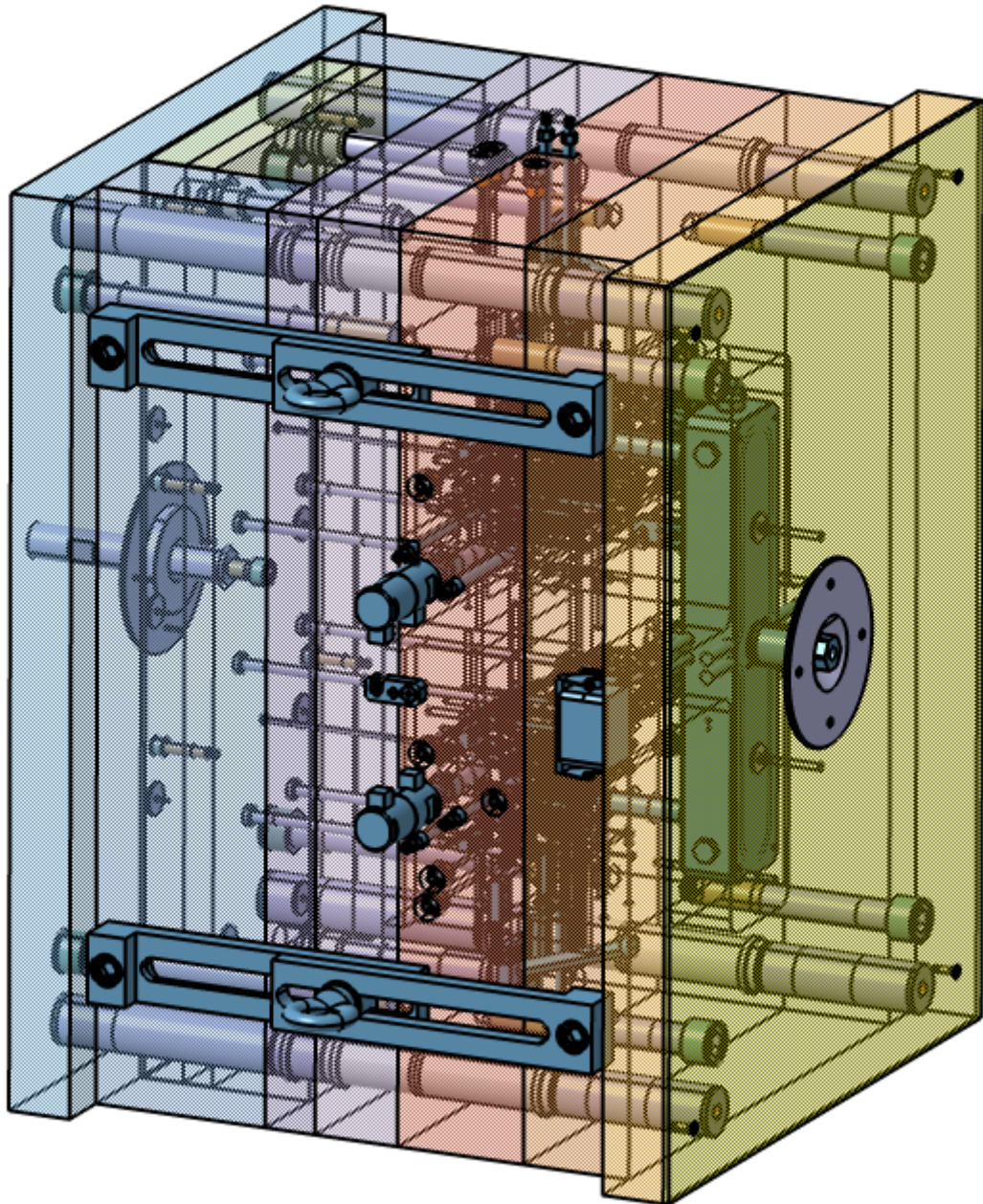
	Parametry stroje	Parametry formy
Maximální objem dávky	792 cm^3	$254,1 \text{ cm}^3$
Maximální uzavírací síla	3200 kN	1239 kN
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	720 x 720 mm	496 x 796 mm
Velikost upínací desky	1040 x 1040 mm	496 x 796 mm



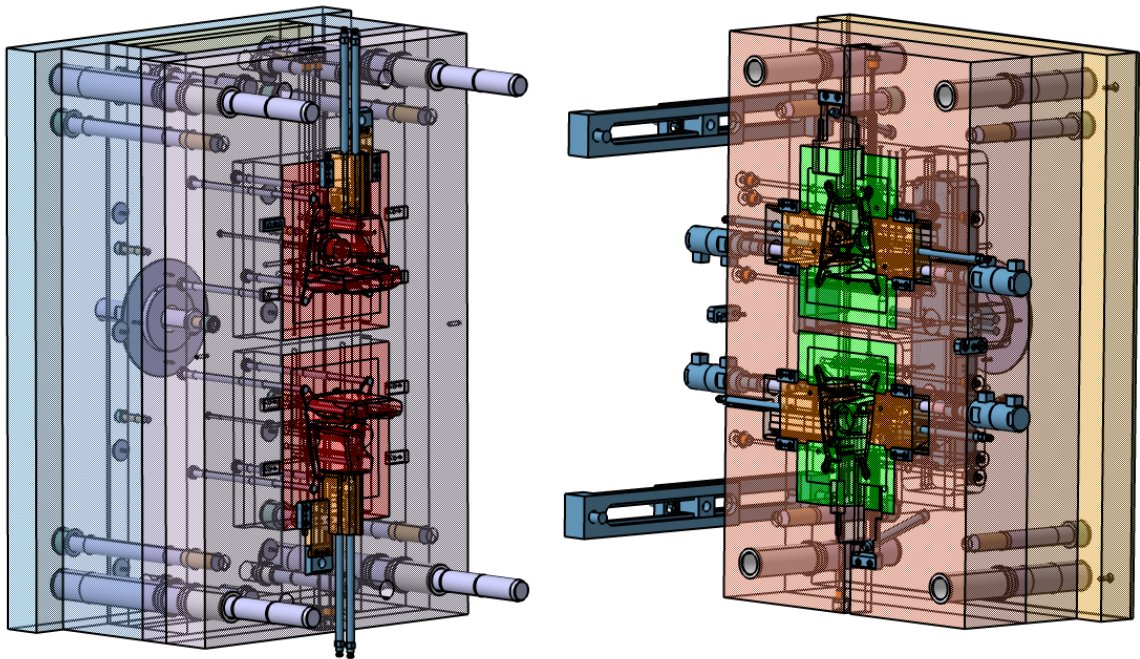
Obr. 31 Arburg Allrounderv 720 S [24]

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce vstřikovací formy byla hlavní částí diplomové práce. Návrh byl proveden s ohledem na funkčnost, cenu výroby a vyrobiteľnost. Z těchto důvodů bylo použito mnoha normálií od firmy HASCO.



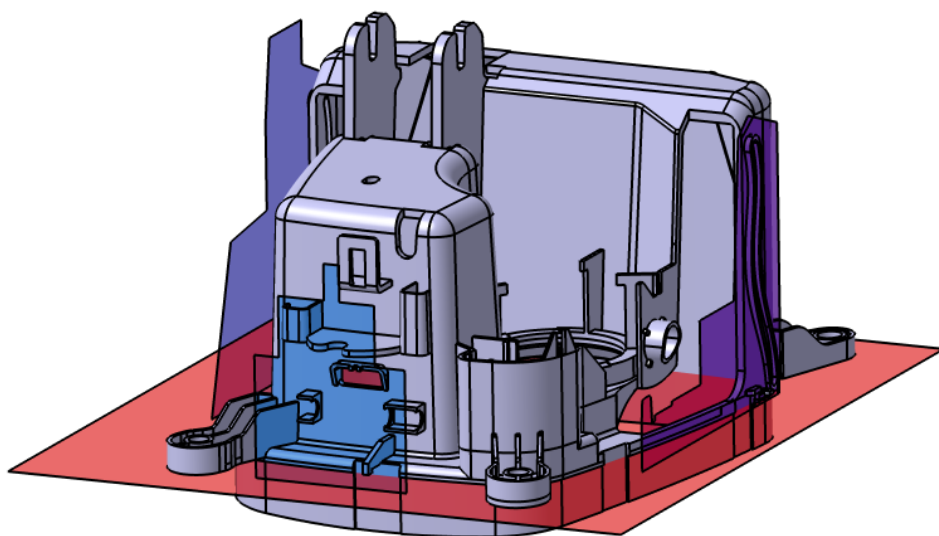
Obr. 32 Sestava formy



Obr. 33 Levá a pravá strana formy

9.1 Dělicí rovina

Vzhledem ke složitosti vstřikovaného dílu bylo nutné zvolit čtyři dělicí roviny, jednu hlavní, kolmou ke směru vstřikování a tři vedlejší dělicí roviny, kolmé k hlavní dělicí rovině. Vedlejší dělicí roviny zaručují, že výstřik bude bez problému vyhozen.



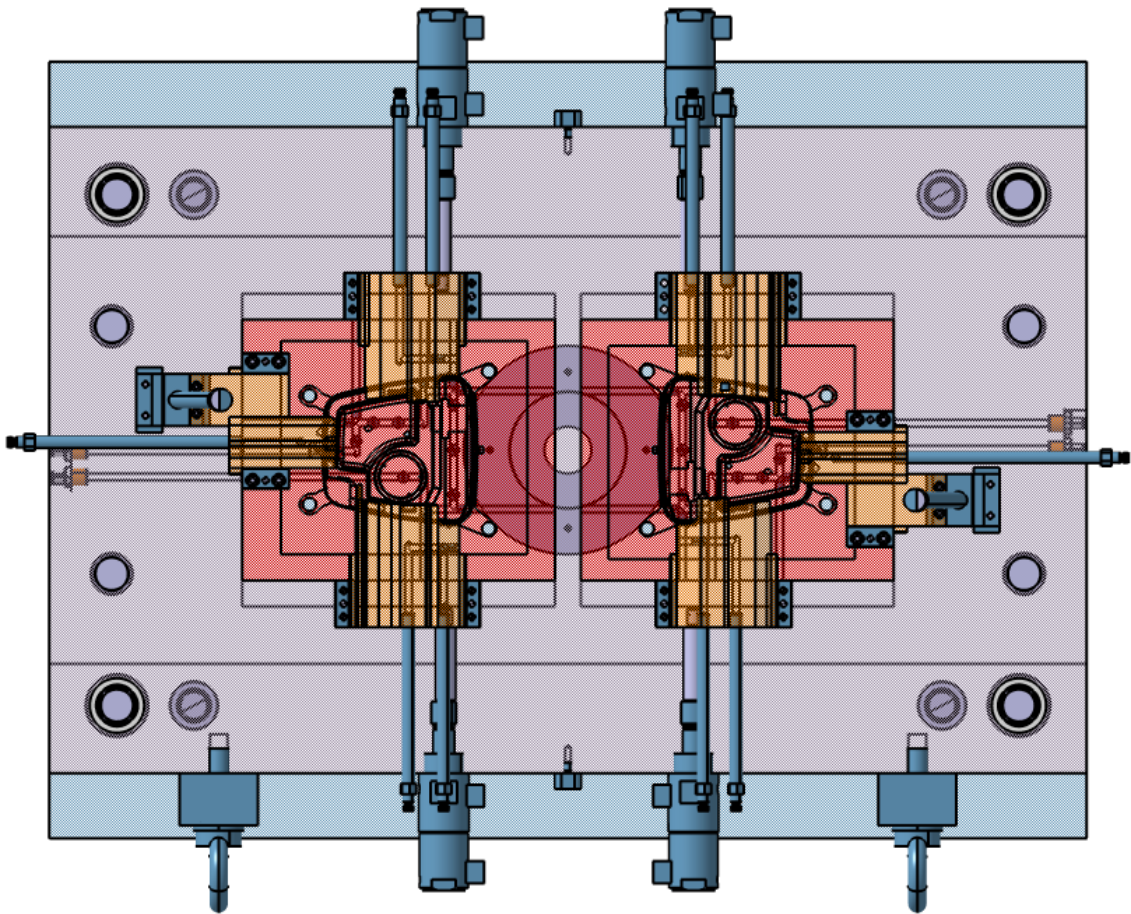
Obr. 34 Hlavní dělicí rovina (červená), vedlejší dělicí roviny (modré)

9.2 Násobnost formy

Volba násobnosti zohledňuje několik činitelů, jako velikost upínacích desek, vstřikovaný objem vstřikovacího stroje, počet kusů výrobků, atd.

Násobnost formy má také vliv na kvalitu výrobků, kdy menší násobnost znamená vyšší kvalitu. Vzhledem k ceně výrobku je ovšem výhodnější volit násobnost co nejvyšší.

Vzhledem k těmto hlediskům byla zvolena dvojnásobná forma.



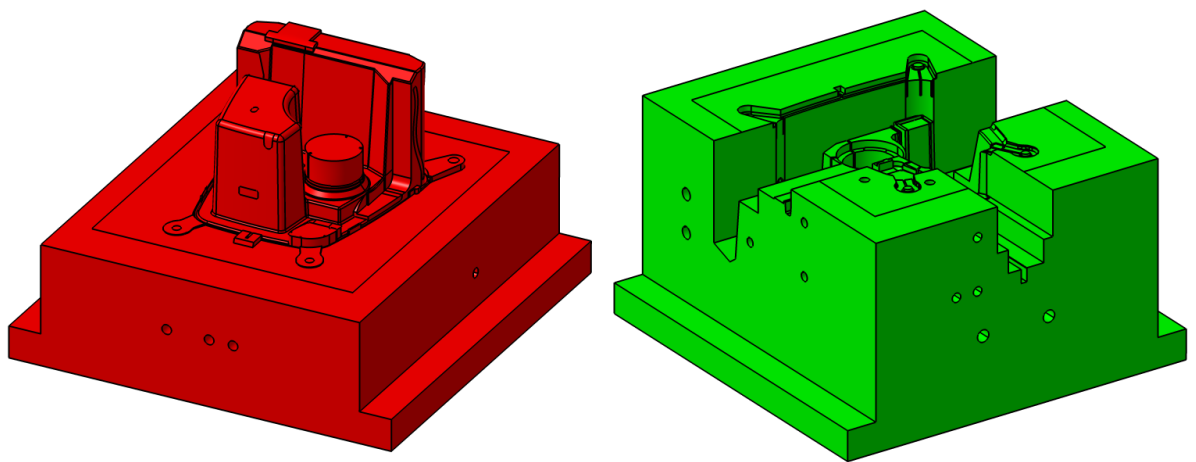
Obr. 35 Rozložení dvojnásobné formy

9.3 Rám formy

Pro návrh desek formy bylo použito katalogu firmy HASCO v programu CATIA. Jako výchozí byly zvoleny rozměry desek 496 x 796 mm. Po finální úpravě desek byla celková výška formy 608 mm. Forma má tedy celkové rozměry 496 x 796 x 608 mm.

9.4 Tvarové vložky

Tvárník a tvárnice spolu s posuvnými jádry udávají tvar dutiny, jež je negativem vstřikovaného výrobku. Dutina formy byla zvětšena o 0,7% (hodnota smrštění) vzhledem k zadanému dílu, kvůli zachování rozměrové přesnosti. Tvárník je součástí levé (vyhazovací) strany formy, při otevření formy zůstává výstřik na tvárníku ze kterého je posléze shozen vyhazovači. Tvárnice je součástí levé (vstřikovací) části formy. Obě tvarové vložky jsou ve formě upevněny pomocí opěrných desek. Jelikož se jedná o nejvíce namáhané části formy, tvárník i tvárnice jsou vyrobeny z nástrojové oceli a posléze kaleny.

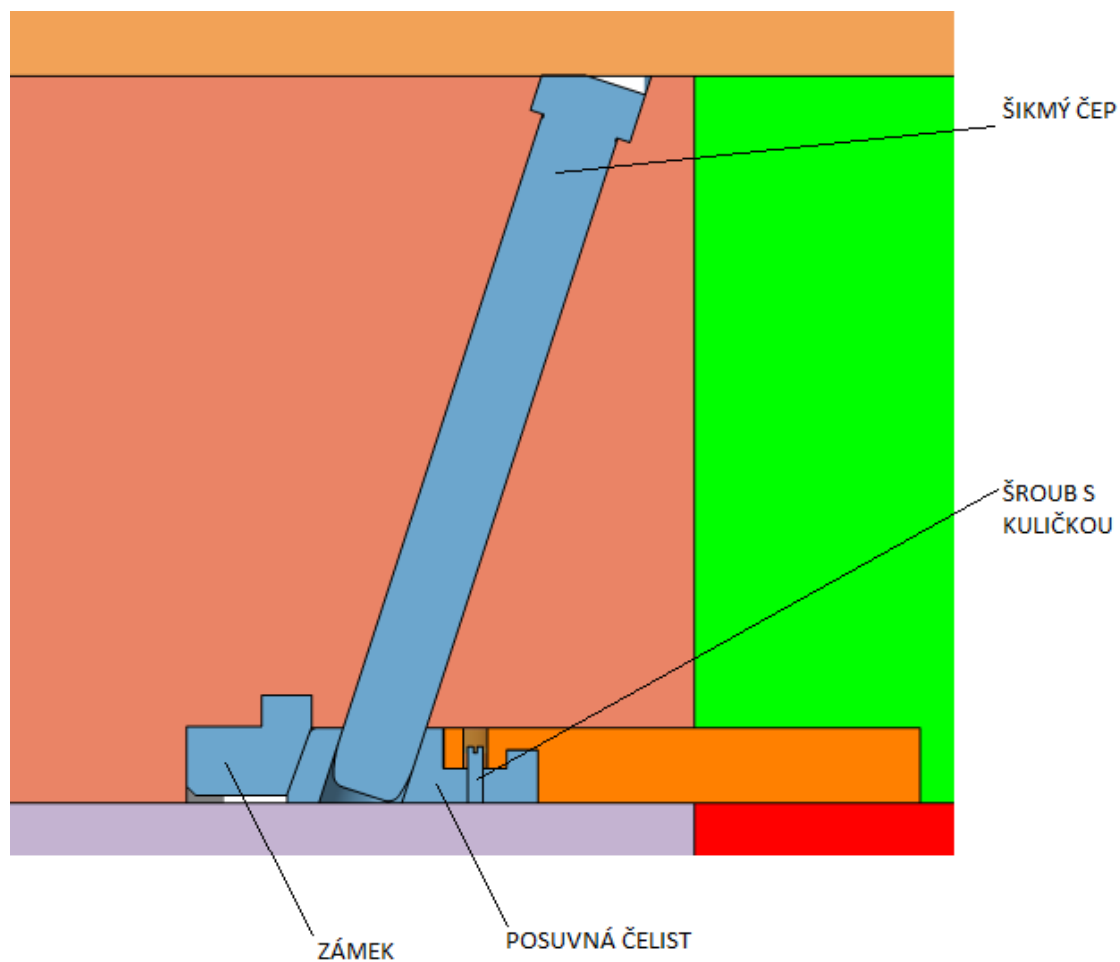


Obr. 36 Tvárník (vlevo) a tvárnice (vpravo)

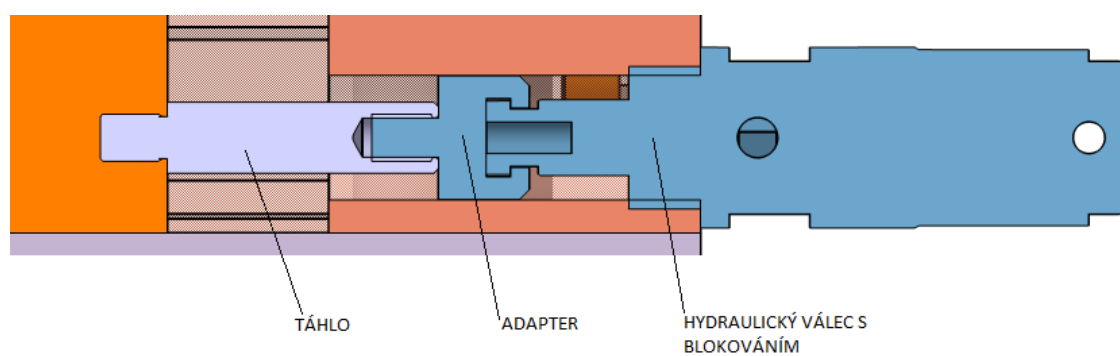
9.5 Posuvná jádra

Tvar výrobku nedovoluje standartní způsob odformování a bylo tedy potřeba použít bočních posuvných jader. Každá z dutin byla opatřena třemi posuvnými jádry odpovídajícím vedlejším dělicím rovinám, forma byla tedy opatřena selkem šesti posuvnými jádry.

Z ekonomického hlediska je nejvhodnější posuv jader pomocí šikmých čepů, u čtyř z šesti posuvných jader není tato metoda možná a jejich posuv je ovládán pomocí hydraulických válců s blokováním. Tyto hydraulické válce jsou uzpůsobeny, aby vydržely zpětné síly bez nutnosti opatření jádra zámkem.



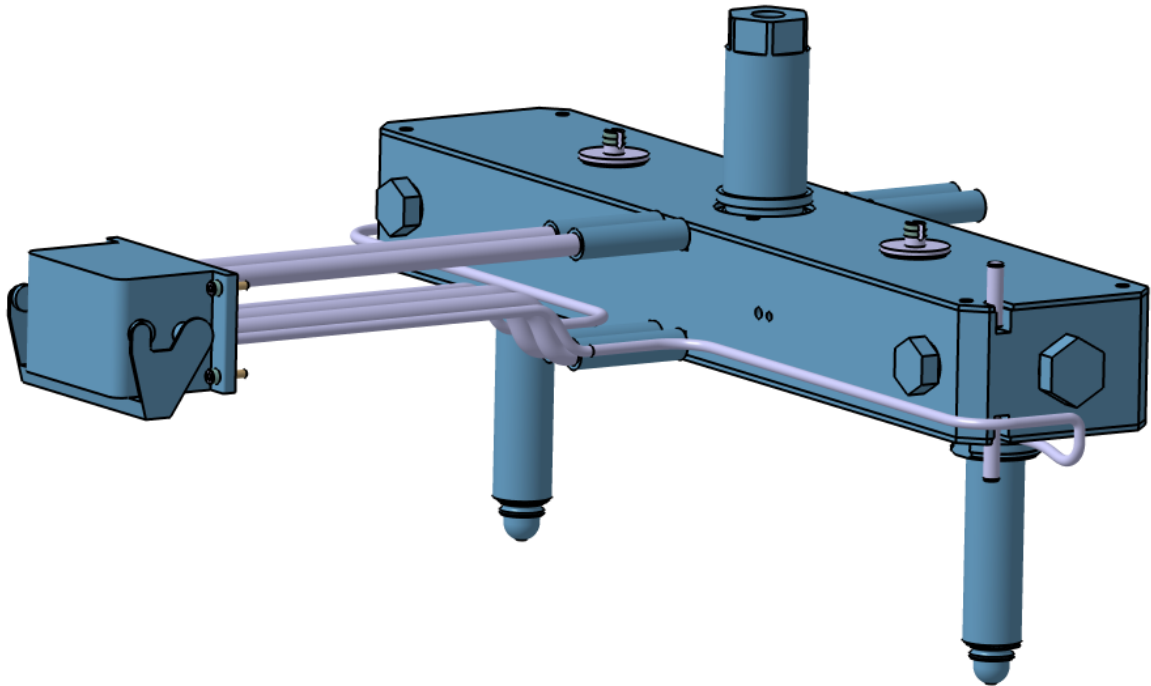
Obr. 37 Boční jádro posouvané pomocí šikmého kolíku



Obr. 38 Posun jádra pomocí hydraulického válce

9.6 Vtokový systém

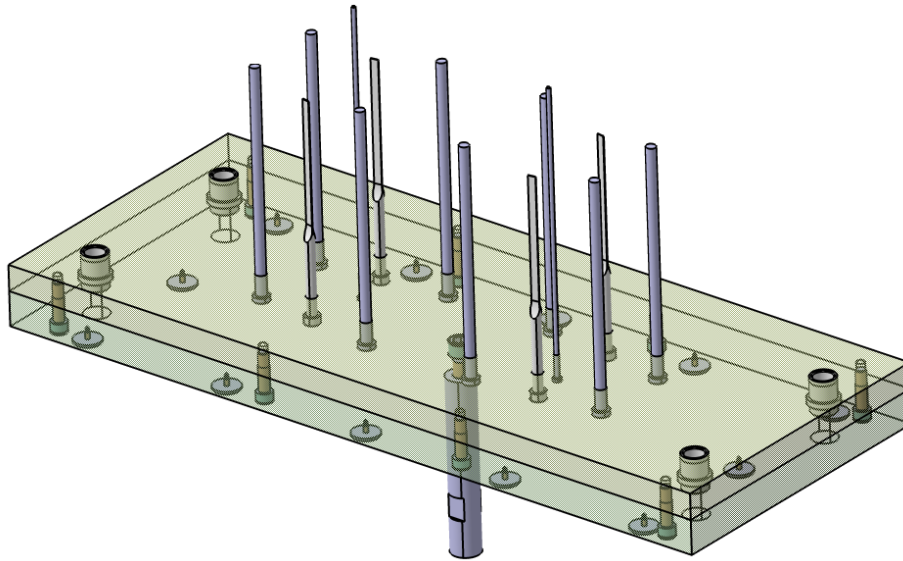
Pro vedení taveniny do dutiny formy byl zvolen horký vtokový systém, který se skládá centrální vtokové vložky, vytápěného rozvodného bloku a dvou horkých trysek. Pozice rozvodného bloku byla zajištěna pomocí kolíků a distančních členů. Napájení rozvodného bloku a trysek bylo zajištěno kabely a zásuvkou umístěnou na straně formy.



Obr. 39 Horký vtokový systém

9.7 Vyhazovací systém

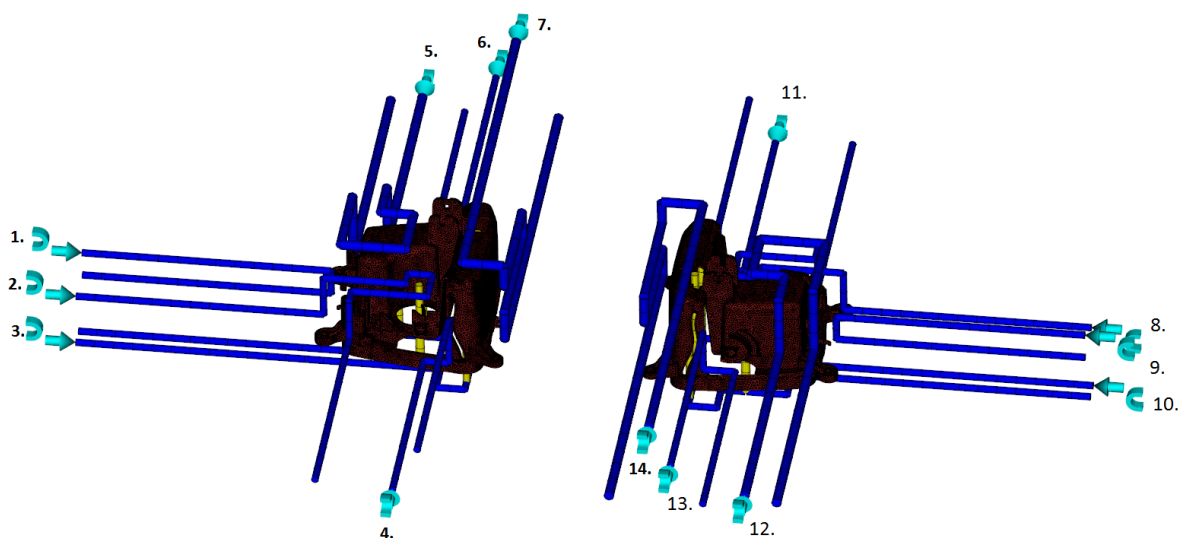
Pro správné vyhození dílu je nutno, aby výstřík zůstal na vyhazovací straně formy, toho bylo docíleno pomocí smrštění výstříku. Vyhození výstříku bylo zajištěno 10 válcovými vyhazovači a čtyřmi plochými vyhazovači. Vyhazovače zanechávají v místě dotyku stopy, proto byly umístěny v nepohledových částech dílu. Vedení vyhazovacích desek bylo zajištěno vodícími pouzdry a čepy. Pro pohyb vyhazovacího systému bylo použito táhlo.



Obr. 40 Vyhadzovací systém

9.8 Temperační systém

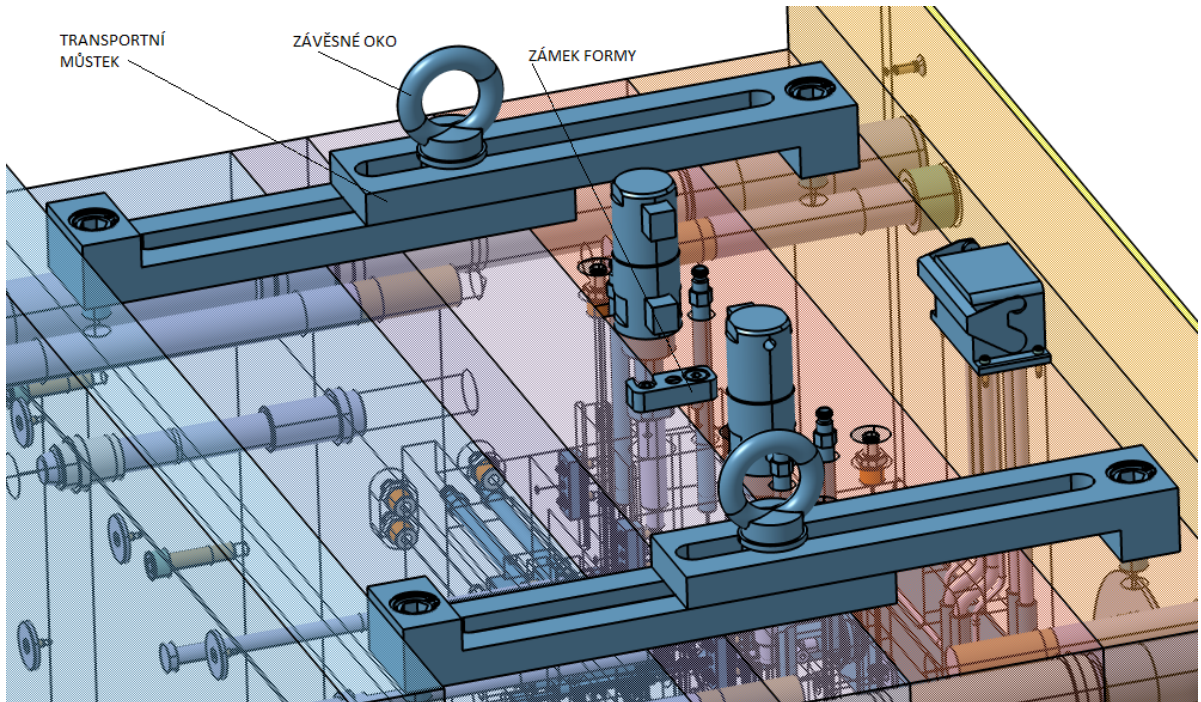
Pro chlazení formy bylo použito celkem čtrnácti temperačních okruhů. Čtyři temperační okruhy použity k chlazení pravé strany formy mají průměr 8 mm, zbylé temperační okruhy mají průměr 6 mm. Tvárníky jsou chlazeny čtrnácti obtokovými můstky. Pro přechody mezi tvarovými vložkami a deskami bylo zajištěno pomocí těsnících O-kroužků. Na vstupy a výstupy z formy jsou přišroubovány přípojky. Vedení temperačního média k posuvným jádrům bylo zajištěno prodlužujícími nátrubky.



Obr. 41 Temperační systém

9.9 Transportní systém formy

Kvůli velké hmotnosti a rozměrům bylo pro usnadnění manipulace přišroubován transportní můstek se závěsnými oky. Při transportu se na oka připevní háky jeřábu. Forma byla také opatřena dvěma zámky, aby při transportu nedošlo k jejímu otevření.



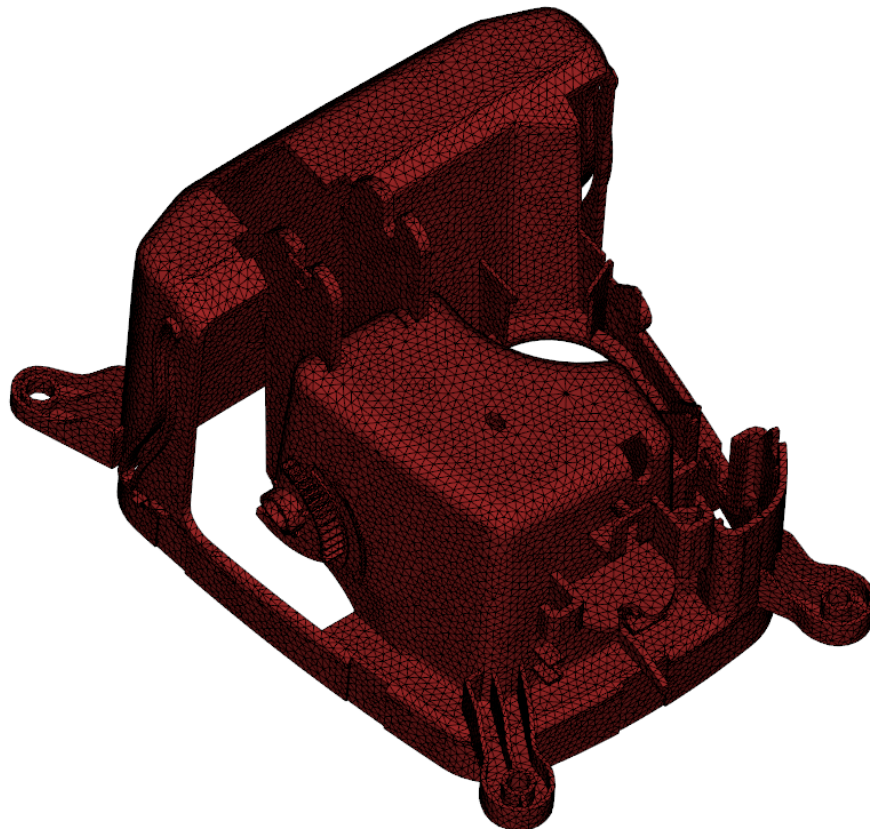
Obr. 42 Transportní systém formy

10 CAE ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Simulace vstřikovacího procesu byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Insight 2016. Tento program je určen pro simulaci vstřikovacího procesu, lze tak ověřit funkčnost návrhu formy a provést její optimalizaci.

10.1 Nastavení analýzy v programu moldflow

Model výrobku byl nahrán do Programu Moldflow a vysíťován sítí Dual Domain. Dále byly vloženy vtokový a temperační systém a vysíťovány beam elementy. Bylo nastaveno, které analýzy mají být spočítány. Poté, bylo zvoleno místo vtoku na výstřiku a zvolen vstřikovaný materiál z databáze HAC 8270. Podle materiálu byly nastaveny procesní parametry, teplota taveniny 280 °C, teplota formy 95 °C, doba otevření formy 5 s a doba vstřikování 1,5 s. Nakonec byl zvolen vstřikovací stroj



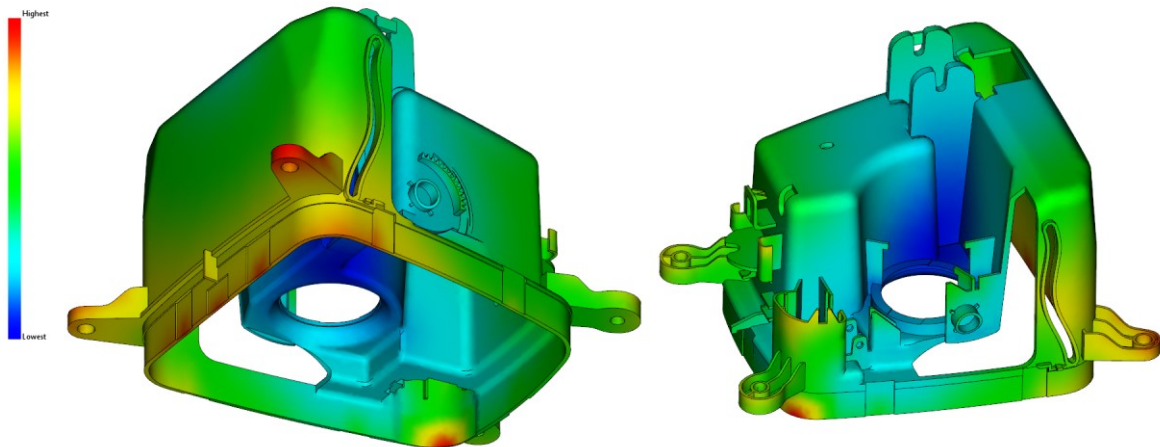
Obr. 43 Vysíťovaný model výrobku

10.2 Umístění vtoku

Tyto analýzy nám ukazují vhodnost míst pro umístění vtokového ústí na výstřiku. K výsledkům těchto analýz bylo přihlédnuto při konstrukci vstřikovací formy. V místě vtoku dochází k drobné vadě výstřiku, umístění vtoku tedy bylo voleno na vnější nepohledové straně výstřiku.

10.2.1 Ukazatel odporu toku taveniny (Flow resistance indicator)

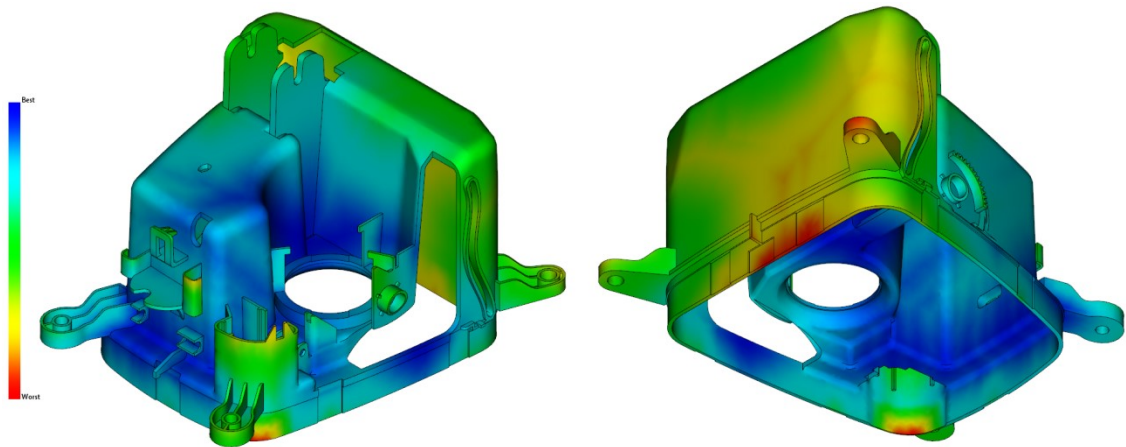
Tato analýza znázorňuje místa na výstřiku, která kladou odpor toku taveniny. Tato místa mohou být riziková a mohou přispívat ke vzniku vad. Místa s modrou barvou kladou nejmenší odpor a místa s červenou největší.



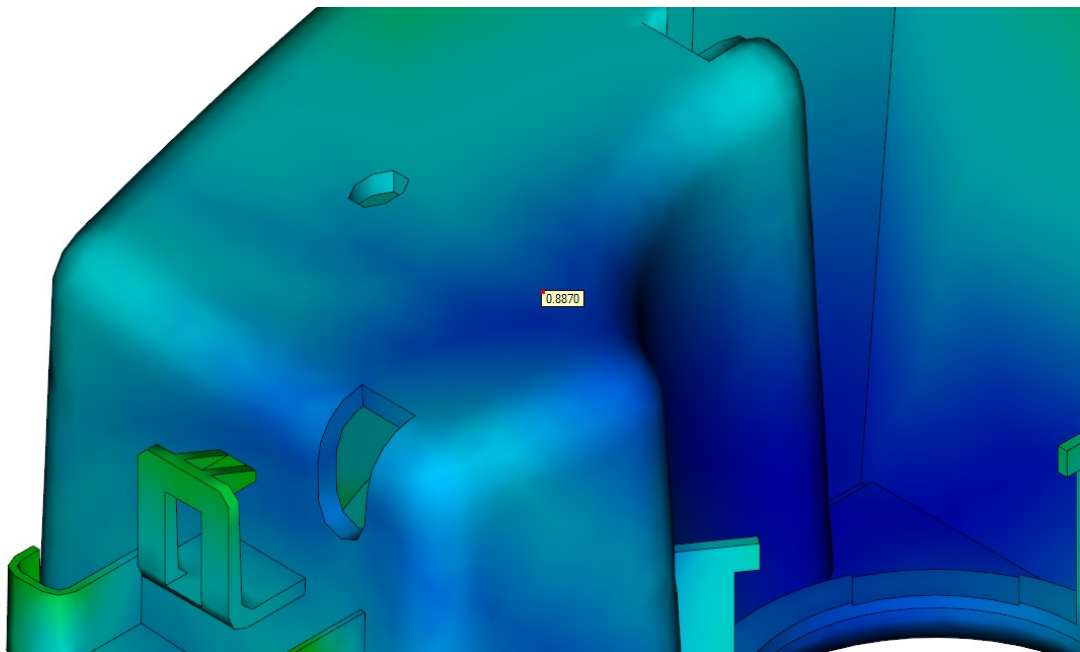
Obr. 44 Analýza odporu toku taveniny

10.2.2 Vhodnost umístění vtoku (Gate suitability)

Tato analýza predikuje nejvhodnější místo pro vtokové ústí. Modrá barva znázorňuje nejvhodnější místa pro vtok, červená pak nejhorší. Ústí vtoku navrhované formy bylo zvoleno do míst 88 % vhodností umístění. Kromě této analýzy byla také brána v potaz násobnost formy a jiné technologické prvky.



Obr. 45 Analýza vhodnosti umístění vtoku



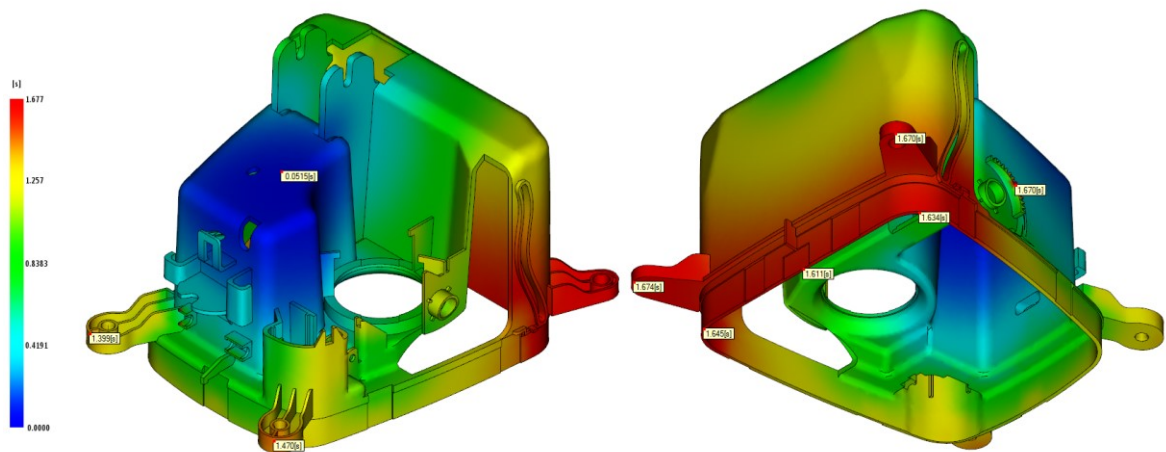
Obr. 46 Analýza vhodnosti umístění vtoku – zvolené místo

10.3 Analýzy plnění

Tyto analýzy simulují plnění dutiny formy taveninou. Výsledky těchto simulací se používají jak pro návrh formy, tak pro nastavení vstřikovacího cyklu.

10.3.1 Doba plnění (Fill time)

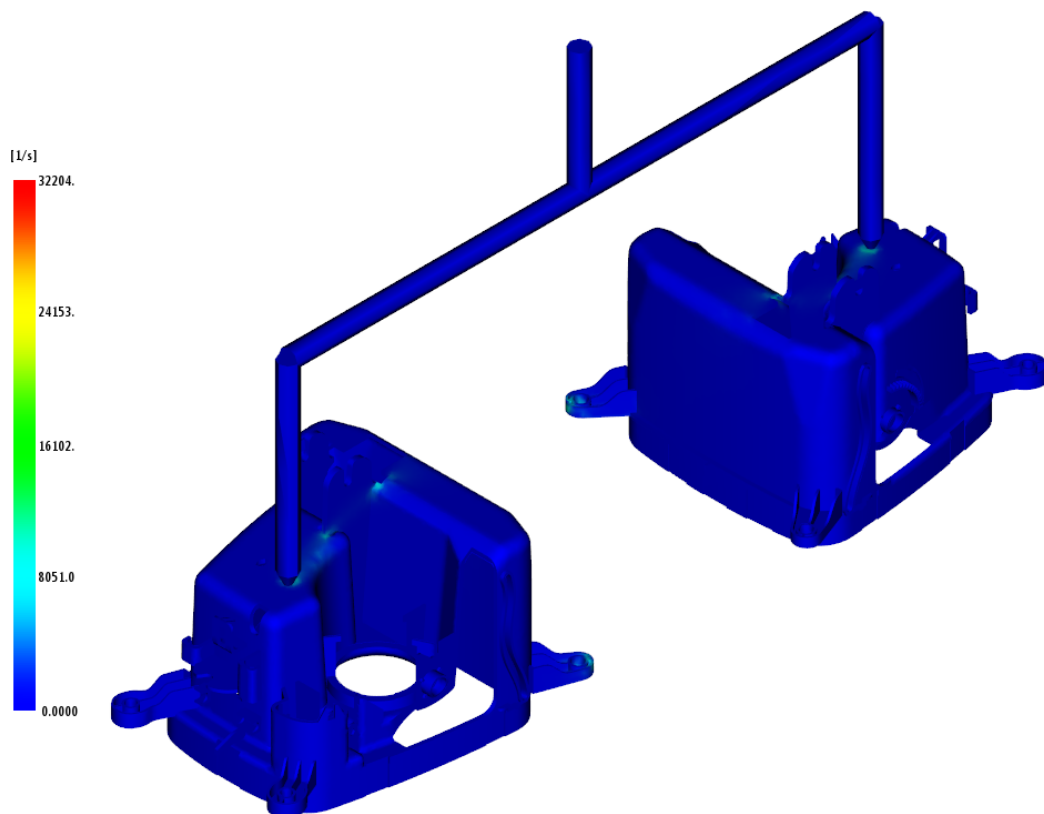
Představuje graficky a numericky průběh plnění formy. Modrá barva znázorňuje místa, která jsou naplněná nejdříve červená pak místa zaplněná jako poslední. Z výsledku analýzy bylo zjištěno, že dojde k plnému zaplnění dutiny formy a to v čase 1,7 s.



Obr. 47 Analýza doby plnění

10.3.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

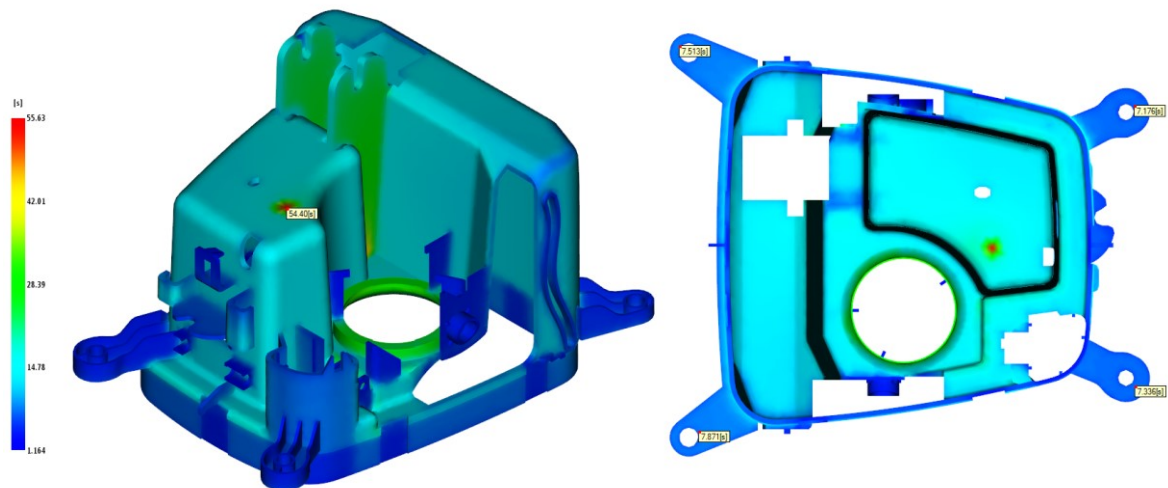
Pro daný materiál HAC 8270 je udávána maximální rychlost smykové deformace 40 000 1/s. Nejvyšší rychlost smykové deformace určená analýzou je 32204 1/s, k překročení maximální hodnoty tedy nedojde.



Obr. 48 Analýza rychlosti smykové deformace

10.3.3 Čas potřebný k vyhození (Time to reach ejection temperature)

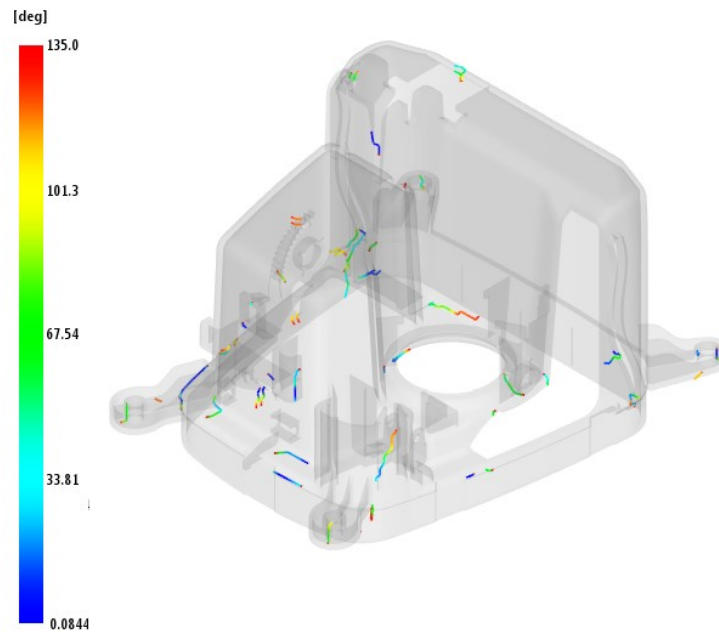
Tato analýza znázorňuje čas potřebný k ochlazení jednotlivých míst výstřiku na vyhazovací teplotu (107°C). Z Obr. 49 je patrné, že nejdéle (56 s) bude materiál chladnout v místě vtoku. V místech umístění vyhadzovačů, ale dojde k ochlazení na tuto teplotu daleko dříve, okolo 8 s, je tedy možné zkrátit dobu chlazení ve formě a vyhodit výstřik dříve.



Obr. 49 Analýza času potřebného k vyhození

10.3.4 Studené spoje (Weld lines)

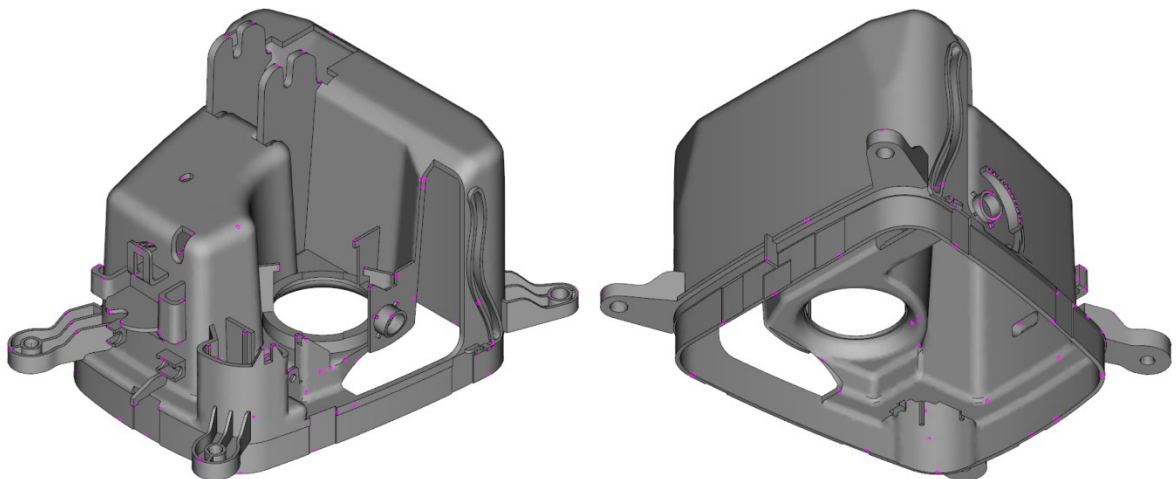
Studené spoje jsou místa, ve kterých dochází ke spojení dvou chladnoucích čel taveniny, tím vznikají slabá místa. Při návrhu výrobku a formy je tedy snaha studené spoje eliminovat. Z výsledků analýzy vyplývá, že v důsledku složitého tvaru výrobků dojde ke vzniku množství studených spojů. Nežádoucí účinky spojených spojů se dají eliminovat, použitím více vtoků, změnou polohy vtoků nebo také zvýšením teploty taveniny.



Obr. 50 Analýza studených spojů

10.3.5 Vzduchové kapsy (Air traps)

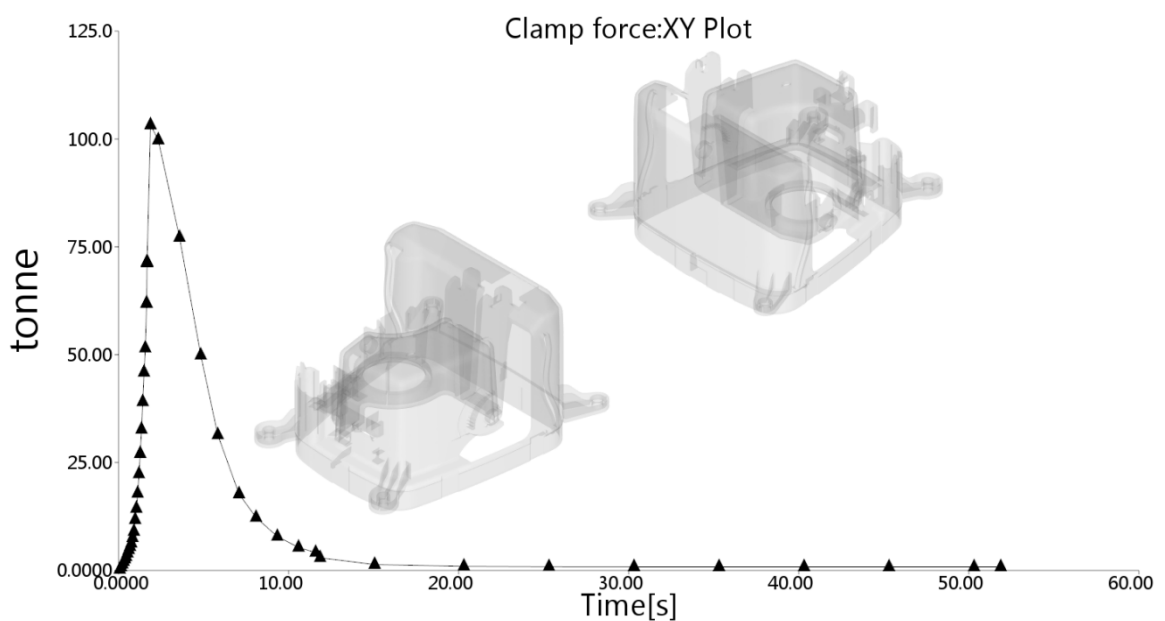
Výsledkem této analýzy je znázornění míst, ve kterých může dojít ke vzniku vzduchových kapes. V těchto místech vzniká riziko spálenin nebo bublin. Vzduchové kapsy lze eliminovat odvzdušněním formy. V místech kterými prochází dělicí rovina dojde k odvzdušnění formy mezerou mezi deskami nebo jádry.



Obr. 51 Analýza vzduchových kapes

10.3.6 Uzavírací síla (Clamping force)

Tato analýza zobrazuje průběh síly potřebné k uzavření formy na čase. Pokud by, tato síla překročila maximální uzavírací sílu vstřikovacího stroje, došlo by k pootevření formy během vstřikovacího cyklu a tavenina by unikla z dutiny formy. Z analýzy byla zjištěna největší potřebná uzavírací síla 1032 kN k této hodnotě je nutno přičíst rezervu 20%, celková potřebná uzavírací síla je tedy 1239 kN. Maximální uzavírací síla zvoleného vstřikovacího stroje je 3200 kN, k otevření formy během vstřikovacího cyklu tedy nedojde.



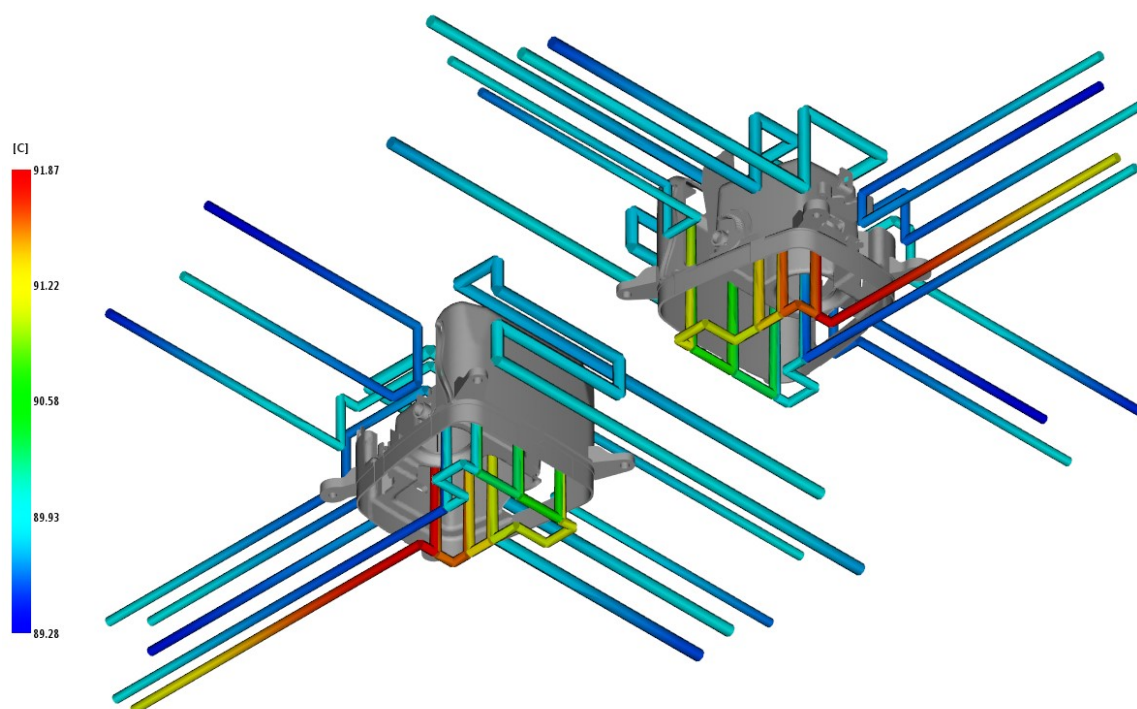
Obr. 52 Analýza uzavírací síly

10.4 Analýzy chlazení

Tyto analýzy slouží k návrhu rozmístění temperačních kanálků, volbě temperačního média jeho tlaku a k optimalizaci odvodu tepla z formy.

10.4.1 Teplota chladicího média (Circuit coolant temperature)

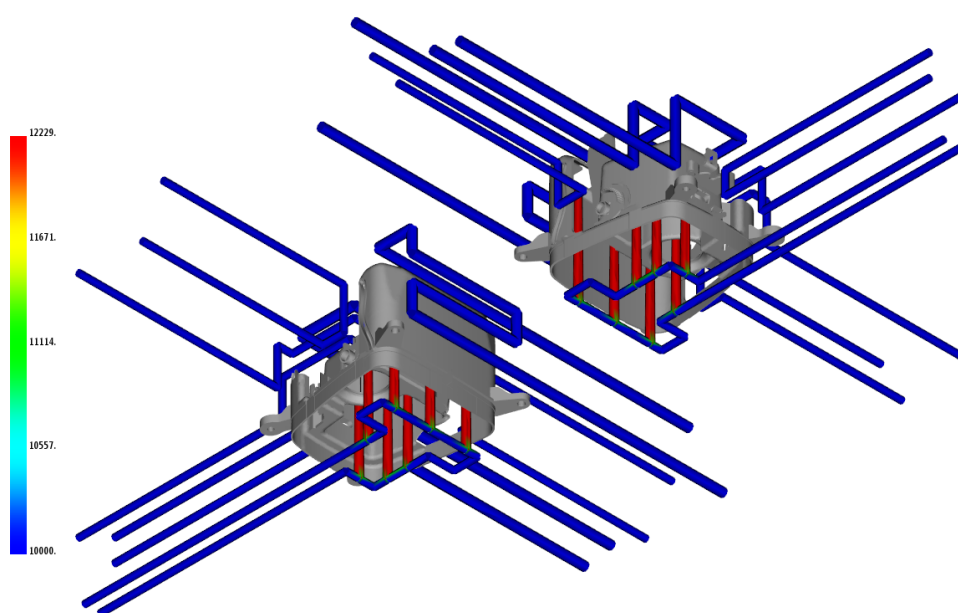
Analýza graficky znázorňuje změnu teplot v temperačním systému. Rozdíl teplota na vstupu a výstupu by neměla přesáhnout 3 °C, aby nedocházelo ke vzniku vnitřních pnutí. Ze simulace vyplývá, že největší rozdíl teplot je 2,6 °C.



Obr. 53 Analýza teploty chladícího média

10.4.2 Reynoldsovo Číslo (Circuit Reynolds temperature)

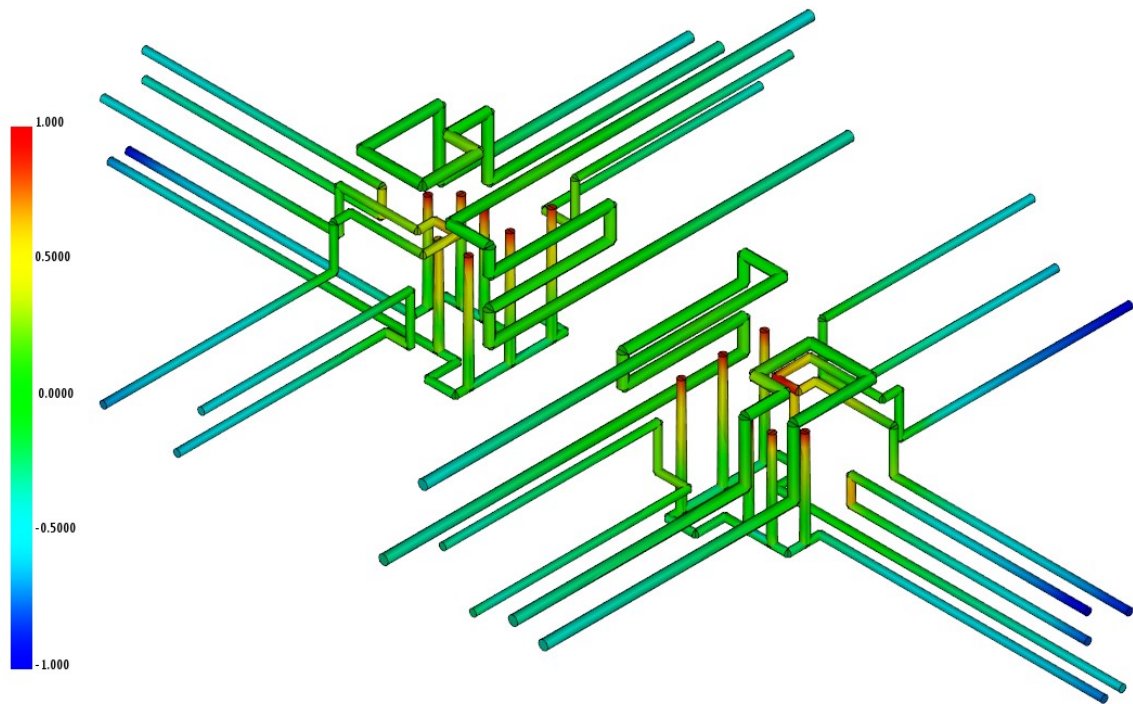
Pokud je Reynoldsovo číslo vyšší než 4000 dochází v temperačním okruhu k turbulentnímu proudění. V celém temperačním systému je Reynoldsovo číslo vyšší než 10 000, vzniká tedy turbulentní proudění, které má lepší odvod tepla než laminární



Obr. 54 Analýza Reynoldsova čísla

10.4.3 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

Tato analýza ukazuje účinnost odvodu tepla chladicími okruhy, nejvyšší efektivitu odvodu tepla mají okruhy na vrcholech můstků a v okolí dutiny formy. Temperační systém je tedy navržen správně.



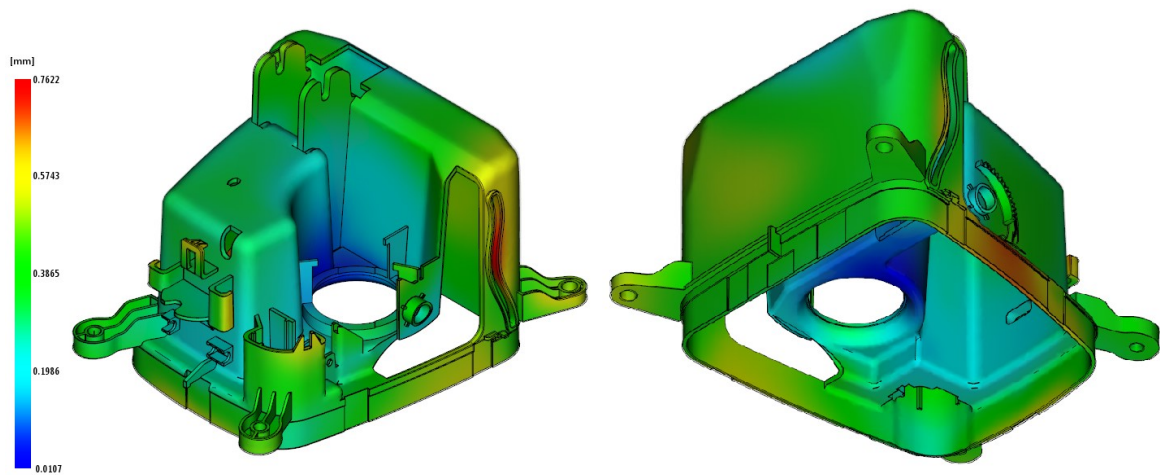
Obr. 55 Analýza efektivity odvodu tepla

10.5 Analýza smrštění a deformace

Simulace smrštění a deformace poskytují informace o změně objemu a tvaru výstřiku během tuhnutí.

10.5.1 Celková deformace (Deflection, all effects)

Tato analýza znázorňuje celkovou deformaci výstřiku, ta se zvětšuje směrem od vtoku a nabývá hodnoty až 0,76 mm. Velikost deformace výstřiku může být ovlivněna dobou chlazení, vysokou teplotou formy nebo druhem materiálu.



Obr. 56 Analýza celkové deformace

11 DISKUZE VÝSLEDKU

Podle zadaného dílu byla navržena vstřikovací forma, provedeny simulace v programu Moldflow a vytvořen výkres sestavy s kusovníkem.

Pro zadaný výrobek byl vybrán materiál PC+ABS s obchodní značkou HAC 8270 od firmy Kumho petrochemical.

Navržená konstrukce formy je dvojnásobá s horkým vtokovým systémem, bez vtokových zbytků.

Dutina formy je tvořena tvárníkem, tvárnici a třemi posuvnými jádry. Odformování bočních jader je realizováno pomocí šikmých čepů a hydraulických válců.

Vyhození výstřiku bylo zajištěno 10 válcovými vyhazovači a čtyřmi plochými vyhazovači. Vyhazovací systém je veden vodícími pouzdry a čepy.

Temperace formy je zajištěna 14 okruhy s průměry kanálků 6 a 8 mm. Pro temperaci tvárníku jsou na okruh umístěny obtokové můstky.

Rám formy byl navržen pomocí normálí firmy HASCO. Konečné rozměry formy jsou 496x796x608.

Návrh formy byl ověřen simulacemi v programu Autodesk Moldflow Insight 2016. První výsledky nebyli vyhovující. Bylo proto nutné provést změnu procesních parametrů.

Výsledky jednotlivých analýz jsou popsány v kapitolách praktické části diplomové práce.

ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce byl popsán proces vstřikování a materiály touto metodou zpracováváné. Dále jsou popsány zásady pro správný návrh vstřikovací formy.

Praktická část práce obsahuje tvorbu 3D modelu výrobku, konstrukční návrh formy pro výrobu tohoto dílu a ověření správnosti návrhu pomocí tokové analýzy v programu Moldflow.

V příloze se nachází dokumentace technických parametrů zvoleného vstřikovacího stroje, materiálové listy zvoleného materiálu, 2D výkresová dokumentace sestavy formy s kusovníkem a DVD disk na kterém se nachází 3D model výrobku a formy výkresová dokumentace, tokové analýzy a kompletní zpráva.

Výsledkem diplomové práce je konstrukční návrh vstřikovací formy. V případě výroby formy podle tohoto návrhu by se po vyrobení jednalo o plně funkční vstřikovací formu pro výrobu zadaného výrobku. Její funkčnost je podložena tokovými analýzami v programu Moldflow.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. 2. upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [3] BRUMEL, M. a kol. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977. 272 s.
- [4] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. [s. l.]: [s. n.], 2009. 247 s.
- [5] ZDENĚK, Ř. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON. 225 s. ISBN 80-86604-18-7
- [6] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R. L., SHERMAN, R. *Successful injection molding: process, desing and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.
- [7] DUCHÁČEK, V. *Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: VŠCHT 2006. 280 s.
- [8] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu*. Zlín: UTB, 2011. 152 s.
- [9] RESS, H. *Mold engineering*. 2nd edition. Munich: Hanser, 2002. 688 s. ISBN 3-446-21659-6.
- [10] SKLÁŘ, M. *Konstrukce vstřikovací formy pro kryt telefonu*. 2013. 80 s. Bakalářská práce
- [11] MENGES, G., MOHREN, P. *How to Make Injection Molds*. 2nd edition. Munich: Hanser, 1993. 545 s. ISBN 3-446-16305-0.
- [12] BEAUMONT, P., J. *Runner and Gating Desing Handbook*. Munich: Hanser Gardner Publications, 2004. 286 s. ISBN 978-1-56990-347-6.
- [13] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 637 s.
- [14] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm

- [15] Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití Ducháček V. [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [16] Vstříkovací lisy [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Vstrikovaci_lisy.pdf
- [17] Design versus vyrobiteľnosť princípy konstrukce plastových výlisků [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: <http://visi.cz/?p=1817>
- [18] General Design Principles for Engineering Polymers [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: <http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/plastics-polymers-and-resins/thermoplastics/documents/General%20Design%20Principles/General%20Design%20Principles%20for%20Engineering%20Polymers.pdf>
- [19] Brass ultrasonic/heat staking Straight Wall Thru-threaded inserts for plastic PIUTB-256 [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
<http://pemco.company.weiku.com/item/Brass-ultrasonic-heat-staking-Straight-Wall-Thru-threaded-inserts-for-plastic-PIUTB-256-10420522.html>
- [20] Vstříkovací formy [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [21] Tvářené díly z kovů a plastů [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
<http://docplayer.cz/12331513-Tvarene-dily-z-kovu-a-plastu-tvareni-kovu-a-plastu.html>
- [22] Temperace vstříkovacích forem [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
<https://publi.cz/books/179/08.html>
- [23] Tváření plastů a výroba forem II. [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
<http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/>
- [24] ARBURG ALLROUNDER 720 S [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW:
https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_720S_TD_524325_en_GB.pdf

- [25] Polymerní konstrukční materiály [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: <http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2009/10/POLYMERY-Po-RECENZII.pdf>
- [26] Vstříkovací lis na plasty [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: <http://www.lis-na-plasty.cz/>
- [27] DP Sklář 2015 [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: < http://portal.utb.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=39457 >
- [28] [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupný z WWW:
- [29] Studené a živé vtokové systémy [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [30] VSTŘIKOVACÍ FORMY – 1. vtoková soustava [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf
- [31] Vstříkovací forma a její funkce [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: <https://publi.cz/books/179/02.html>
- [32] Horké vtoky[online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Horke_vtoky.pdf
- [33] Technologie vstříkování - jevy[online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c2/Jevy.pdf
- [34] Vyhazovací sestava a vyhazovače [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
- [35] Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupný z WWW: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvou rozměrný prostor
3D	Tří rozměrný prostor
PVC	Polyvynilchlorid
CAD	Computer aided design (počítačová podpora konstrukce)
CAM	Computer aided manufacturing (počítačová podpora obrábění)
CAE	Computer aided engineering (počítačová podpora ve strojírenství)
CATIA	Computer aided three dimensional interactive application (počítačově graficky tří rozměrová interaktivní aplikace)
PC	Polykarbonát
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení polymerů [15]</i>	13
<i>Obr. 2 Vstřikovací cyklus [5]</i>	15
<i>Obr. 3 Průběh vnitřního tlaku p v dutině formy během procesu vstřikování [14]</i>	17
<i>Obr. 4 p-v-T diagram semikrystalického polymeru [1]</i>	17
<i>Obr. 5 Vstřikovací stroj [16]</i>	18
<i>Obr. 6 Řez vstřikovací jednotkou [14]</i>	19
<i>Obr. 7 uzavírací jednotka [26]</i>	19
<i>Obr. 8 Příklady přechodů tloušťky stěn a) nevhodné, b) lepší, c,d) vhodné [27]</i>	24
<i>Obr. 9 Příklady žeber: a,c) technologická, b) technická [27]</i>	24
<i>Obr. 10 Příklady konstrukce úchytů nevhodný vlevo, vhodný vpravo [17]</i>	25
<i>Obr. 11 Příklady okrajů a obrub a) nevhodné, b) vhodné [27]</i>	26
<i>Obr. 12 Příklady rýhování [27]</i>	26
<i>Obr. 13 Šroub s přerušovaným závitem [1]</i>	27
<i>Obr. 14 způsoby značení [27]</i>	28
<i>Obr. 15 Insert se závitem [19]</i>	28
<i>Obr. 16 Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [17]</i>	30
<i>Obr. 17 Průběh smrštění výstřiku [27]</i>	32
<i>Obr. 18 Vtoková soustava [30]</i>	33
<i>Obr. 19 Řadové uspořádání u vícenásobných forem [27]</i>	34
<i>Obr. 20 Symetrické uspořádání u vícenásobných forem [27]</i>	34
<i>Obr. 21 Vtoková vložka [29]</i>	35
<i>Obr. 22 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [35]</i>	36
<i>Obr. 23 Umístění vtokového ústí [27]</i>	37
<i>Obr. 24 Horký vtok s jehlou [32]</i>	38
<i>Obr. 25 Sez horkou tryskou s vnějším vytápěním [1]</i>	40
<i>Obr. 26 Konstrukce Horkého rozvodného bloku [32]</i>	40
<i>Obr. 27 Mechanický vyhazovací systém [34]</i>	42
<i>Obr. 28 Pneumatický vyhazovací systém [34]</i>	42
<i>Obr. 29 Příklady řešení temperačních systémů [14]</i>	43
<i>Obr. 30 Zadaný díl (vlevo), 3D model vstřikovaného dílu</i>	49
<i>Obr. 31 Arburg Allrounderv 720 S [24]</i>	50
<i>Obr. 32 Sestava formy</i>	51

<i>Obr. 33 Levá a pravá strana formy</i>	52
<i>Obr. 34 Hlavní dělicí rovina (červená), vedlejší dělicí roviny (modré)</i>	52
<i>Obr. 35 Rozložení dvojnásobné formy</i>	53
<i>Obr. 36 Tvárník (vlevo) a tvárnice (vpravo)</i>	54
<i>Obr. 37 Boční jádro posouvané pomocí šikmého kolíku</i>	55
<i>Obr. 38 Posun jádra pomocí hydraulického válce</i>	55
<i>Obr. 39 Horký vtokový systém</i>	56
<i>Obr. 40 Vyhazovací systém</i>	57
<i>Obr. 41 Temperační systém</i>	57
<i>Obr. 42 Transportní systém formy</i>	58
<i>Obr. 43 Vysíťovaný model výrobku</i>	59
<i>Obr. 44 Analýza odporu toku taveniny</i>	60
<i>Obr. 45 Analýza vhodnosti umístění vtoku</i>	61
<i>Obr. 46 Analýza vhodnosti umístění vtoku – zvolené místo</i>	61
<i>Obr. 47 Analýza doby plnění</i>	62
<i>Obr. 48 Analýza rychlosti smykové deformace</i>	62
<i>Obr. 49 Analýza času potřebného k vyhození</i>	63
<i>Obr. 50 Analýza studených spojů</i>	64
<i>Obr. 51 Analýza vzduchových kapes</i>	64
<i>Obr. 52 Analýza uzavírací síly</i>	65
<i>Obr. 53 Analýza teploty chladícího média</i>	66
<i>Obr. 54 Analýza Reynoldsova čísla</i>	66
<i>Obr. 55 Analýza efektivity odvodu tepla</i>	67
<i>Obr. 56 Analýza celkové deformace</i>	68

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Doporučené velikosti úkosů [1].....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2 Zaoblení hran a rohů [27].....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 3 Srovnání parametru stroje a formy</i>	<i>50</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Materiálový list HAC 8270
- PII Technické parametry stoje Allrouder 720 s
- PII Výkresová dokumentace
- PIV Kusovník
- PV DVD - disk

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST HAC 8270

**KUMHO
PETROCHEMICAL**

beyond
the best

Technical Data Sheet

ABS & PC Alloy (Engineering Plastics) HAC 8270

Features High impact, High heat resistant
Applications Automotive Instrument panel, Center panel

Physical	Test Method	Value
Density	ASTM D792	1.14 g/cm ³
Melt Flow Index (230°C, 21.6kg)	ASTM D1238	50 g/10min
Mold Shrinkage	ASTM D955	0.5 ~ 0.7 %
Water absorption	ASTM D570	- %

Mechanical	Test Method	Value
Tensile Strength	ASTM D638	550 kg/cm ²
Elongation	ASTM D638	105 %
Flexural Strength	ASTM D790	780 kg/cm ²
Flexural Modulus	ASTM D790	22,000 kg/cm ²
Izod Impact Strength(6.4mm)	ASTM D256	50 kgcm/cm
Rockwell Hardness(R scale)	ASTM D785	115

Thermal	Test Method	Value
Heat Deflection Temperature(18.6kgf/cm ²)	ASTM D648	112 °C (233.6) (°F)
Vicat Softening Temperature(5kg, 50°C/h)	ASTM D1525	125 °C (257) (°F)

Flammability	Test Method	Value
Flame Rating - UL (1.6mm)	UL 94	HB

Notes

These are just typical properties, not specifications. Users should confirm results by their own test.

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ PARAMETRY STOJE ALLROUDER

720 S

Technical data

720 S

Clamping unit			720 S								
with clamping force	max. kN		3200								
Opening force stroke	max. kN mm		800 700								
Mould height, fixed variable	min. mm		600 300								
Platen daylight fixed variable	max. mm		1300 1000-1400								
Distance between tie bars (w x h)	mm		720 x 720								
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		1040 x 1040								
Weight of movable mould half	max. kg		3600								
Ejector force stroke	max. kN mm		100 250								
Dry cycle time EUROMAP 2	1 pump	min. s - mm	4,8 - 504								
	2 pumps	min. s - mm	3,5 - 504								
	Accum.	min. s - mm	2,1 - 504								
Injection unit			1300			2100			3200		
with screw diameter	mm		55	60	70	60	70	80	70	80	90
Effective screw length	L/D		22	20	17	23	20	17,5	23	20	18
Screw stroke	max. mm		235			280			320		
Calculated stroke volume	max. cm ³		558	664	904	792	1078	1407	1232	1608	2036
Shot weight	max. g PS		510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860
Material throughput	max. kg/h PS		86	96	115	125	145	175	185	215	250
	max. kg/h PA6.6		43	48	58	62	74	88	93	110	125
Injection pressure	max. bar		2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Holding pressure	max. bar		2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Injection flow 2	1 pump	max. cm ³ /s	238	284	388	224	306	400	---		
	2 pumps	max. cm ³ /s	238	284	388	290	394	514	290	380	482
	Accum.	max. cm ³ /s	714	848	1156	1132	1540	2012	1188	1552	1964
Screw circumferential speed 2	1 pump	max. m/min	40	43	51	43	51	58	---		
	2 pumps	max. m/min	40	43	51	56	65	75	47	54	61
	Accum.	max. m/min	19	21	25	21	25	28	23	26	29
Screw torque	max. Nm		1510	1640	1920	2140	2500	2550	3140	3510	3510
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm		90 550			110 600			110 600		
Heating capacity zones	kW		22,9 8			31,4 8			38,4 8		