

Konstrukční návrh vstřikovací formy

Bc. Tomáš Gergela

Diplomová práce
2009/2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Tomáš GERGELA
Studijní program: N 3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Konstrukce technologických zařízení
Téma práce: Konstrukční návrh vstřikovací formy

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma**
- 2. Provedte konstrukční návrh vstřikovaného dílu**
- 3. Navrhněte vstřikovací formu pro daný díl**
- 4. Vhodnost návrhu ověřte pomocí simulací**
- 5. Diskutujte konečný návrh**

Rozsah 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:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 22. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 12.5.2010

.....
Gergela Tomáš

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

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

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

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

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

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

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, § 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). Odpirá-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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je zkonstruování dvou variant vstřikovacích forem s odlišnou násobností určenými pro výrobu dílce z části mechanismu dávkovače tuhého lepidla. Základní informace z oblasti vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem jsou uvedeny v teoretické části zaměřené na budoucí konstrukci forem. V praktické části diplomové práce je nakreslen 3D model výstřiku a provedena konstrukce 2D a 3D sestav. Vstřikovací forma 8 – násobná, 16 - násobná jsou řešeny shodným způsobem s využitím stavebnicového systému s použitím normálií od firmy Hasco při realizaci ve školní verzi programu CATIA V5R18. V další části je realizace forem zkontrolována tokovými analýzami v programu Moldflow a na závěr je provedeno ekonomické zhodnocení daných forem.

Klíčová slova: Vstřikovací forma, polymer, konstrukce

ABSTRACT

The aim of this diploma work is constructing of two variants injection molds with a different multiplicity intended for device production from a mechanism part of solid glue. Based information from a injection molding and injection molds design are stated in a theoretical part, that is specialized in incoming molds design. In practical part of diploma work is drawing a 3D model of product and design 2D and 3D assembly molds. Injection mold 8 multiple, 16 multiple are solved by consistent way with utilization of building-block principle with using standard parts from Hasco company in a school version CATIA V5R18 programme. In following part is realization of molds checked by flow analysis in programme called Moldflow. Economic estimation of molds is made in conclusion.

Keywords: Injection mold, polymer, design

Poděkování

Velice rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce, Ing. Michalu Staňkovi Ph.D., za odborné rady, vedení, cenné připomínky a čas, které mi věnoval při vypracování diplomové práce.

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

Ve Zlíně 19.5.2010

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.1 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.2 CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH TYPŮ PLASTŮ A VLIVY NA JEJICH VLASTNOSTI.....	15
1.3 PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	16
1.3.1 Sušení granulátu	16
1.3.2 Recyklace plastů.....	17
1.3.3 Barvení granulátu	17
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	18
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	19
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	20
2.3 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	20
2.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	21
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	23
3.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY.....	24
3.1.1 Studené vtokové systémy	25
3.1.2 Vyhřívané vtokové soustavy (VVS).....	29
3.1.3 Vyhřívané trysky	30
3.1.4 Vytápěné rozvodové bloky.....	31
3.2 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	32
3.2.1 Mechanické vyhození.....	33
3.2.1.1 Vyhození pomocí vyhazovacích kolíků	34
3.2.1.2 Vyhazování stírací deskou	35
3.2.1.3 Vyhození pomocí šikmých vyhazovačů.....	36
3.2.2 Pneumatické vyhození.....	36
3.2.3 Hydraulické vyhození.....	36
3.3 TEMPERACE FOREM	37
3.4 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	40
3.5 POSUVNÉ ČELISTI FOREM.....	40
3.5.1 Šikmé kolíky válcové	41
3.5.2 Lomené kolíky.....	42
3.5.3 Hydraulické tahače posuvných čelistí	43
3.5.4 Pneumatické tahače posuvných čelistí	43
3.6 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM.....	43
II PRAKTICKÁ ČÁST	45
4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	46

5	POUŽITÉ PROGRAMY	47
5.1	CATIA V5R18	47
5.2	AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2010	47
5.3	NM 3D UNIVERSAL MODULE V9.0.....	48
5.4	SIMCALC	48
6	SPECIFIKACE VÝROBKU	49
6.1	ZADANÝ VÝROBEK	49
6.2	VOLBA MATERIÁLU	49
7	PŘEDBĚŽNÉ ANALÝZY Z CAE.....	51
7.1	UPRAVENÍ VÝROBKU	51
7.2	POLOHA VTOKU	52
7.2.1	Flow resistance indicator – odpor toku taveniny.....	52
7.2.2	Best gate location – nejvhodnější umístění vtoku.....	52
8	NÁVRH 8 – NÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY	54
8.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU.....	54
8.1.1	Posuvné čelisti.....	55
8.1.2	Tvárník	56
8.1.3	Vyhazovací tvárník.....	56
8.1.4	Šikmý čep.....	57
8.2	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	57
8.2.1	Fill Time – čas plnění.....	58
8.2.2	Pressure at V/P switchover – tlak při přepnutí na dotlak	59
8.2.3	Pressure at injection location – průběh tlaku při vstřikování	60
8.2.4	Clamp force:XY Plot – uzavírací síla	61
8.3	ODVZDUŠNĚNÍ DUTIN FORMY	62
8.3.1	Air traps – vzduchové kapsy	62
8.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	62
8.4.1	Circuit coolant temperature – teplota chladící kapaliny.....	63
8.4.2	Time to reach ejection temperature, part – čas k dosažení teploty vyhození	64
8.4.3	Circuit heat removal efficiency – efektivita odvodu tepla	65
8.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	66
8.6	RÁM, VODÍCÍ A UPÍNACÍ PRVKY FORMY	68
8.7	DEFORMACE VÝSTŘIKU	71
8.7.1	Deflection, all effects – celková deformace	72
8.7.2	Deflection, differential cooling – celková deformace vlivem chlazení.....	72
8.7.3	Deflection, differential shrinkage - celková deformace vlivem smrštění.....	73
9	NÁVRH 16 – NÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY	74
9.1	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	74
9.1.1	Fill time – čas plnění	75

9.1.2	Pressure at V/P switchover – tlak při přepnutí na dotlak	76
9.1.3	Pressure at injection location – průběh tlaku při vstřikování	77
9.1.4	Clamp force – uzavírací síla.....	78
9.2	ODVZDUŠNĚNÍ DUTIN FORMY	78
9.2.1	Air traps – vzduchové kapsy	78
9.3	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	79
9.3.1	Circuit coolant temperature – teplota chladící kapaliny.....	80
9.3.2	Time to reach ejection temperature, part – čas k dosažení teploty vyhození	81
9.3.3	Circuit heat removal efficiency – efektivita odvodu tepla	82
9.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	83
9.5	RÁM, VODÍCÍ A UPÍNACÍ PRVKY FORMY	84
9.6	DEFORMACE VÝSTŘIKU	87
9.6.1	Deflection, all effects – celkové deformace	88
9.6.2	Deflection, differential cooling – deformace vlivem chlazení.....	88
9.6.3	Deflection, differential shrinkage – deformace vlivem smrštění	89
10	VSTŘIKOVACÍ STROJ	90
11	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	91
11.1	POŘIZOVACÍ NÁKLADY NA NÁSTROJ	91
11.2	BUDOUCÍ NÁKLADY NA OPRAVY NÁSTROJE	91
11.3	REŽIJNÍ NÁKLADY	91
11.4	NÁKLADY NA MATERIÁL	92
11.5	KALKULACE CEN	92
12	DISKUSE VÝSLEDKŮ	94
	ZÁVĚR	97
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	98
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	99
	SEZNAM OBRÁZKŮ	100
	SEZNAM TABULEK.....	103
	SEZNAM PŘÍLOH.....	104

ÚVOD

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

Kromě vstřikovacích materiálů, zejména směsí, směřovaného na konkrétní výrobní skupiny, se jedná o různé modifikace vstřikovacího procesu, včetně zařízení a forem umožňujících tyto modifikace aplikovat na výrobní praxi. Mezi nejčastější používané modifikace vstřikovacího procesu patří vícekomponentní vstřikování, vstřikování dutých a tlustostěnných dílů s využitím tlaku inertního plynu nebo vody, výrobu výstřiků se stěnami malých tloušťek, výroba strukturně lehčených plastů a taktéž dekorativní a kaskádové vstřikování.

Všechny modifikace technologie vstřikování plastů vycházejí z klasického vstřikování, přičemž je vždy nutné připravit z příslušného, případně předem upraveného granulátu teplozně co nejhomogennější taveninu, kterou působením vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti dopravíme do temperované tvarové dutiny formy. V tvarové dutině působením dotlakové fáze vstřikovacího procesu se snažíme eliminovat tepelnou objemovou kontrakci tak, aby výstřik po chlazení a vyhození z formy měl předepsané tvary a rozměry, včetně všech dalších požadovaných jakostních parametrů.

Konstrukce a samotná výroba forem je velmi finančně i časově náročná. Jednou z možností jak oba tyto prvky optimalizovat je použití normálií od firem, které se jejich výrobou zabývají. Návrh a výroba vstřikovaného výrobku a nástroje se v dnešní době již neobejde bez CAD, CAE a CAM aplikací. Tyto aplikace umožňují předejít chybám při konstrukci, ale i při zavedení výroby tohoto produktu. Výsledkem je menší množství úprav na vyrobené formě a ušetření nemalého množství finančních prostředků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Princip vstřikování je poměrně složitý tepelně-mechanický proces tváření. Materiál se ve vstřikovací stroji nejprve nahřeje na teplotu plastikace a následně se vstříkne do tvarové formy, která dá výrobku požadovaný tvar. Touto technologií vznikají rozměrově přesné a tvarově složité výrobky, které je možné používat v mnoha průmyslových oborech – elektrotechnice, zdravotnictví, potravinářství, automobilovém průmyslu a dalších. [7]

Pro vytvoření finálního tvaru výrobku je zapotřebí znát faktory ovlivňující užité vlastnosti a kvalitu výstřiku:

- výchozí materiál, ze kterého se vyrábí požadovaná součást,
- výrobní cyklu především se vstřikovacím strojem a ostatním zařízením,
- vstřikovací formu jako nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást. [1]

1.1 Materiály pro vstřikování

Plasty jsou řadou syntetických nebo polysyntetických polymeračních produktů. Řadí se do skupiny polymerů, jejichž složení se skládá z organických nebo přísadových polymerů. Velmi často se vytváří příměsi těchto plastů pro zlepšení jejich vlastností a ceny. Jejich využití je velmi rozmanité. Mohou být tvarovány pomocí vstřikovacích forem do nejrůznějších tvarů, od jednoduchých až k velmi složitým a členitým, do tenkých filmů nebo vláken. Polymerní materiály se dělí na tři velké skupiny na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. [1]

- Termoplasty jsou to makromolekulární látky s lineárními nebo rozvětvenými řetězci. Tyto materiály jsou teplem roztavitelné. V roztaveném stavu se pod tlakem vstřikují do dutiny formy, v nichž ochlazením ztuhnou na požadovaný tvar. Dále se dělí na homogenní termoplasty tzn. bez přísadových prvků a plniv nebo s přísadami pro zlepšení jejich mechanických a fyzikálních vlastností. Přísady zvyšují odolnost proti povětrnostním podmínkám, vlivům záření, hoření a zvýšeným teplotám. Mohou se také řadit do plastů s použitím plniv, čímž selepší jejich mechanické vlastnosti. Při vstřikování plastů do formy jsou stěny dutiny zahřáty na určitou teplotu, při níž by vstřikovaný materiál mohl tepelně degradovat. Proto se hlavně věnuje pozornost teplotní odolnosti a tekutosti materiálu. Tekutostí je myšlena schopnost materiálu vyplnit dokonale složité a tenkostěnné tvarové dutiny ve formě. Tekutost

je pro konstruktéra plastového výstřiku velmi důležitou veličinou. Dává konstruktérovi výrobku představu o členitosti, rozměrnosti a tenkostěnnosti, které může v určitém případě použít. Materiály s vyšší tekutostí mají obecně nižší molekulovou hmotnost a tím i nižší mechanickou únosnost. Proto u mechanicky více namáhaných výrobků se volí typy materiálu s větší molekulovou hmotností. Konstruktor se však musí spokojit s méně členitým výrobkem. [7]

- Reaktoplasty jsou makromolekulární látky, u kterých při zpracování dochází k zesíťování makromolekul, tzn. k vytvrzení. Takto vytvrzený reaktoplast je již netavitelný. Reaktoplasty, které jsou vstřikovány do dutiny formy, obsahují příslušnou syntetickou pryskyřici a plnivo. Na rozdíl od termoplastů, mají reaktoplasty vysokou tuhost a tvrdost, teplotní odolnost, tvarovou stálost i za tepla a nerozpustnost vlivem nežádoucích látek. Při změnách pracovních teplot výrobku, modul pružnosti u reaktoplastů není tolik závislý na teplotě jako u termoplastů, takže se mechanické vlastnosti při gradientu teplot příliš nemění. Nevýhodou je nepatrná tažnost. Zpracovatelnost reaktoplastů je určena hlavně tekutostí, která je ve srovnání s termoplasty všeobecně horší a závisí na druhu pryskyřice a charakteru plniva. Vstřikovací reaktoplasty jsou většinou ve formě granulátu. Výrobní cykly jsou delší než u termoplastů. [7]
- Elastomery jsou materiály s původními řetězci velmi ohebnými s přiměřenou hustotou sítě za normální teploty poddajné a pružné a zesíťování u nich nastává při vulkanizaci čímž se převedou na pryž. Jakmile je chemický proces ukončen, další tváření již není možné. Tyto materiály nejsou jen pružné, ale díky své viskoelastické povaze jsou schopny pohlcovat kinetickou energii. V tlaku a smyku vykazují relativně vysokou pevnost. Stejně jako u jiných materiálů může u nich dojít k materiálové únavě a jejich následnému porušení. Elastomerní materiály patří do hlavní skupiny polymerů, které se dále rozdělují do podskupin přírodní a syntetické materiály. [7]

Vedle běžných plastů se v současné době objevují na trhu novější, méně známé plasty:

- PEK, polyéterketon má vysokou tepelnou odolnost do 335° C (kosmonautika a chemický průmysl),
- PEEK, polyeteréterketon houževnatý s teplotou použití do 240° C (elektrotechnika, automobilový průmysl),

- PES, polyétersulfon a jeho plněné typy jsou použitelné do teplot 220° C (odolný proti hoření a záření),
 - PAI, polyamidomid plněný i prostý použitelný do teplot 220° C (sportovní potřeby a automobilový průmysl),
 - PI, polyimid s širokým intervalem teplotní použitelnosti od -240° C až do 400° C.
- [1]

Vedle těchto uvedených speciálních polymerů, existují termoplastické elastomery, které představují přechodný článek mezi termoplasty a elastomery. Při zpracování se chovají jako běžné termoplasty a po ochlazení nabývají vlastností elastomerů (vysoké pružné deformace). [1]

1.2 Charakteristika jednotlivých typů plastů a vlivy na jejich vlastnosti

Jednotlivé typy plastů mají své charakteristické funkční i zpracovatelské vlastnosti, které se dají částečně měnit nebo upravovat pomocí přísad. Zpracovatelské hledisko je neméně důležité, ale z funkčního hlediska se hodnotí především:

- mechanická pevnost při dlouhodobém nebo krátkodobém statickém i dynamickém zatížení,
- elektrické vlastnosti jako je dielektrická pevnost, vodivost,
- chemická odolnost oproti různým chemickým činitelům, pro potravinářské účely,
- optické vlastnosti jako je průhlednost, barva, lesk. [1]

Významná je:

- tekutost, která ovlivňuje tloušťku stěny výrobku, koncepci zaformování i velikost vtoků. Tím je taky ovlivněna temperace formy pro dosažení optimální teploty nástroje ve vztahu ke zpracovávanému plasty, konstrukčním a technologickým parametrům;
- velikost smrštění určuje výrobní přesnost výrobku;
- citlivost na technologické parametry výrobního zařízení. [1]

Základní vlastnosti polymerů se mohou měnit i vlivem nejrůznějších přísad a tím splnit požadavek volby vhodného plastu. Jako přísady se používají:

- vláknitá plniva především vyztužují hmotu a zvětšují její pevnost;
 - prášková plniva naopak při vyšší koncentraci snižují pevnost;
 - změkčovadla se přidávají k některým tvrdým polymerům pro získání měkkosti a ohebnosti;
 - barviva slouží k dosažení žádaného barevného odstínu;
 - stabilizátory zlepšují odolnost proti vyšším teplotám při jejich zpracování, chrání proti UV záření a proti stárnutí;
 - nadouvadla uvolňují při zpracování plyny a vytváří tak lehčenou strukturu plastu.
- [1]

1.3 Příprava materiálů před vstřikováním

Před zpracováním plastů vstřikováním se materiál upravuje v souladu s technologickým postupem, určeným na konkrétní výrobek. Většinou to bývá sušení granulátu, mísení s přísadkou rozdrčeného odpadu, barvení granulátu, míchání s nadouvadlem. [1]

Všechny uvedené úkony upravují termoplast do takového stavu, aby jeho zpracování bylo bez potíží a výsledná aplikace vyhověla požadavkům na výrobek. [1]

1.3.1 Sušení granulátu

Většina termoplastických materiálů absorbuje vlhkost ze vzduchu. To i při běžných zpracovatelských teplotách může vyvolat degradaci polymeru a tím i snížení kvality některých parametrů a také zhoršení kvality povrchu. Výstřiky jsou pak bez povrchového lesku, v místě vtoku mají povrchové vady a nesnadno se vyjímají z dutiny formy, proto je nutné materiály předsoušet. [1]

Materiál se dováží buď ve vysušeném stavu ve vzduchotěsných obalech nebo v nevysušeném stavu v papírových nebo plastových pytlích. Aby granulát nezvlhl, skladuje se před zpracováním v suchých skladech. V zimním období při převážení ze skladu do dílny se ponechá materiál aklimatizovat asi 24 hod při teplotě dílny, aby při otevření pytle nedošlo k orosení granulátu. [1]

K sušení se používají např. komorové pece s přirozeně cirkulujícím vzduchem, kde vrstva granulátu je na paletách, přičemž výška vrstvy nepřesahuje 4 cm. [1]

1.3.2 Recyklace plastů

Vadné výstřiky, odpady a vtoky vzniklé při vstřikování se mohou několikrát zpracovávat. Tato vlastnost se velmi často využívá, protože podíl odpadu, hlavně při výrobě malých výstřiků, je značný. Proto neznečištěný plastový odpad se drtí obvykle v nožových mlýnech a poté se smíchá s čistým granulátem a znovu se zpracuje, přičemž dochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností i povrchového vzhledu. [1]

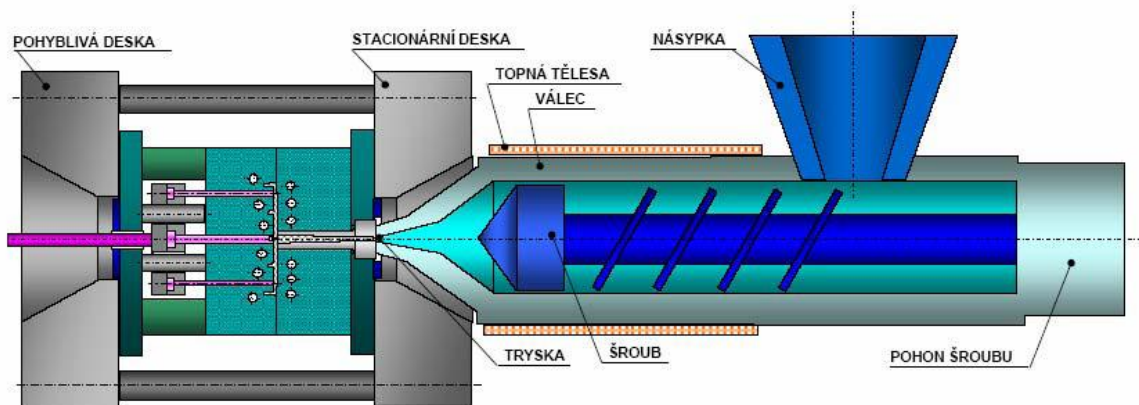
Transparentní a silně namáhané výrobky nesmějí být vyráběny s obsahem podílu drceného materiálu. Při 15 – 30 % množství odpadu v granulátu se mohou vyrábět výstřiky bez podstatného vlivu na jeho vlastnosti. V některých případech se vyrábí dílce i ze 100 % odpadu. [1]

1.3.3 Barvení granulátu

Materiály dodávané od výrobců disponují jen určitou řadou barevných odstínů, přičemž barva silně ovlivňuje dojem o daném výrobku. Při požadavku na jiný barevný odstín, je třeba jednat s výrobcem, případně si granulát obarvit, ale rozsah možných barevných odstínů je omezen barvou základního nebo barevného granulátu. Barvení se provádí dávkovacím zařízením na vstřikovacím stroji nebo se granulát vybarvuje před vstřikováním. To probíhá tak, že se barvivo ve vstřikovacím stroji smíchá s granulátem, kde se zpracuje do původního materiálu. Doporučené dávkování je 1 až 5 h. d. (hmotných dílů) s ohledem na druh barviva a zpracování. [1]

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj (Obr. 1) je jeden z hlavních činitelů výroby. Vyžaduje se od něj, aby kvalitou svých parametrů a dokonalým řízením, byla zajištěna výroba jakostních výstřiků. V současné době existuje velký počet různých konstrukcí, které se od sebe liší provedením, stupněm řízení, stálostí, rychlostí výroby, reprodukovatelností jednotlivých parametrů cenou a snadnou obsluhou.



Obr. 1. Schéma vstřikovacího stroje [6]

Nevhodně zvolený vstřikovací stroj snižuje kvalitu výstřiku, což se projeví vznikem napětí ovlivňující rozměry, pevnost a životnost. Rozměry výstřiku ovlivňuje především vstřikovací stroj svým tlakem, dotlakem, dobou dotlaku, vstřikovací rychlostí a dobou chlazení. Fyzikální a mechanické vlastnosti zase teplotou a řídicí a regulační technikou stroje. Stavebnicové uspořádání stroje svou kombinací zvětšuje rozsah své použitelnosti. Jeho tuhost a pevnost s konstrukčním uspořádáním je dalším činitelem ovlivňující kvalitu stroje. [1]

Konstrukce vstřikovacího stroje je charakterizována podle:

- plastikační jednotky - převádí materiál do plastického stavu,
- vstřikovací jednotky - vyvozuje tlak taveniny a zajišťuje dopravu taveniny do formy,
- vstřikovací formy - zajišťuje tvar výrobku,
- uzavírací jednotky - zajišťuje uzavření formy s vnitřním přetlakem,
- ovládání a řízení stroje. [1]

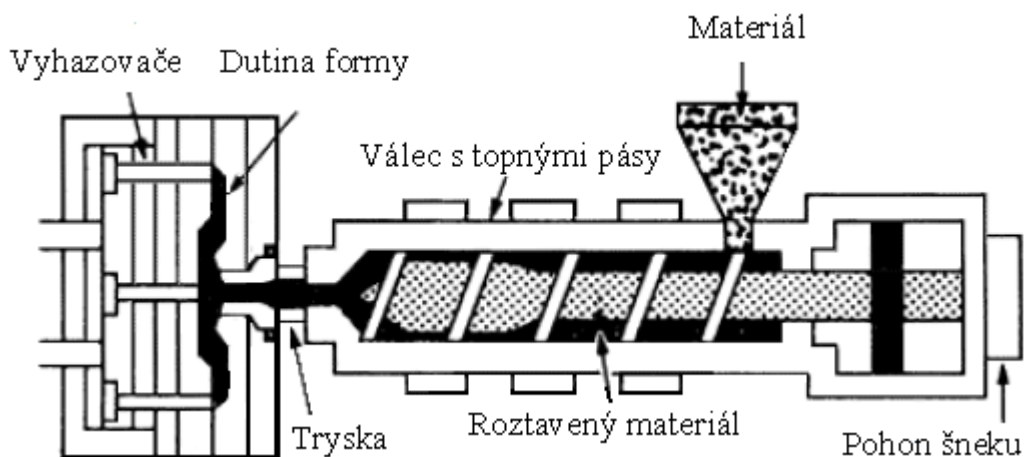
Podmínky, které zásadně ovlivňují bezporuchovou funkci výroby, se kontrolují výpočtem, přičemž se zjišťuje a ověřuje:

- množství taveniny, které se přivede do formy spolu s plastikačním výkonem stroje,
- velikost uzavírací síly,
- dostatečná dimenze formy v jejich kritických místech, s ohledem na pevnost materiálu. [1]

2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka (Obr. 2) připravuje a dopravuje požadované množství roztaveného materiálu vysokou rychlostí a velkým tlakem do vstřikovací formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90 % kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je kolem 80 %. [1]

Vstřikovací jednotka pracuje tak, že do tavného válce je dopravován zpracováváný materiál z násypky pohybem šneku. Materiál je posouván šnekem s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem a současně ho odtlačuje do zadní polohy. Vstřikovací proces může trvat jen několik sekund, ale i minuty což se odvíjí od vstřikovaného dílce. [1]



Obr. 2. Schéma vstřikovací jednotky [7]

2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu přisouvací, a sílu uzavírací. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy. [1]

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 vstřikovací formy,
- vedení pro pohyblivou desku z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. [1]

Vstřikovací 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. [1]

2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výroby výstřiku. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. [1]

Novodobé vstřikovací stroje se neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo obvyklé textové formy nastavování technologických parametrů se využívá nejrůznější grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Pracovní cyklus sestavený do potřebných programových sekvencí je pak snadno kontrolovatelný a případně i opravitelný. [1]

Koncepčně je takové seřízení rozděleno na:

- sestavení grafu vstřikovacího stroje,
- definice a nastavení parametrů,

- kontrola procesů. [1]

Nastavení vstřikovacího stroje je řídicím systémem také kontrolováno zpětnou vazbou. [1]

2.4 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus (Obr. 3) tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. [1]

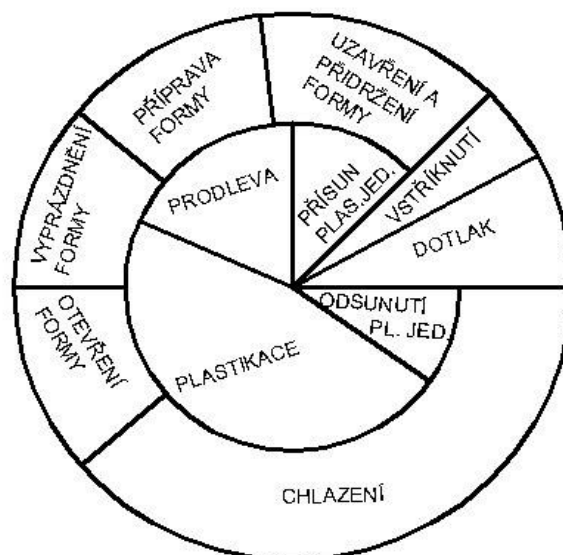
Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne – strojní časy. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla F_p , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu F_u (až třikrát vyšší), neboť 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. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty. [1]

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení je závislá na teplotě formy a tloušťce stěny výrobku. Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem, a aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy – dotlak. [1]

Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chlazení probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický a izochorický. Aby došlo k dotlačení, 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 materiálu. [1]

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. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. 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. Jestliže je tavicí komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Dále může nebo 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. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých vnitřních pnutí ve výstřicích, které u křehkých hmot mohou způsobovat až samovolné praskání výstřiku. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku a nebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém zchlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. [1]

Vstřikovací cyklus zahrnuje dvě oblasti, jedna se vztahuje k plastikační jednotce a druhá k formě. [1]



Obr. 3. Schéma vstřikovacího cyklu [1]

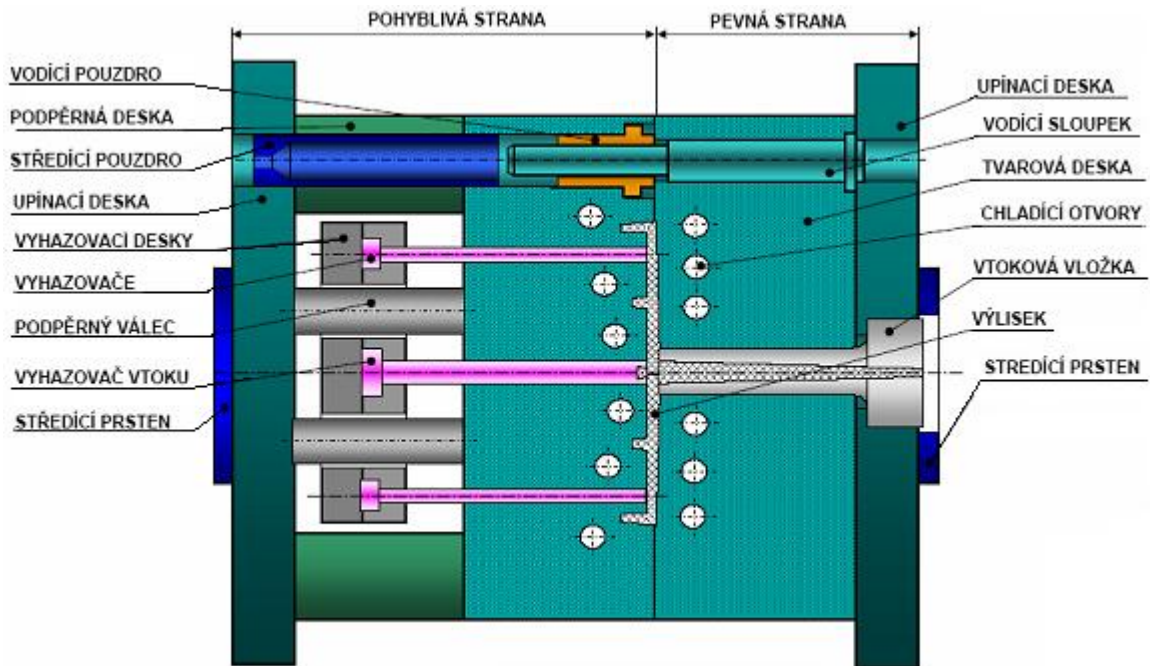
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma (Obr. 4) je nástroj, jehož použitím na speciálním vstřikovacím stroji vznikne výrobek z plastického materiálu. Dnes používané vstřikovací formy jsou technicky poměrně značně komplikovaná zařízení, na která se kladou nemalé nároky z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby. Z metodických důvodů si rozdělme vstřikovací formu na dvě oblasti. [1]

Tou první je tvarová dutina, kam bude na vstřikovacím stroji za vysoké teploty a tlaku vtlačěn materiál, který po ztuhnutí v dutině získá tvar konečného výrobku. Konstrukční řešení dutiny bývají velmi rozmanitá a kromě několika málo pravidel technologičnosti konstrukce se tvar řídí především funkčními, tvarovými a vzhledovými požadavky na plastový výrobek. [1]

Druhou oblastí je vlastní konstrukční stavba nástroje, která ve většině případů vykazuje značné prvky podobnosti. Převážná většina forem se dnes sestavuje z nějakého stavebnicového systému standardních komponent, které jsou na trhu. Konstrukční stavba takovýchto forem se skládá ze skupiny paralelních desek s různou funkcí a z řady dalších, v nich vložených nebo k nim připojených součástí, jako jsou vodicí sloupky a pouzdra, spojovací součásti, vtokový, chladicí a vyhazovací systém apod. Stavebnice se používají zejména proto, že díky nim není nutno vyvíjet a vyrábět každou jednotlivou součást formy, a navíc se jedná o velmi profesionálně promyšlené systémy, které optimálně splňují řadu funkčních požadavků:

- technické – zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti, a musí splňovat podmínku snadné manipulace i obsluhy při výrobě součástí,
- ekonomické – se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů při vysoké produktivitě práce a vysokým využitím plastu,
- společensko-estetické – umožňují vytvářet vhodné prostředí při bezpečné práci. [1]



Obr. 4. Schéma vstříkovací formy [7]

3.1 Vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Průtok taveniny vtokovým systémem je provázen složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňuje:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku,
- spotřebu materiálu,
- náročnost opracování na začátek výstřiku,
- energetickou náročnost výroby. [1]

Zásadní rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku se stejným tlakem a současně. [1]

3.1.1 Studené vtokové systémy

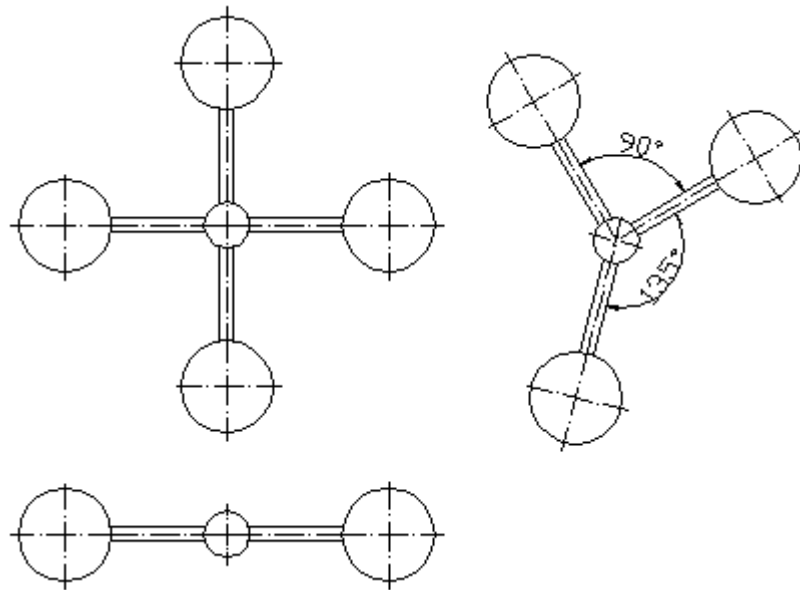
Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstřikuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed, přičemž vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). [1]

Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny po celou dobu plnění dutiny formy. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině formy nastává postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. Ve vtokových ústech ještě v tomto okamžiku dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a tím oddálení ztuhnutí taveniny. V případě, že již stroj není schopen překonat tlakové ztráty, dochází k poklesu rychlosti vstřiku a celkovému ochlazení plastu ve vtokovém systému i v dutině formy. [1]

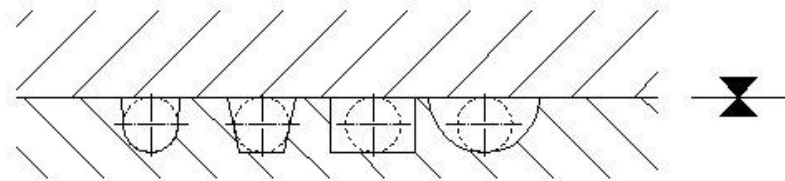
Při proudění taveniny vtokovým systémem dochází také vlivem tření k vývinu tepla, které se koncentruje do míst nejvyššího smykového napětí, přičemž dochází ke zvýšení teploty až o 200° C. Toto zvýšení je velmi krátkodobé, ale u citlivých plastů může dojít k jejich degradaci. [1]

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečovat aby:

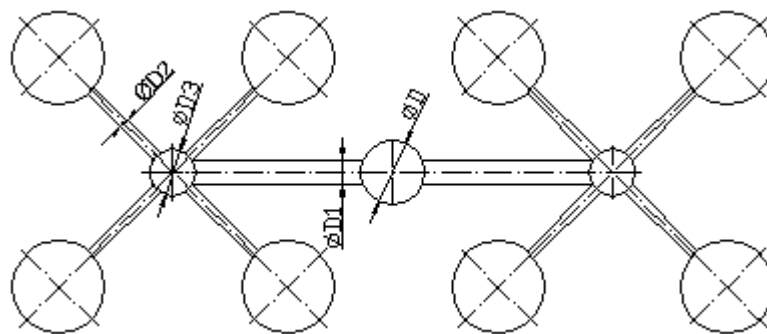
- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha toku byla ke všem dutinám stejně dlouhá (Obr. 5),
- vznikalo co nejméně studených spojů,
- průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění dutiny bude jádro ještě v plastickém stavu a tím umožní působení dotlaku. Přitom však je třeba přihlížet ke spotřebě materiálu. Vtokový kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez (Obr. 6),
- u více násobných forem je vhodné odstupňování průřezů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny (Obr. 7). [1]



Obr. 5. Vhodné řešení délek vtokových kanálů [1]



Obr. 6. Průřezy vtokových kanálů [1]



Obr. 7. Odstupňovaný průřez vtoků [1]

Pro splnění zásad je potřeba:

- zaoblení všech ostrých hran vtokových kanálů min $R = 1 \text{ mm}$,
- pro snadné odformování stanovit úkosovitost všech vtoků $1,5^\circ$,
- leštit povrch vtokového systému orientovaného ve směru vyjímání,

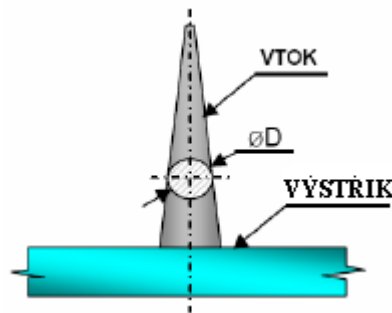
- řešit zachycení čela proudící taveniny prodloužením rozváděcích kanálů. Zabrání se tím proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny a tím snížení povrchových vad výstřiku,
- ve vtokovém systému vyloučit místa s velkým nahromaděným materiálu,
- neprovádět větvení vtokového systému pod ostrým úhlem,
- průřezy vtokových systémů pro krystalické polymery jsou větší, než pro amorfni. [1]

Koncepce vtokových ústí:

- Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jeho zúžením se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoků a tím i vytváření povrchových defektů,
- Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu v závislosti na charakteru výstřiku, plastu i technologii vstřikování. Velikost zúžení průřezu však musí spolehlivě naplnit dutinu formy a také ještě umožnit případné působení dotlaku,
- Tvar ústí vtoků bývá štěrbinový pro ploché výstřiky, nebo kruhový pro rotační a jiné díly. Šířka bývá užší, než je rozváděcí kanál. Tloušťka, nebo celý průřez se určí podle objemu výstřiku. Při konstrukci se doporučuje volit menší vtokové ústí, které se může při zkouškách formy případně upravit. [1]

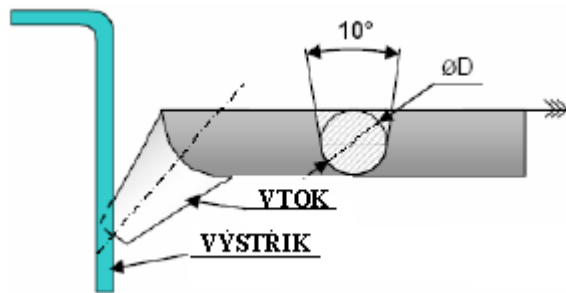
Základní typy vtokového ústí:

- Plný kuželový vtok (Obr. 8) - výhodou tohoto vtoku je malá tlaková ztráta, malá anizotropie smrštění a malé vnitřní pnutí ve výstřiku. Nevýhodou je delší výrobní cyklus a složité odstranění vtoků od výstřiku. Používá se hlavně pro tlustostěnné a rozměrné výstřiky a pro všechny druhy materiálů. [1]



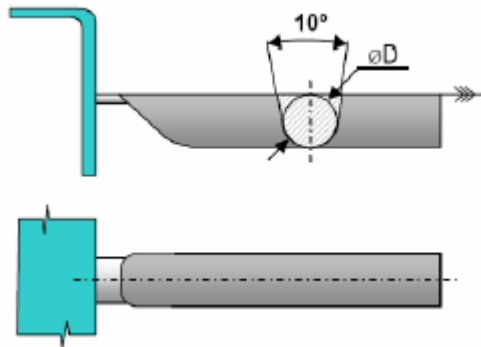
Obr. 8. Plný kuželový vtok [1]

- Tunelový vtok (Obr. 9) - výhodou tohoto vtoku je, že zbylá stopa, která zůstane na výstřiku, je poměrně nepatrná a nevyžaduje dodatečné zarovnání. Dává krátké výrobní časy a omezuje vznik nepříjemných tokových čar na povrchu výstřiku. Nevýhodou jsou velké tlakové ztráty. Používá se pro rychle vyráběné tenkostěnné výrobky. Může být použit i jako vícenásobný vtok pro jeden výrobek. [1]



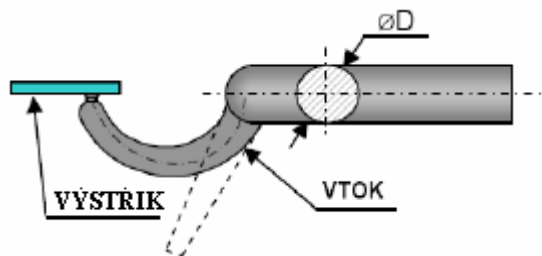
Obr. 9. Tunelový vtok [1]

- Filmový vtok (Obr. 10) - výhodou je rovnoměrné plnění formy a malé dodatečné smrštění výstřiku. Nevýhodou je větší spotřeba materiálu a nezbytnost dodatečného odříznutí vtoku od výstřiku. Používá se pro ploché rozměrné výrobky, pro prstenkové tvary a pouzdra. [1]



Obr. 10. Filmový vtok [1]

- Banánový vtok (Obr. 11) - má podobné vlastnosti jako vtok tunelový. Používá se, jestli je potřeba se dostat s vtokem pod stěnu výstřiku. [1]



Obr. 11. Banánový vtok [1]

Vtokové ústí bývá umístěno:

- do nejtlustšího místa výstřiku, aby tavenina tekla vždy z místa většího průřezu do míst s menším průřezem,
- do geometrického středu dutiny, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně,
- u výstřiku se žebry má tavenina proudit ve směru jejich orientace,
- mimo místa velkého namáhání nebo optických činných ploch výstřiku,
- u výstřiku s otvory se umísťuje ústí do těchto otvorů, nebo v jejich blízkosti,
- s ohledem na možnost úniku vzduchu z tvarové dutiny,
- aby bylo možno ovlivnit nasměrování při případném vzniku studených spojů mimo vzhledová a mechanicky namáhaná místa,
- aby stopa po odstranění vtoku nesnižovala estetickou hodnotu výstřiku. [1]

3.1.2 Vyhřívané vtokové soustavy (VVS)

Technologie vstřikování s použitím VVS spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. To umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s otlakem.

VVS se zavádějí do výroby, protože:

- umožňují automatizaci výroby,
- zkracuje výrobní proces,
- snižuje spotřebu plastu – vstřikuje se bez vtokových zbytků,
- odpadá manipulace a regenerace zbytků vtoků a problémy při jejich zpracování. [1]

Soustava vyhřívané vtokové soustavy však vyžaduje podstatně složitější a výrobně nákladnější formy, obslužný personál i strojní zařízení (konstruktér, technolog, pracovník ve vstřikově) musí být na příslušné technické úrovni. Je zapotřebí zajistit VVS včetně regulátorů a snímačů teploty což zvyšuje energetickou náročnost výroby. [1]

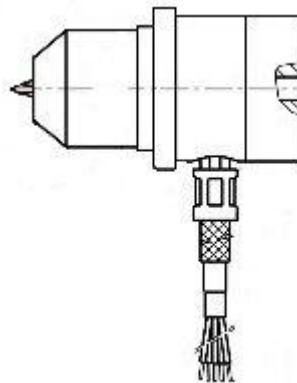
Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu. Ekonomickou výhodnost forem pro bezodpadové vstřikování je třeba posuzovat z hlediska výrobního procesu. Určujícími faktory jsou nepřetržitý provoz, dokonalé zpracovatelské vybavení i vhodné zpracovatelské vlastnosti plastů. [1]

Pro vstřikování pomocí vyhřívaných vtokových systému se využívá tři způsobů:

- izolované vtokové systémy,
- vyhřívané trysky,
- vytápěné rozvodové bloky. [1]

3.1.3 Vyhřívané trysky

Konstrukce vyhřívaných trysek (Obr. 12) umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Vyhřívané vtokové soustavy si uživatel sám nevyrábí, ale nakupuje u specializovaných firem, které je vyrábí v širokém konstrukčním sortimentu. [1]



Obr. 12. Vyhřívaná tryska [8]

Konstrukční provedení přímo ohříváných trysek je charakterizováno dvěma základními principy:

- trysky s vnějším topením, kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je z tepelně vodivého materiálu a z vnějšku je umístěno po obvodě trysky topení,
- trysky s vnitřním topením, kde tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpédo), zhotovenou také z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. [1]

Zmíněné typy trysek jsou konstrukčně upraveny tak, že ústí je:

- otevřené pro plast, který netáhne vlas (PE),
- se špičkou (s hrotem) pro plast náchylný k tažení vlasu (PS, ABS, PP),
- s uzavírací jehlou,
- speciálně tvarované. [1]

Vyústění vtoku do dutiny formy může být provedeno:

- jedním otvorem přímo proti vtokovému kanálu. U tohoto uspořádání však při rychlejším pracovním cyklu někdy tavenina nestačí zatuhnout a na výstřiku zůstane stopa ve tvaru výstupku, nebo se „táhne vlas“;
- více otvory, kde je odstraněna nevýhoda popisovaná u předešlé trysky. [1]

3.1.4 Vytápěné rozvodové bloky

Vstřikovací formy s rozvodným blokem se používají v kombinaci s vyhřívanými nebo i izolovanými tryskami s předkomůrkami. Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. [1]

Rozváděcí blok je ocelový, uložen mezi upínací a tvarovou deskou v pevné části formy. Jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i uložení trysek. Vyrábí se ve tvaru I, H, X, Y hvězdice. Většinou je tepelně izolován od ostatních částí forem vzduchovou mezerou. [1]

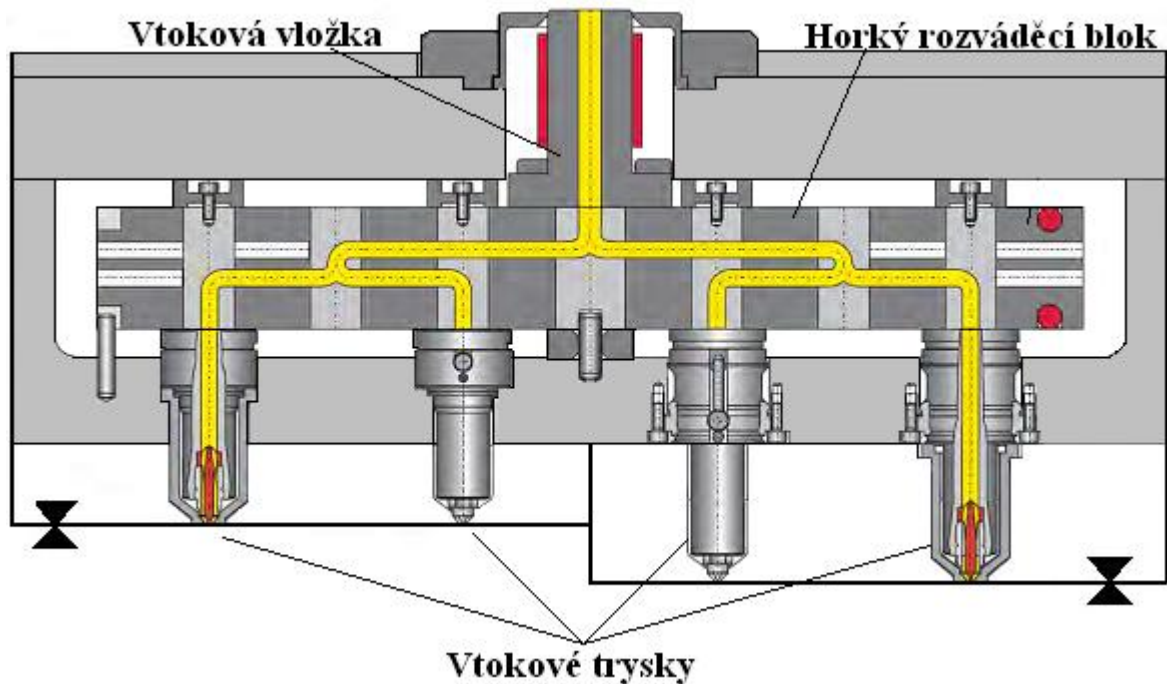
Vytápěné rozvodové bloky (Obr. 13) jsou vytápěny nejčastěji zvenku elektrickým odporovým topením pomocí topných hadů zalitých mědí nebo topnými patrony s vytápěním zevnitř. Vytápění je řízeno tepelným regulátorem, ovládané jedním nebo více čidly umístěné na vhodném místě bloku. [1]

Otvory kanálů pro proudící taveninu musí být pečlivě provedeny, protože nikde nesmí vzniknout ostré hrany a přechody s mrtvými kouty taveniny. [1]

Instalovaný výkon ohřevu rozvodného bloku musí být takový, aby se dosáhlo:

- rychlého ohřevu,
- dostatečné teploty pro optimální tok taveniny v bloku i případně trysce,

- eliminace tepelných ztrát (vodivostí, prostupem, vyzařováním). To tím způsobem, že se minimalizuje plocha pro přestup tepla, izolace bloku a lesklé opracování. [1]



Obr. 13. Vytápěný rozvodový blok [8]

3.2 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systém slouží k vyhazování výstřiků z formy, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřík a zajišťuje automatický výrobní cyklus, který má dvě fáze:

- dopředný pohyb - vlastní vyhození,
- zpětný pohyb - návrat vyhazovacího systému do původní polohy. [2]

Základní podmínkou dobrého vyhození výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn (větší než 30°) ve směru vyhazování. Vyhazovací systém musí výstřík vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. [2]

Systémy se dají využít k vytváření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. U hlubokých tvarů je třeba počítat s jejich zavzdušněním. Mimo výstřiků se vyhazuje i vtokový zbytek. Při vhodném uspořádání se může vtokový zbytek od výstřiku záměrně oddělit. Pohyb vyhazovacího systému se vyvine:

- narážecím kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otevírání formy,
- hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením, které je součástí vstřikovacího stroje (umožňuje měkké vyhazování),
- ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanizmy (pro jednoduché a zkušební formy). [2]

Zpětný pohyb vyhazovacího systému je zajišťován:

- vratnými kolíky,
- pružinami vždy v kombinaci s jiným systémem,
- speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením. [2]

Vhodný vyhazovací systém, který je třeba použít, musí vyvodit potřebnou vyhazovací sílu pro vyhození výstřiku z formy. Po otevření formy zůstává výstřik vlivem smrštění plastu obvykle na tvárníku. Může ale zůstat i v tvárnici, proto je snahou, aby výstřik zůstal v té části formy, kde jsou vyhazovače. Potřebná velikost vyhazovací síly závisí na:

- velikosti smrštění výstřiku ve formě,
- členitosti výstřiku a jakosti funkčních ploch tvárníku formy,
- technologických podmínek vstřikování (tlak, teplota materiálu a formy, doba chlazení),
- pružných deformací formy. [2]

3.2.1 Mechanické vyhození

Nejrozšířenějším vyhazovacím systémem je mechanické vyhazování, které se používá všude tam, kde je to jen možné a jeho konstrukce má různá provedení, která představují:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkovými vyhazovači,
- šikmé vyhazování,
- postupné vyhazování. [2]

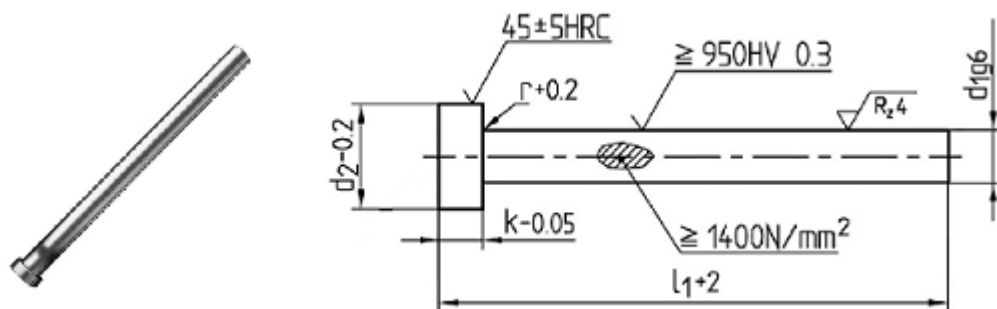
Ve zvláštních případech, kdy je výstřik mělký, se vyhazovače nemusí použít, protože postačí jen vyhození vtokového zbytku, se kterým je výstřik spojen. [2]

3.2.1.1 Vyhození pomocí vyhazovacích kolíků

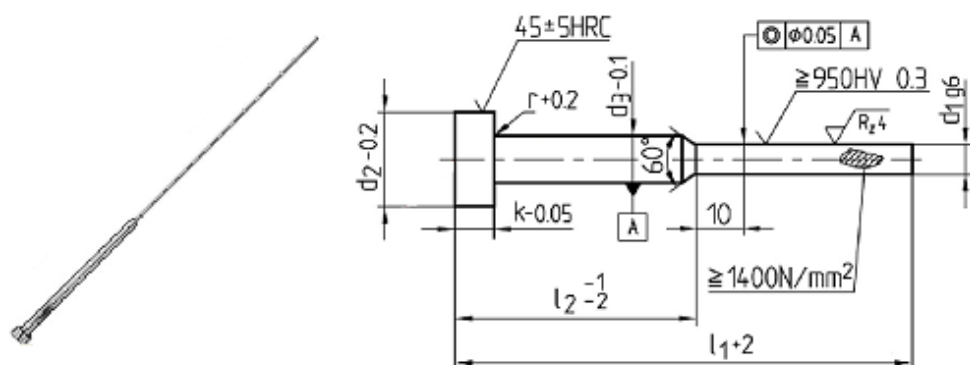
Je nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhození výstřiku z dutiny formy a lze použít tam, kde je možno umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Kolík se má opírat o stěnu nebo žebro výstřiku a nesmí ho při vyhazování bortit, jinak by mohla nastat jeho trvalá deformace. Po styčných plochách kolíků zůstávají na výstřiku stopy, proto není vhodné je umístit na vzhledové plochy. [2]

Kolíky mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné, jsou válcové a mohou mít i odlišný tvar. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle tekutosti materiálu. Vůle v uložení slouží jako odvzdušnění formy. [2]

K ukotvení a ovládání vyhazovacích kolíků slouží vyhazovací deska, která je součástí vyhazovacího systému celkové formy. U větších rozměrů vyhazovacích desek je vhodnější, aby ve formě nedosedaly na celou plochu, ale jen na zvláštní dorazy. [2]



Obr. 14. Válcový vyhazovač [8]



Obr. 15. Prizmatický vyhazovač [8]

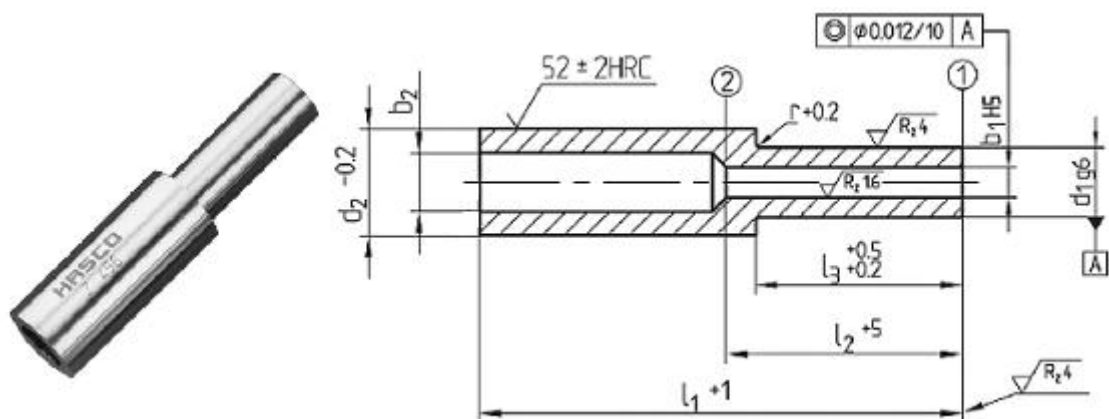
3.2.1.2 Vyhazování stírací deskou

Vyhazování stírací deskou jde o princip stáhnutí výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k velké styčné ploše, nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Jeho deformace pak jsou minimální a stírací síla velká. Použití stírací desky je především u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá – li výstřik na stírací desku v rovině, nebo plocha výstřiku je mírně zakřivena. [2]

Pohyb stírací desky může být podle účelu a koncepce formy vyvozen:

- tlakem vyhazovacího systému,
- tahem ve speciálních případech (obvykle při rozevírání formy jeho pevnou deskou).

[2]



Obr. 16. Trubkový vyhazovač [8]

Funkce trubkového vyhazovače (Obr. 16) je speciálním případem stírání tlakem. Vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Zatím co vyhazovací kolík je upevněn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro. [2]

Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu. Působí přes vyhazovací desku spolejnou táhly se stírací deskou. Síla může být také vyvozena pružinami, hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením. U třídeskových forem se používá stírací deska ovládána tahem pomocných mechanismů, kdy výstřik a vtoky jsou v rozdílných dělicích rovinách a zaformování nedovoluje použít jinou koncepci stírání, či vyhození. [2]

3.2.1.3 *Vyhození pomocí šikmých vyhazovačů*

Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy k ní pod různými úhly. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním, nebo vnějším zápichem a tak se odstraní náročně posuvné čelisti s klínovým mechanismem. Při vyhazování výstřiku se zápichem, vyhazovače svým šikmým pohybem uvolňují zvětšenou, případně zmenšenou část výstřiku při jeho současném vyhození. Zápich může být vytvořen přímo na vyhazovači, nebo s šikmo uloženými kolíky jsou pevně spojeny čelisti, se kterými plní obdobnou funkci. [2]

3.2.2 **Pneumatické vyhození**

Je vhodným systémem pro vyhození slabostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhození zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování větších, objemných výstřiků vyžaduje značné zvětšení formy, bez záruky dobré funkce. [2]

Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch, který je přiváděn přes ventil (talířový, jehlový nebo různé kolíky) mezi výstřik a líc formy. Tím umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou na výstřiku stopy po vyhazovačích. [2]

Pro automatické formy je třeba volit vyhazovací systémy taky, aby dva nezávislé systémy zabezpečovaly vyhození výstřiku z dutiny formy. Přitom lze kombinovat různé systémy mechanické, nebo mechanické s pneumatickými. [2]

3.2.3 **Hydraulické vyhození**

Bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. S přímo zabudovanými hydraulickými jednotkami ve formě, které pracují jako vyhazovače, se setkáváme již méně. Více se používají k ovládní bočních posuvných čelistí. [2]

Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě, a s její pomocí se přímo ovládají vyhazovací kolíky stírací desky. Hydraulické systémy se vyznačují velkou vyhazovací silou, kratším a pomalejším zdvihem. [2]

3.3 Temperace forem

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části. [2]

Teplota forem a zvláště jejich dutin není během vstřikování konstantní. Po vstřiku nejprve stoupá, potom klesá v důsledku odvodu tepla temperačním systémem. Kolísání teplot má být co nejmenší, proto je nutné optimalizovat temperační proces. To znamená volit správně velikost a rozmístění kanálů i rychlost a správné nastavení teploty temperačního media. [2]

Tab. 1. Požadované teploty formy při zpracování plastů [2]

Termoplast	Teplota taveniny [° C]	Teplota formy [° C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
PE-HD	180-270	20-60
PE-LD	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC - tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. [2]

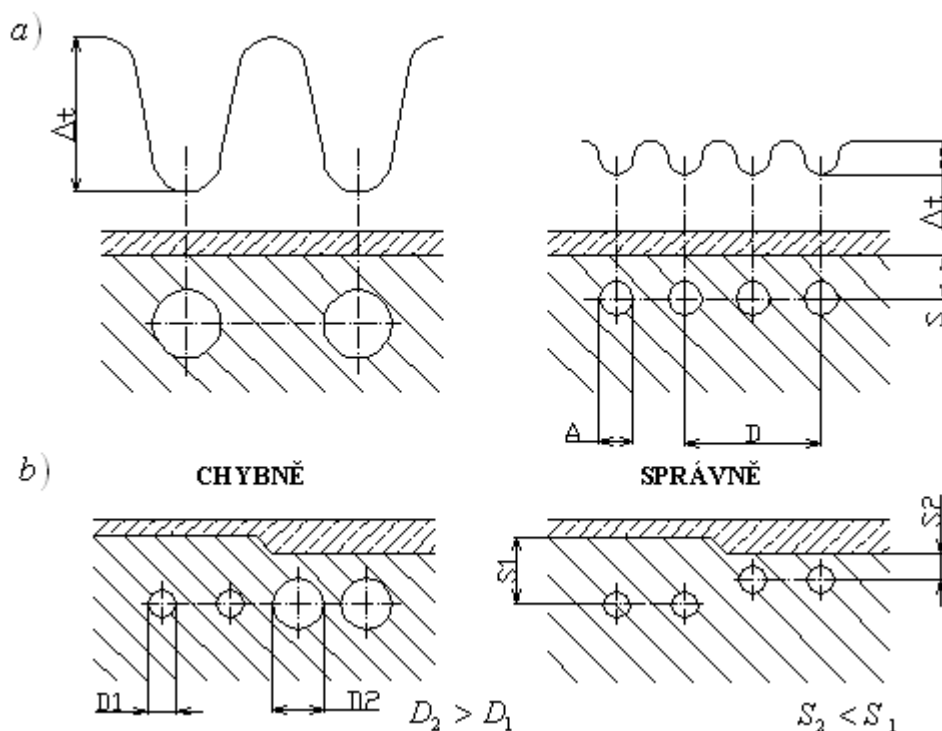
Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy se však záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštěním plastu. [2]

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí na požadované výši. [2]

Tab. 2. Kapaliny určené k temperování [2]

Typ	Výhody	Nevýhody	Poznámka
voda	vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost.	použitelné do 90° C, vnik koroze, usazování kamene.	v tlakových okruzích možno vodu použít i při vyšších teplotách, lze potlačit upravením vody.
olej	možnost temperace i nad 100° C.	zhoršeny přestup tepla.	
glykoly	omezení koroze a ucpá- vání systému.	stárnutí, znečišťování prostředí.	

Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin, se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od funkční dutiny má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny funkční dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního media. Je vhodnější použít menších kanálů s malými roztečemi a kolem dutiny formy se kanály rozmisťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. V oblasti tlustší stěny výstřiku, případně v jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přiblíží k dutině formy. [2]

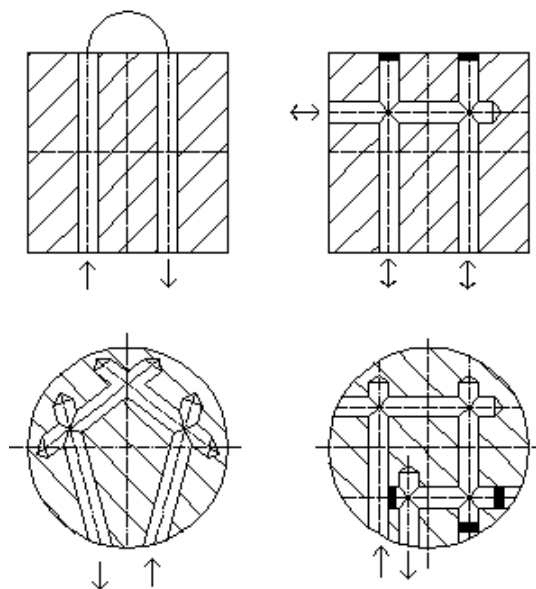


Obr. 17. Vliv rozmístění temperačních kanálů [2]

- a) Vliv rozmístění kanálů na průběh teploty povrchu tvárnice
b) Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny

Při volbě temperačního systému je třeba dodržovat následující pravidla:

- kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny formy, při zachování její dostatečné tuhosti,
- kanály umístit a dimenzovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny,
- průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího k nejchladnější místu formy,
- průřez kanálů se volí s ohledem na tvar výstřiku,
- kanály mají procházet celistvým materiálem formy, ale pokud to není možné je třeba stykové spoje utěsnit,
- po cestě temperačního media se nemají vytvářet mrtvé kouty, protože se v nich usazují nečistoty a jsou počátečními body ohniskem koroze a tím zarůstání kanálů,
- průměr kanálů nemá být menší než 6 mm, jinak hrozí nebezpečí ucpání nečistotami, vodním kamenem. Menší kanály vyžadují použití upravené vody,
- kanály konstruovat tak, aby se daly jednotlivé větve propojit hadicemi různým způsobem a pořadím. [2]



Obr. 18. Příklady chlazení čtvercových a kruhových desek [2]

3.4 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin formy zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku. [2]

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Vzduch může uniknout kolem jader, vyhazovacích kolíků a pohyblivých částí formy. V případě nedostatečném odvzdušnění je třeba formu opatřit odvzdušňovacími kanálky. Jedná se o jemnou drážku obdélníkového průřezu vytvořenou v dělicí rovině. [2]

Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (spálené místo na výstřiku), kdy není ze vzhledových nebo pevnostních důvodů přípustné. Při pomalém plnění dochází k tvoření a uvolňování ztuhlého polymeru ze stěn formy a jeho strhávání do proudící taveniny. Tyto částice pak působí jako heterogenní vměstky a nepříznivě ovlivňují vlastnosti výstřiku. Zvýrazňují také vznik studených spojů v místech styku dvou, nebo více proudů taveniny. Jejich vliv pak negativně působí na mechanické vlastnosti výstřiků, neboť představuje zdroj lomových poruch, zvláště u amorfních materiálů. [2]

Volba místa pro odvzdušnění ve formě je někdy zřejmá z tvaru výstřiku, jindy však je jen obtížně zjistitelná. Je třeba se řídit úvahou, jakým způsobem a směry naplní proudy taveniny dutinu. Pokud úvaha o umístění odvzdušnění je nejasná, je úkolem konstruktéra, aby taková místa vytipoval a učinil ve formě některá opatření, aby i při nesprávném předpokladu, se odvzdušnění dalo snadno realizovat. [2]

Stopy po odvzdušnění jsou někdy na výstřiku viditelné. Tam kde nejsou přípustné vzhledové vady, je nutné se postarat o to, aby na vzhledové ploše k defektu nedošlo. Taky je zapotřebí znát funkci výstřiku, aby bylo možno se vyhnout studeným spojům v místech, kde z pevnostních důvodů to není vhodné. [2]

3.5 Posuvné čelisti forem

Výstřiky s bočními otvory, výstupky, s vnějšími závitky nebo různými zahlobenými, které leží kolmo k ose formy, se řeší s pohyblivými čelistmi. K ovládání těchto částí formy, které

tvoří někdy další přidavné dělicí roviny, se používají mechanických, pneumatických nebo hydraulických prvků. [2]

Pohyblivé čelisti mohou ukotvit jádra, nebo formují tvarové části výstřiku, které nelze jinak zaformovat. Dělí se na čelisti vnitřní nebo vnější, s pohybem nejčastěji kolmým, nebo i pod různými úhly k ose formy. [2]

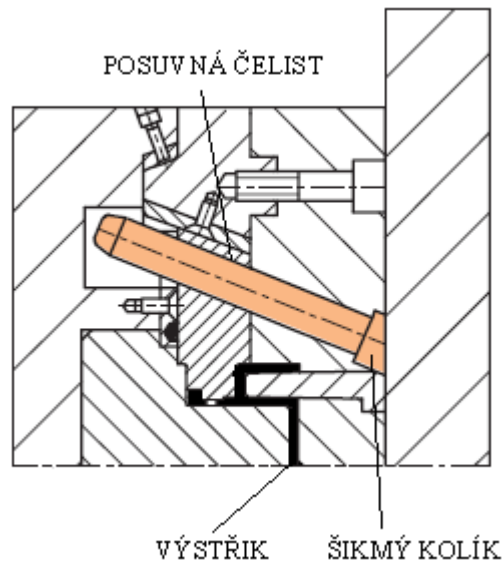
Čelisti jsou zpravidla ukotveny na pohyblivé části formy. Pohyb je ovládán pomocí šikmých nebo lomených kolíků, případně pneumatickými nebo hydraulickými tahači. Mechanické šikmé, válcové nebo lomené kolíky využívají při své funkci otevíracího a uzavíracího pohybu vstřikovacího stroje formy. V sevřené poloze je třeba čelisti pevně opřít „uzamknout“. Čelist se uzamkne tím, že je opatřena svou vnější zkosenou částí o opěrnou lištu pevné desky formy. Zajištění otevřené polohy se provádí pomocí pružiny a kolíku i dalšími způsoby. [2]

3.5.1 Šikmé kolíky válcové

Vysouvají boční čelisti současně s otevíráním formy, jen s nepatrným zpožděním ovlivněným vůlí (obvykle 0,2mm) v otvoru šikmého kolíku, který se pohybuje pod úhlem 15° až do 25° . [2]

Šikmý kolík (Obr. 21) provádí především otvírací pohyb. Otevřená poloha se zajišťuje např. kuličkou nebo jinou západkou. Uzavření je opět prováděno šikmým kolíkem, který je v čelisti veden v otvoru s vůlí. Čelist se zajišťuje v pracovní poloze při vstřikování její uzavírací plochou a opěrnou plochou pevné desky formy, případně zajišťovacími kolíky. [2]

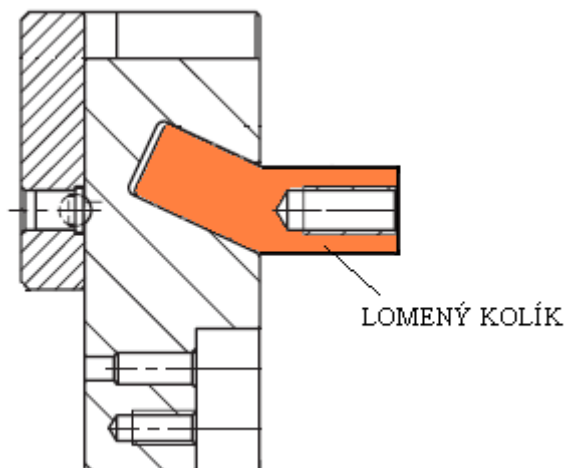
Šikmé kolíky se používají tam, kde se nevyžaduje žádné, nebo malé zpoždění vysouvání čelistí při otevírání hlavní dělicí roviny. Vůle mezi kolíkem a otvorem může být až 3 mm. [2]



Obr. 19. Forma s posuvem čelistí pomocí válcového kolíku [8]

3.5.2 Lomené kolíky

Zajišťují nucený pohyb bočních čelistí při otevírání a uzavírání formy podobně jako šikmé kolíky, jen s tím rozdílem, že umožňují poměrně delší zpoždění odsunu čelistí při otevírání formy. Kromě zpoždění mají lomené kolíky (Obr. 22) tu výhodu, že úhel sklonu uzavíracích ploch může být menší a tím se dosáhne větší uzavírací síly. Úhel sklonu bývá 12° až 25° a úhel uzamykacích ploch 15° . [2]



Obr. 20. Lomený kolík [8]

3.5.3 Hydraulické tahače posuvných čelistí

Používají se u pohyblivých čelistí pro vytažení dlouhých, těžkých jader nebo pro postupné vytahování více jader. Čelisti lze ovládat a otevírat:

- před otevřením formy,
- v jakékoli fázi otevření formy,
- až po celkovém otevření formy. [2]

Pohyby se dají snadno ovládat hlavně pomocí koncových spínačů a mohou být řízeny elektromagnetickými rozvaděči, podle předem stanoveného postupu. Pohyb se vyznačuje stejným chodem. [2]

Hydraulické válce bývají napojeny na hydraulický okruh vstřikovacího stroje, nebo na samostatný hydraulický agregát a ovládání je propojeno s pracovním cyklem vstřikovacího stroje. Umístění válců je závislé na charakteru výrobků, konstrukci nástroje a velikosti vstřikovacího stroje. [2]

3.5.4 Pneumatické tahače posuvných čelistí

Při jejich funkci je třeba brát v úvahu stlačitelnost vzduchu, která může mít za následek nerovnoměrný nebo trhavý pohyb ovládané čelisti. Tlak vzduchu ve válci se pohybuje kolem 0,4 až 0,6 MPa. [2]

Výhodou pneumatických válců je možnost pohybu posuvné čelisti i při uzavřené formě, pokud není uzamčena. Toho se s výhodou používá pro vytahování jader z bočních stěn výstřiku. [2]

3.6 Materiály používané při výrobě forem

Vstřikovací formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se vyžaduje dosažení požadované kvality, životnost a nízkých pořizovacích nákladů. Významný činitel pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené:

- druhem vstřikovaného plastu,
- podmínkami vstřikování,

- přesností a jakostí výstřiku,
- vstřikovacím strojem. [2]

Oceli jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit, jen neželeznými slitinami kovů (Cu, Al). Účelné konstrukce, vhodné vložkování, celková dimenze jednotlivých dílů, tepelné zpracování i způsob zacházení s formou, má vliv na kvalitu forem. Ostatním druhům materiálů je třeba věnovat pozornost. Některé jejich fyzikální vlastnosti (tepelně vodivé, izolační) je předurčuje pro speciální použití na některé díly forem. [2]

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, a proto vyžadují specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr má být s ohledem na jejich funkci, opotřebení a životnost. [2]

Pro výrobu forem se proto používají takové materiály, které budou splňovat provozní požadavky v optimální míře, a úspěšný vývoj univerzálních ocelí s širokým rozsahem použití stále roste:

- oceli konstrukční k použití v přírodním i zušlechtěném stavu,
- oceli snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování,
- oceli uhlíkové k zušlechtování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností,
- oceli k nitridování,
- oceli antikorozi používané při zpracování plastů,
- oceli martenzitické vytvrditelné deformací při tepelném zpracování. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracovat literární rešerši na dané téma,
- provést konstrukční návrh vstříkovaného dílce,
- navrhnout vstříkovací formy s odlišnou násobností pro daný díl,
- návrhy doložit výkresovou dokumentací,
- vhodnost návrhu ověřit pomocí simulací,
- provést zhodnocení návrhu.

Cílem teoretické části je popis technologie vstříkování. V první části práce je principiálně popsána technologie vstříkování až do hloubky použitých materiálu s následnou úpravou před zpracováním. V druhé části je jednotlivě popsán vstříkovací stroj s jednotlivými jednotkami. V poslední teoretické části je popsán celkový konstrukční návrh vstříkovací formy se zaměřením na budoucí konstrukční návrh forem.

Cílem praktické části je nejprve zkonstruovat 3D model výrobku a následně s využitím teoretické části zkonstruovat dvě vstříkovací formy s odlišnou násobností 8 a 16 v programu CATIA V5R18. Pro lepší navrhnutí z počátku provést předběžné analýzy pro určení vhodného umístění vtokové ústí. Po realizaci vstříkovacích forem vhodnost návrhu ověřit pomocí analýz za podpory programu Moldflow. V neposlední části ověřit podle parametrů navrhnutý vstříkovací stroj. V poslední části diplomové práce je za úkol zjistit, která z dvojice forem bude ekonomicky výhodnější s ohledem na cenu finálního výrobku za použití programu Simcalc.

5 POUŽITÉ PROGRAMY

5.1 Catia V5R18

Catia V5 je vyspělý CAD/CAM/CAE systém předního světového producenta, francouzské firmy Dassault Systemes, představuje v současné době špičku mezi inženýrskými systémy určenými pro počítačem podporovaný vývoj nových výrobků.

Systém Catia V5 se vyznačuje značnou úrovní průmyslové univerzality, tzn., že může být nasazen do zcela rozdílných oblastí strojírenství. Široké spektrum modulů, kterými Catia V5 disponuje, umožňuje vytvářet softwarové řešení sladěné s konkrétními podmínkami a požadavky uživatelů. Může to být např. automobilový či letecký průmysl, výroba spotřebního zboží a stejně tak i výroba obráběcích strojů nebo investičních celků těžkého strojírenství. Jednou z mnoha oblastí, pro kterou Catia V5 nabízí své možnosti, je výroba speciálních nástrojů, zejména forem pro injekční vstřikování plastů. [10]

5.2 Autodesk Moldflow Insight 2010

Autodesk Moldflow Insight je nástroj pro hloubkovou analýzu vstřikovacího procesu, simulaci tvorby forem, analýzu, optimalizaci a hodnocení tvorby plastových komponentů s využitím největší globální databáze plastových materiálů, kde je uvedeno cca 8 000 typů termoplastů s hodnotami technologických podmínek, reologických vlastností, pvT vlastností, teplotních dat, mechanických dat a hodnot smrštění, které umožňují optimalizaci návrhu dílu, nástroje a výroby. Výpočtové moduly jsou určeny pro komplexní analýzu vstřikovacího procesu dvoukomponentního vstřikování, zástříků, analýzy vstřikování se systémem Dynamic Feed, vstřikování s technologií GIT a vstřikování termosetů. Dále je možno analyzovat průhyb jádra ve formě a změnu tloušťky stěny výstřiku a kompletní mechanickou analýzu na síti střednicové plochy.

Autodesk Moldflow Insight napomáhá snížit nákladné přepracování vstřikovacích forem, minimalizovat zpoždění s odstraněním nedokonalosti z výroby a inovační výrobky lépe implementovat na trh. [11]

5.3 NM 3D Universal Module V9.0

Firma Hasco napomáhá díky knihovně normálíí NM 3D Universal Module V9.0 ke zlepšení návrhu vstřikovacích forem. Knihovna se skládá z normalizovaných 3D dílů, které jsou rozděleny do určitých skupin a podskupin podle rozměrů, použití, funkci a lze je jednoduše vygenerovat a převádět do programu Catia V5R18.

5.4 Simcalc

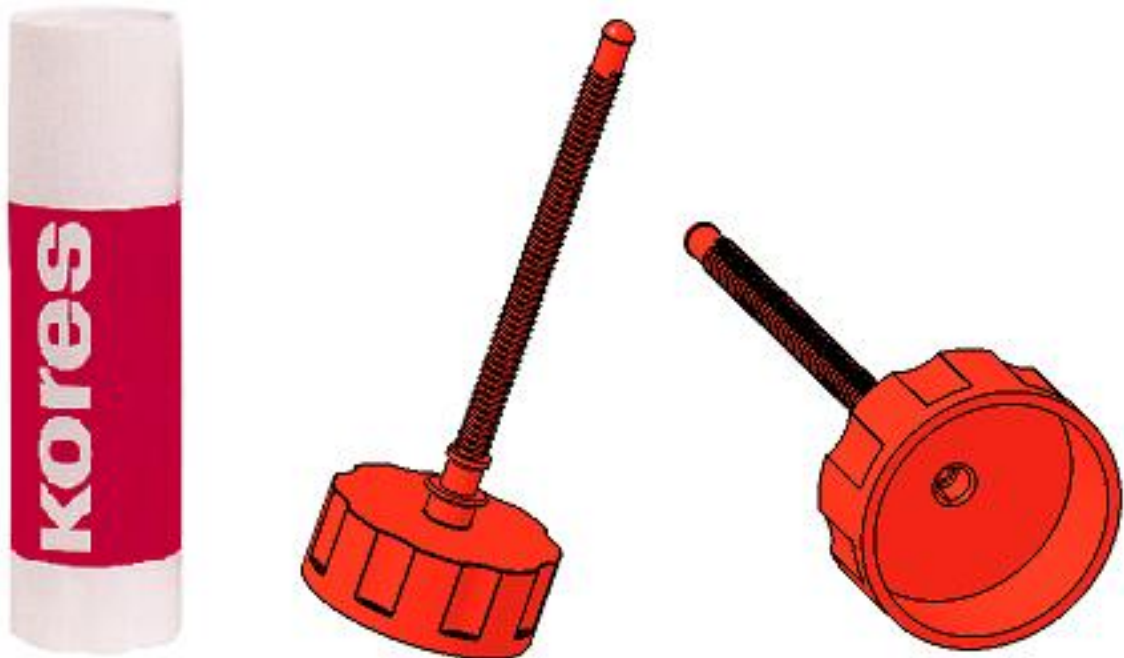
Německá firma Simcon vytvořila počítačový program Simcalc sloužící k výpočtu celkové ceny plastového dílce s využitím přírážkové kalkulace. Velkou předností programu je okamžité promítání vstupních údajů a dodatečných úprav do kusové ceny plastového dílce. Do kalkulace plastového dílce se uvažuje cena materiálů, režijní náklady nástroje, stroje a pracovníků. Simcalc nabízí možnost uložení základních nákladů různých výrobních míst, aby bylo možné vypočítat např. strojní hodinovou sazbu specifického vstřikovacího stroje nebo vyhledat pomocí podobnosti tvaru plastové dílce. Simcalc obsahuje modul pro výpočet doby chlazení, modul pro odhad vstřikovacího tlaku a na základě těchto podkladů stanovuje uzavírací sílu stroje. Program pro efektivitu práce nabízí přes 500 předdefinovaných materiálových dat v editovatelné databázi, ukládání digitálních fotografií dílců, standardní formulář pro tisk cenového výpočtu.

Simcalc je vhodný pro podnikové vedení, pracovníky nákupu a prodeje, vedoucí projektu, ale i provozní pracovníky.

6 SPECIFIKACE VÝROBKU

6.1 Zadaný výrobek

Diplomová práce je zaměřena na vypracování dvou variant vstříkovacích forem o násobnosti 8 a 16 se stejným výrobkem, který je součástí mechanismu zásobníku tuhého lepidla. Výrobek je základní částí celého mechanismu, který disponuje trnem s vnějším závitem, po kterém se pohybuje vnitřní miska, která vytlačí otáčivým pohybem lepidlo k použití. Spodní část výrobku má několik obloukovitých výřezů pro snadné otáčení a uchopení, kruhová základna usnadňuje lepší stabilitu celého dávkovače lepidla.



Obr. 21. Výrobek vymodelován v programu Catia V5R18

6.2 Volba materiálu

Zvolený materiál pro vstříkování výrobku je polypropylen (PP), který patří mezi nejběžnější plasty. Polypropylen je termoplastický polymer získávaný polymerací propenu, který se vyznačuje podobnými fyzikálně – chemickými vlastnostmi jako polyetylen. Při nízkých teplotách křehne, kolem 140 – 150° C měkne a při 160 – 170° C se taví. Je odolný vůči olejům, organickým rozpouštědlům a alkoholům, dobře se rozpouští v xylenech, taktéž vyniká velmi dobrou chemickou a mechanickou odolností. Polypropylen se používá v

mnoha odvětvích textilního, potravinářského a v laboratorních vybaveních. Má přidělené mezinárodní identifikační číslo pro plasty.

Pro výrobu je zvolen materiál od firmy SABIC s označením PP 108 MF 97.

Tab. 3. Vlastnosti vstříkovaného materiálu PP 108 MF 97

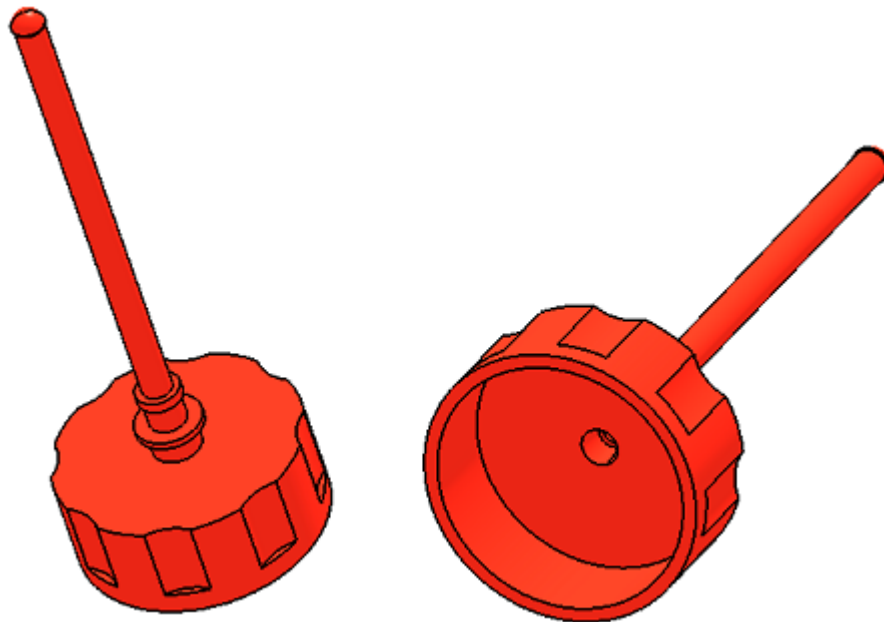
Minimální teplota při tavení	200° C
Maximální teplota při tavení	260° C
Degradační teplota	290° C
Teplota pro vyhození výrobku z formy	111° C
Maximální smykové napětí	0,25 MPa
Maximální rychlost smykové deformace	100 000 1/s
Hustota taveniny polymeru	0,73832 g/cm ³
Hustota polymeru při pokojové teplotě	0,90666 g/cm ³
Poissonova konstanta	0,35
Modul pružnosti v tahu	960 MPa
Modul pružnosti ve smyku	355 MPa
Smrštění v podélném směru	1,196 %
Smrštění v příčném směru	1,668 %

7 PŘEDBĚŽNÉ ANALÝZY Z CAE

Pro snadnější navržení vstřikovací formy, bylo zapotřebí zjistit, v kterém místě výrobku bude nejlepší umístit vtokové ústí. I když na výrobku byly patrné zbytky z vtokového ústí, bylo potřeba vycházet z určitých faktů, aby forma byla co nejlépe navržena a nedocházelo k velkému množství studených spojů a taky k nezatečení materiálu do všech míst výrobku.

7.1 Upravení výrobku

Pro zhotovení analýz je zapotřebí vkládat do CAE programu dílce bez zaoblených a sražených hran, úkosů, aby vysítování v daném programu bylo co nejkvalitnější a hlavně aby bylo opravitelné. Všechny odstraněné náležitosti nesmějí být funkčními plochami výrobku. Nejdůležitější součástí přípravy 3D modelu je zvětšení o hodnotu smrštění zvoleného materiálu. U daného materiálu je smrštění v podélném směru 1,196% a příčném směru 1,668% na tok taveniny. Jak již bylo zmíněno, že nesmějí být odstraněny funkční části výrobku, ale kvůli správnému vysítování se musel odstranit vnější závit, který svou jemností je neúčelný pro tokové analýzy.



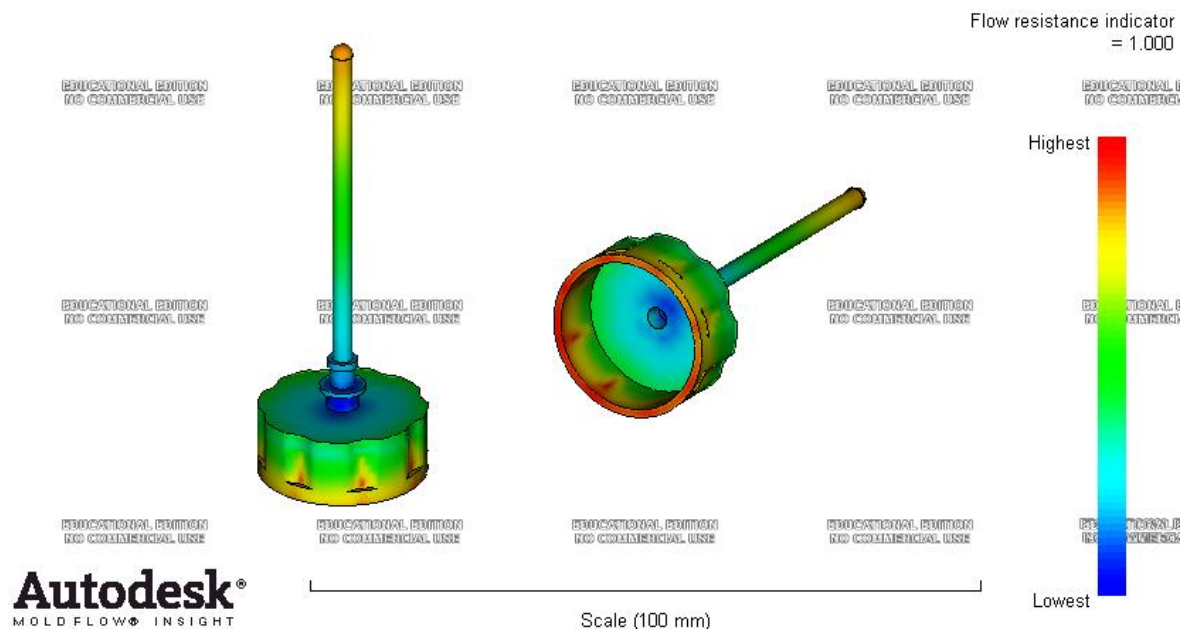
Obr. 22. Upravený model výrobku

7.2 Poloha vtoku

Pro lepší návrh vstřikovacích forem se využije programu Moldflow pro zjištění nejvhodnějšího vtokového ústí, aby se tavenina co nejlépe rozlévala od dutiny formy při vstřikování.

7.2.1 Flow resistance indicator – odpor toku taveniny

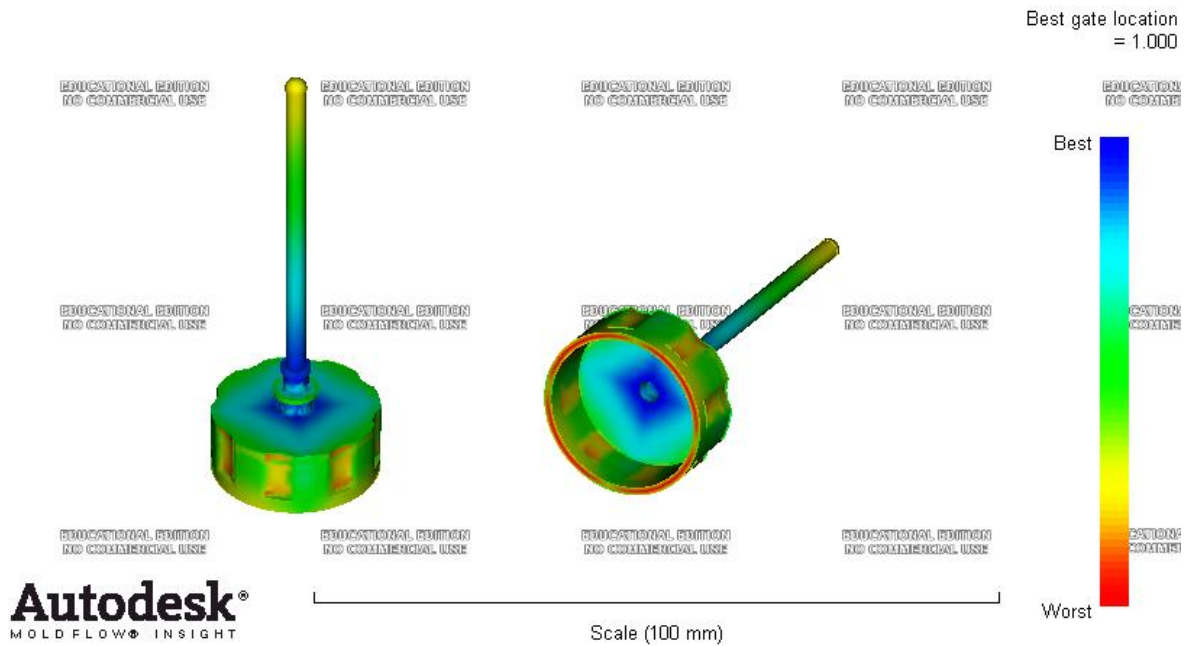
Analýza zobrazuje v barevném spektru, v kterém místě je nejlepší umístit vtok, aby odpor proti toku taveniny byl co nejmenší. Červená barva zobrazuje místa, kde by umístěný vtok měl velký odpor k zatečení do celého výrobku. V modré barvě umístěný vtok, bude mít tavenina nejmenší odpor k zatečení do celého objemu výrobku.



Obr. 23. Místo zobrazující nejmenší odpor taveniny

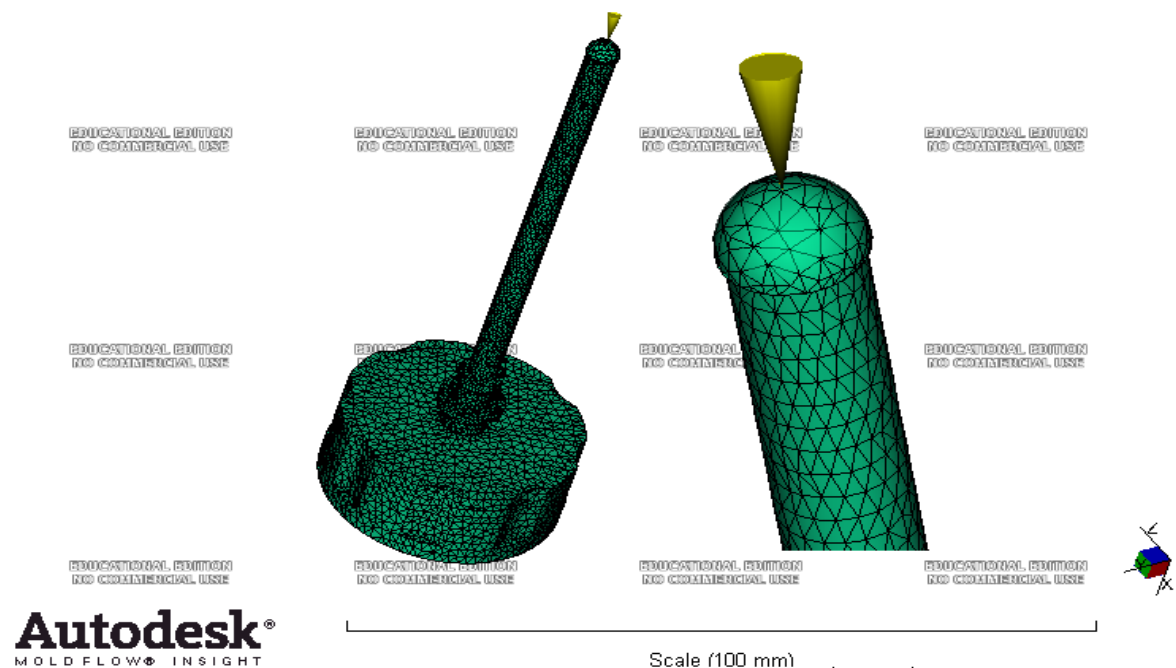
7.2.2 Best gate location – nejvhodnější umístění vtoku

Modrá barva na vstřikovaném dílu zobrazuje, kde by mělo být umístěno vtokové ústí, aby docházelo co k nejlepšímu zatečení taveniny do celého objemu výrobku.



Obr. 24. Nejvhodnější umístění vtoku

Po důsledném nastudování přiloženého výrobku, bylo zjištěno, že ústí vtoku bylo voleno jinak, než jsou výsledky z počátečních analýz. Místo vtoku bylo pravděpodobně voleno z důvodu násobnosti formy, použití horkého vtoku a taky na zohlednění vyhazovacího systému. Pro další analýzy a konstrukci formy bude ústí vtoku voleno jako na zadaném výrobku, protože realizace formy na základě počátečních analýz by byla neřešitelná z důvodu odformování.



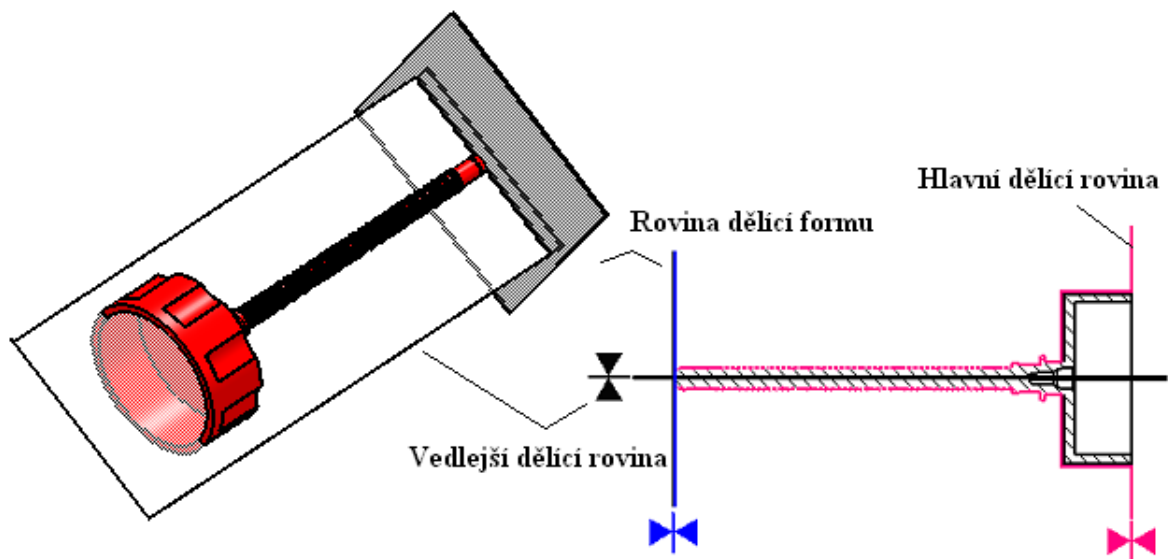
Obr. 25. Volba vtokového ústí

8 NÁVRH 8 – NÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrh vstřikovací formy byl realizován ve školní verzi programu CATIA V5R18 především s využitím modulu Mold Tooling Design za podpory normálii ISO a HASCO. Za použití všech dílčích programů, byla realizace vstřikovací formy ekonomičtější z ohledu na výrobu a efektivní z ohledu na návrh.

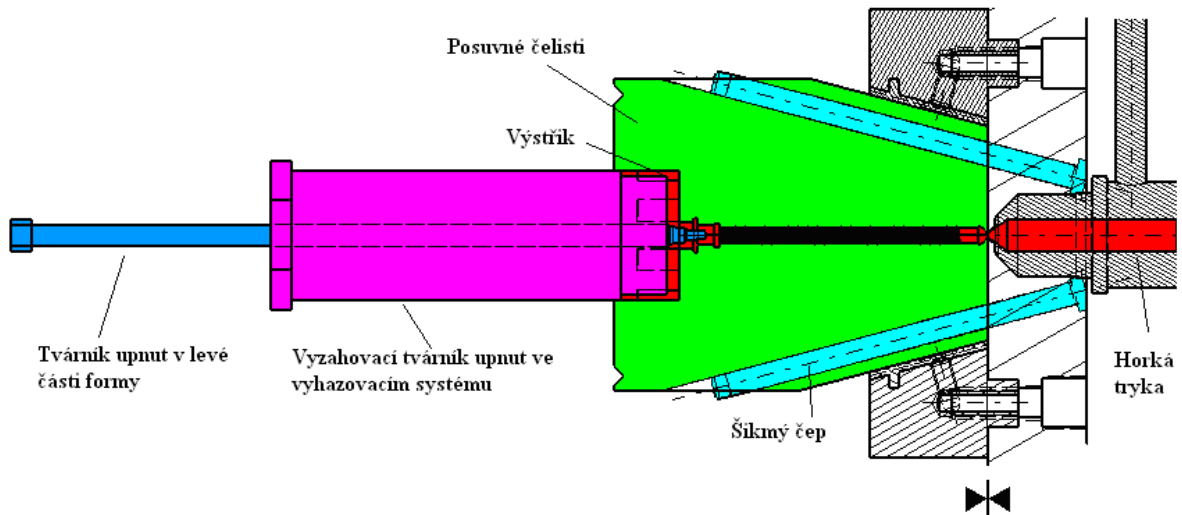
8.1 Zaformování výstřiku

Zaformování výstřiku nelze řešit pomocí tvárníku a tvárnice jak je již velmi časté, ale muselo být použito posuvných čelistí, které jsou ovládány šikmými čepy. U daného výrobku je více dělicích rovin. Dělicí rovinu, která rozděluje vstřikovací formu na pravou a levou část, vedlejší rovinu, kterou vytváří posuvné čelisti a hlavní dělicí rovinu při odformování výstřiku.



Obr. 26. Dělicí rovina

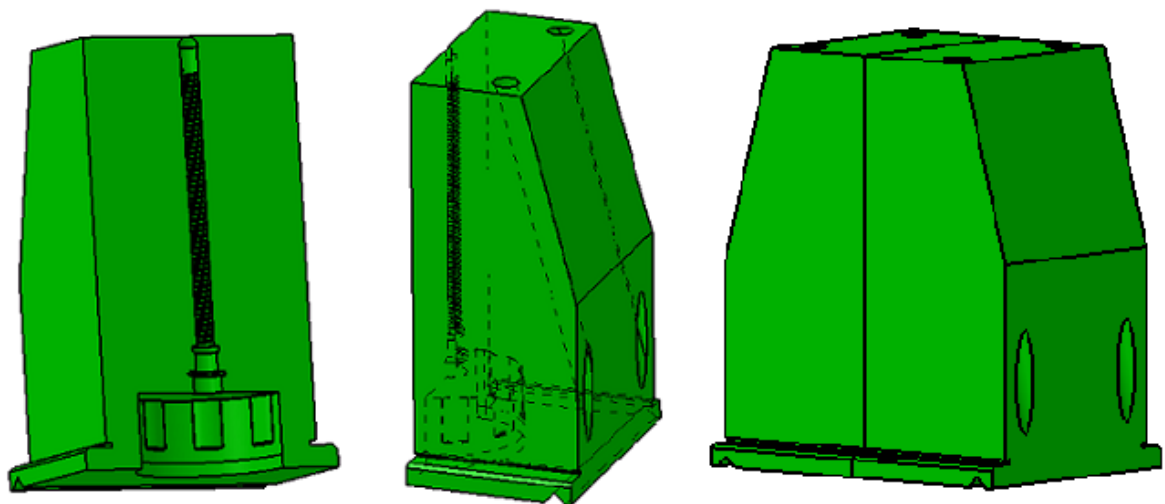
S ohledem na vnější závit a na otvor ve spodní části výstřiku, bylo zapotřebí posuvných čelistí, které však nedokáží vyrobít vnitřní otvor. Aby bylo zároveň dosaženo vyhození výstřiku bez pohledových vad, je použito dvou tvárníků. Z nichž jeden tvoří užší a delší otvor a je upevněn v levé části formy, přičemž se pohybuje s formou. Druhý tvárník tvoří vnitřní obvod výstřiku se spodní hranou, kterým skrz prochází předešlý tvárník a je upevněn ve vyhazovacím systému.



Obr. 27. Schéma zaformování výstřiku

8.1.1 Posuvné čelisti

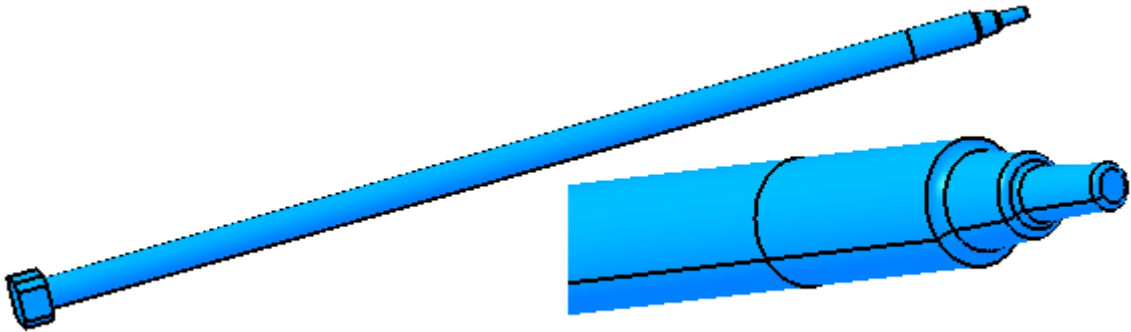
Posuvné čelisti vyrobeny z materiálu 19 522 vytváří vnější tvar výstřiku a jsou pohybovány pomocí dvojice šikmých čepů, aby nedocházelo k přičení a nesprávnému dosednutí. Pohyb by zaručoval i jeden šikmý čep s větším poloměrem umístěným na středu, ale kvůli horkým tryskám, které jsou taktéž umístěny v pravé straně formy s poloměrem 30 mm by se musela zvětšovat celá kostka posuvných čelistí. Aby bylo možné hlavu šikmých čepů umístit na střed pohybové kostky, bylo by je potřeba zapustit níže do desky, aby nepřekážela horkým tryskám, přičemž je zapotřebí použít pouzder, které jsou z ekonomického hlediska nákladnější. Proto je přistoupeno k realizaci dvou čepů.



Obr. 28. Posuvná čelist

8.1.2 Tvárník

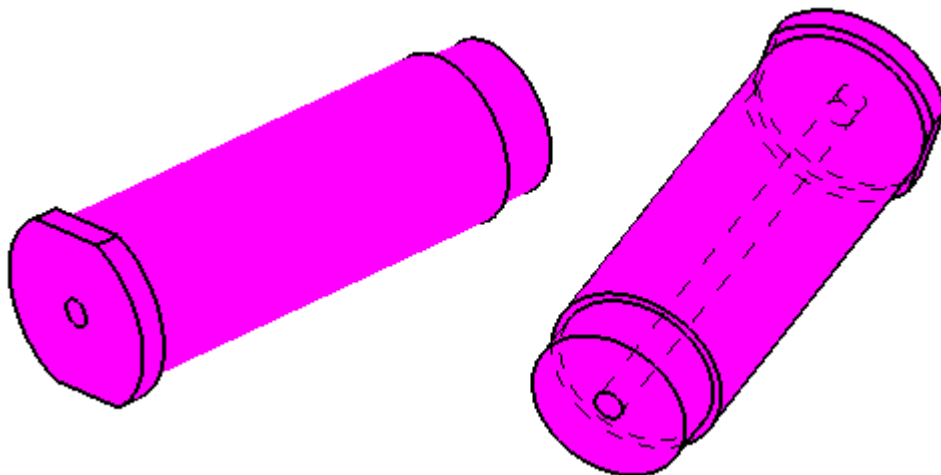
Tvárník z materiálu 19552 je ukotven v levé části formy a je nedílnou součástí zaformování výstřiku. Tvárník nelze ze sestavy vypustit z důvodu toho, že při vyhození by výstřik stále zůstal na vyhazovacím tvárníku, protože by se neměl jak setřít.



Obr. 29. Tvárník

8.1.3 Vyhazovací tvárník

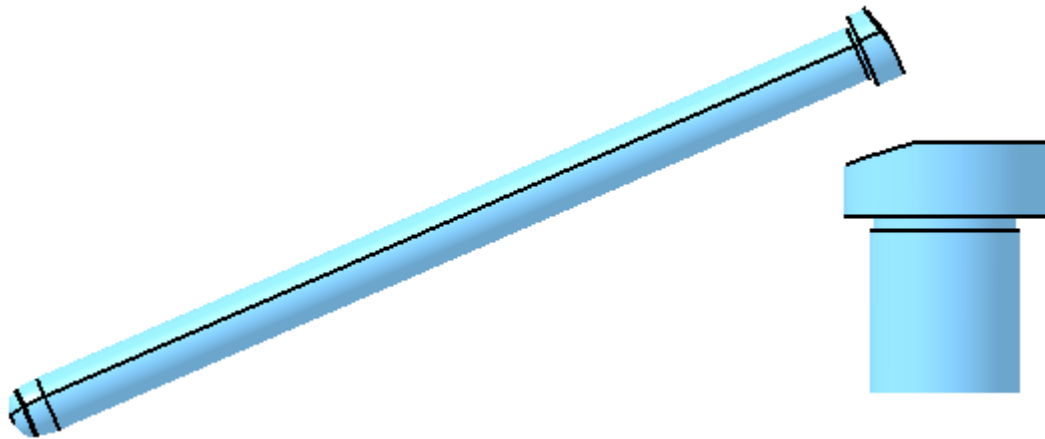
Vyhazovací tvárník upevněn ve vyhazovacím systému, slouží jakožto tvarový díl pro výrobu výstřiku, ale koná i funkci vyhazovací, protože má obvodovou hranu stejnou jako je poloměr výstřiku a při pohybu vyhazovacích desek dojde k setření výstřiku z tvárníků. Vyhazovací tvárník musí být taktéž vyroben z materiálu 19 552.



Obr. 30. Vyhazovací tvárník

8.1.4 Šikmý čep

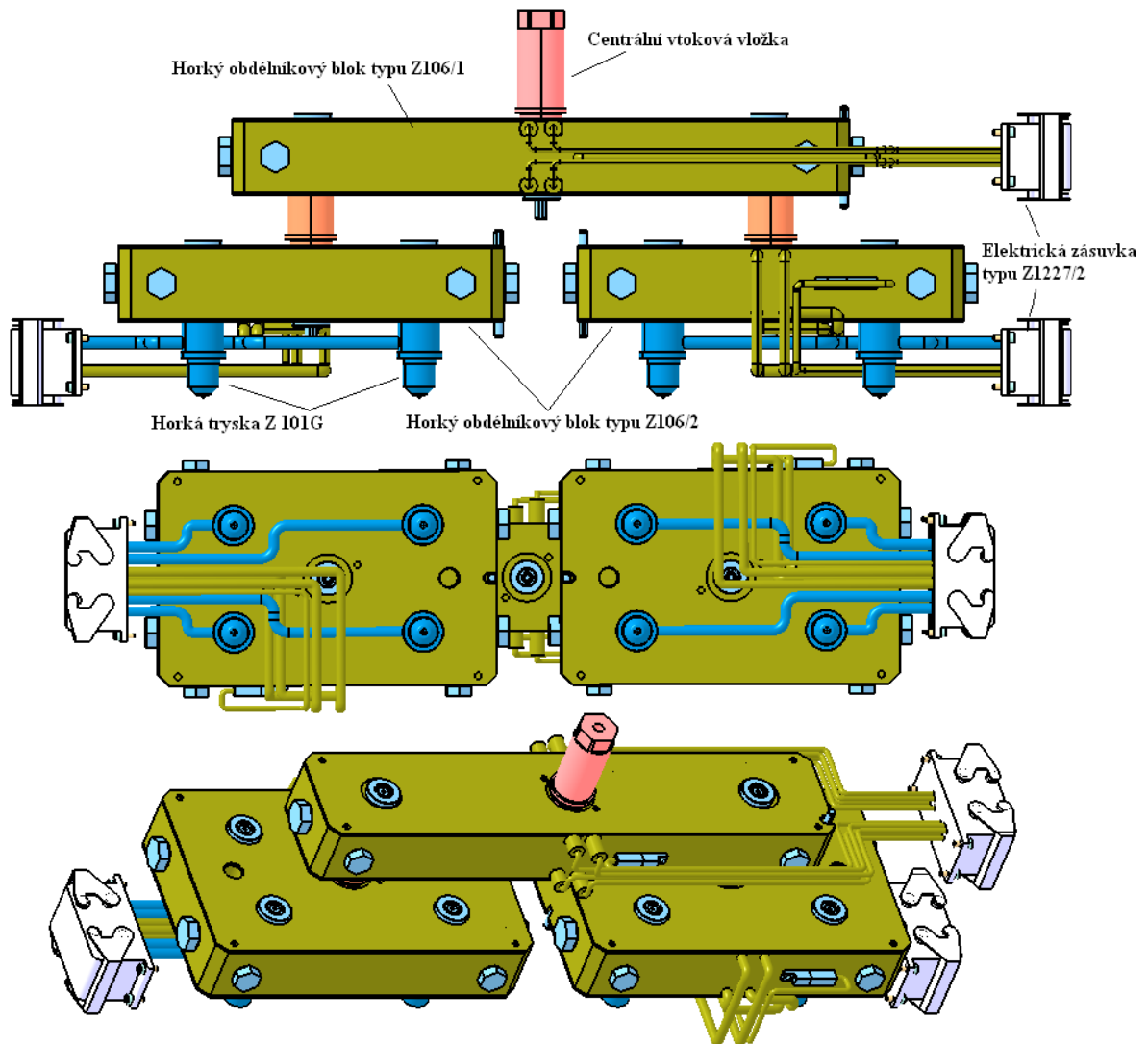
Šikmý čep je ze sestavy zaformování jako jediný normalizovaný díl z katalogu Hasco. Jeho „hlava“ je zkosená pod úhlem 15° , aby byl zajištěn posuvný pohyb čelistí. Úhel zkosení nemohl být navržen větší, protože by se musela zvětšit kostka čelistí a to je, jak už bylo řečeno, z důvodu použití drahých materiálů neekonomické.



Obr. 31. Šikmý čep

8.2 Vtokový systém

Vtokový systém pro 8 – násobnou formu je konstruován dvěma horkými obdélníkovými bloky od firmy Hasco typu Z106/2 na kterých jsou připevněny čtyři horké trysky od firmy Hasco typu Z101G na každém bloku. Rozvod taveniny do obou bloků zajišťuje centrální rozvodný blok od firmy Hasco typu Z106/1, který je centrální vtokovou vložkou připojen k plastikační jednotce stroje. Rozvodné bloky jsou umístěny ve vybrání příslušných desek a jsou vycentrovány středovými a stranovými kolíky, které jsou součástí jednotlivých bloků. Vyhřívání ocelových bloků zajišťují topní hadi, kteří vyústí ven z formy, kde jsou připevněny k elektrické zásuvce taktéž od firmy Hasco typu Z1227/2. Elektrická zásuvka je připevněna čtyřmi šrouby typu Z30. Tavenina dále putuje přes trysky, které jsou přesně uloženy v příslušné desce do posuvných čelistí, kde už tavenina je formována do konečného tvaru. Aby tavenina měla stále stejnou teplotu je třeba trysky taktéž vyhřívat topnými hady, jež jsou rozvedeni z elektrických zásuvek v přesném vybrání desek.



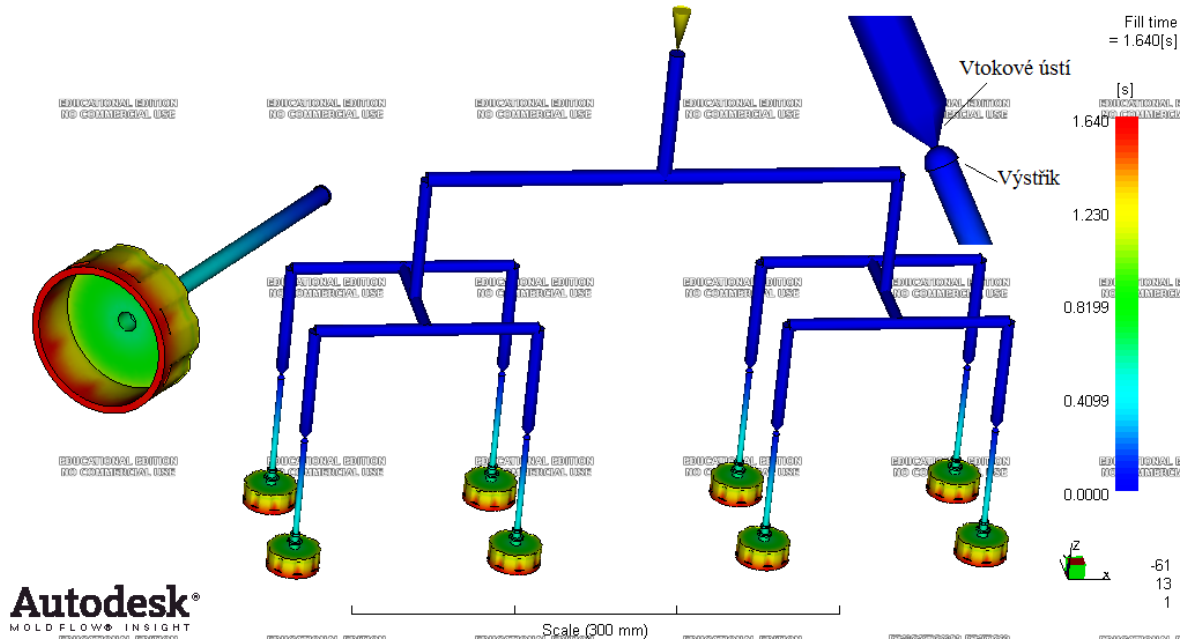
Obr. 32. Vtokový systém

8.2.1 Fill Time – čas plnění

Pro kontrolu správnosti návrhu formy byla vyhotovena analýza plnění v programu Moldflow. Horká vtoková soustava, jak už bylo řečeno, se skládá z normalizovaných dílů od firmy Hasco. Z centrálního bloku je tavenina rozváděna kruhovým průřezem o průměru 10 mm, do vedlejších bloků o průměru 8 mm. Vtokové ústí je řešeno kuželovým průřezem, který je 5 mm dlouhý a přechází z průměru 8 mm na průměr 1 mm odkud tavenina putuje přímo do posuvných čelistí, kde dochází k formování taveniny do požadovaného tvaru.

Tavenina je přiváděna z plastikační jednotky o teplotě 230° C. Čas plnění dutin formy byl přednastaven na 1,2 s což reálný čas podle analýzy je 1,640 s. Podle barevného spektra lze usoudit, že místa červené barvy jsou zaplněna jako poslední, kde budou vznikat nežádoucí

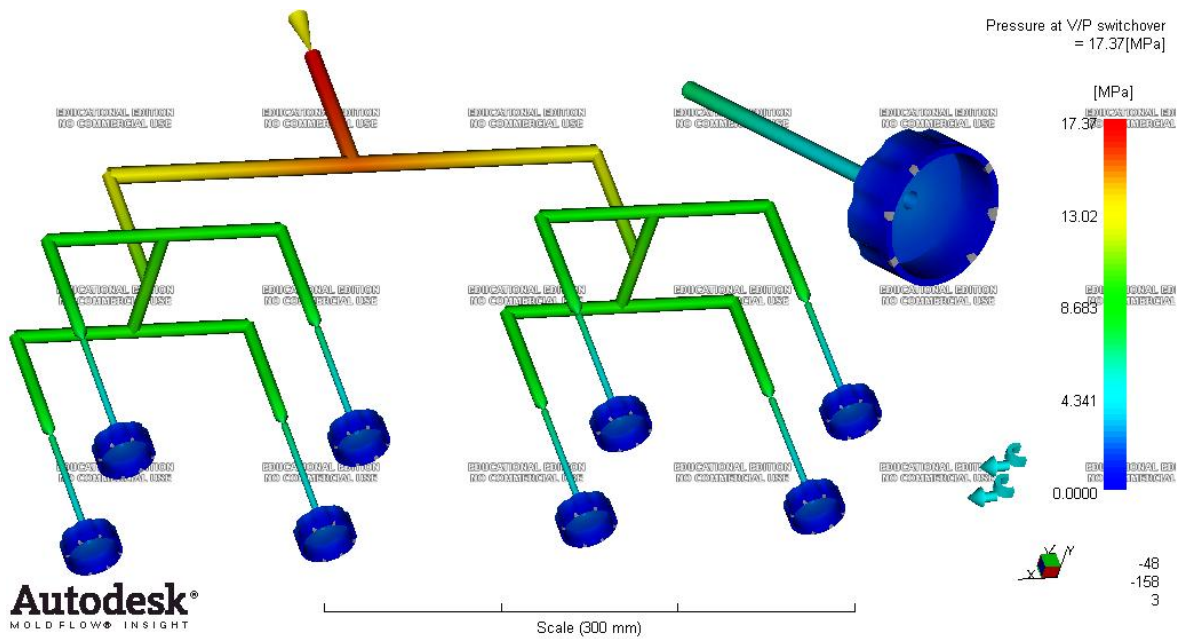
jevy. Podle prvních analýz, kde bylo zjištěno optimální umístění vtokového ústí, by čas plnění odpovídal kratším časům, protože by se tavenina lépe rozmísťovala po celém objemu výstříku.



Obr. 33. Čas plnění

8.2.2 Pressure at V/P switchover – tlak při přepnutí na dotlak

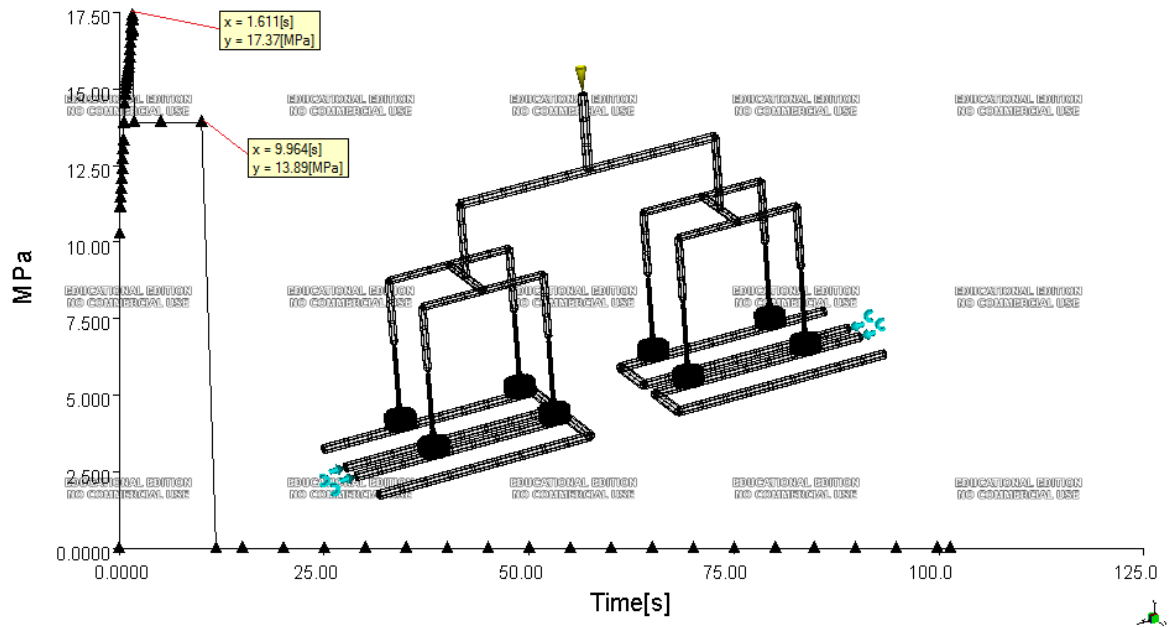
Do procesních podmínek bylo nastaveno, že při zaplnění taveninou dutiny formy z 98 % se bude přepínat dotlak. Šedá místa na výstříku ukazují, že dotečení materiálu do všech míst je až po přepnutí na dotlak. Červená barva znázorňuje u vtokového systému, že odpor taveniny proti stěnám vtokového systému je tak vysoký, že materiál už není schopen samovolně téci, proto je zapotřebí k doplnění dutiny formy dotlaku, který pomoci tlaku doplní prázdná místa. Tlak při přepnutí na dotlak je 17,37 MPa.



Obr. 34. Tlak při přepnutí na dotlak

8.2.3 Pressure at injection location – průběh tlaku při vstřikování

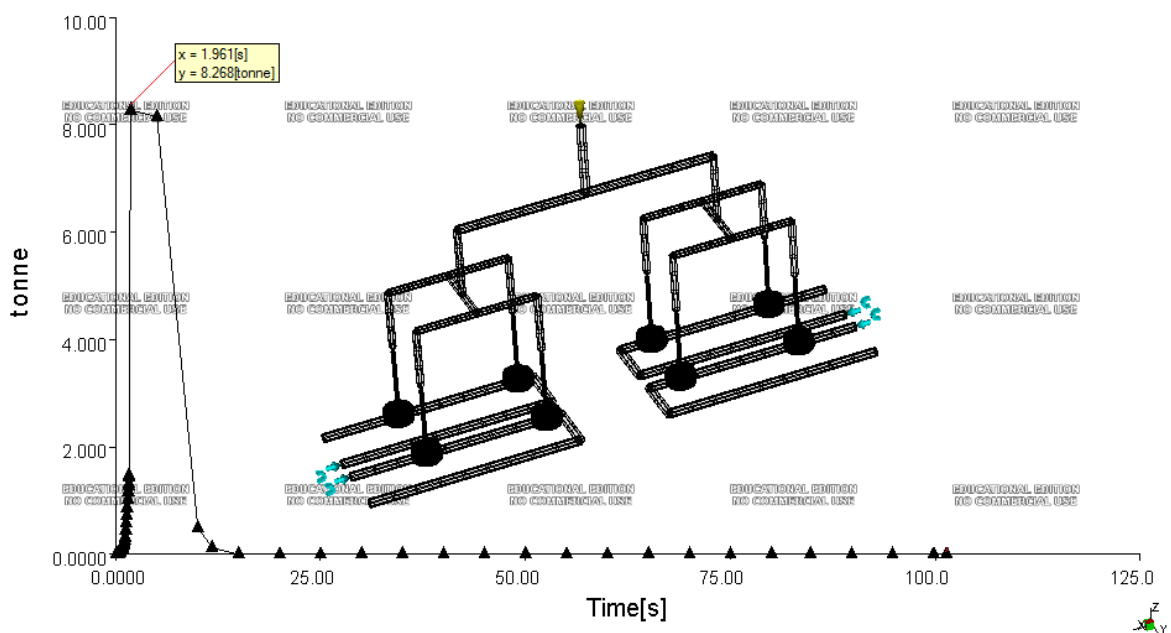
Z grafu vyplývá, že tlak roste z důsledku zaplňování dutiny formy taveninou a narůstání je velice strmé. Při dosažení hodnoty 17,37 MPa za 1,611 s dochází k přepnutí na dotlak 80 % hodnotou plnění což je 13,89 MPa po dobu 9,964 s. Po dotlaku je ukončena fáze plnění a následuje pouze chlazení výrobku, přičemž tlak klesne na nulovou hodnotu. Následně dochází k otevření, vyhození výstřiků a uzavření formy.



Obr. 35. Průběh tlaku při vstřikování

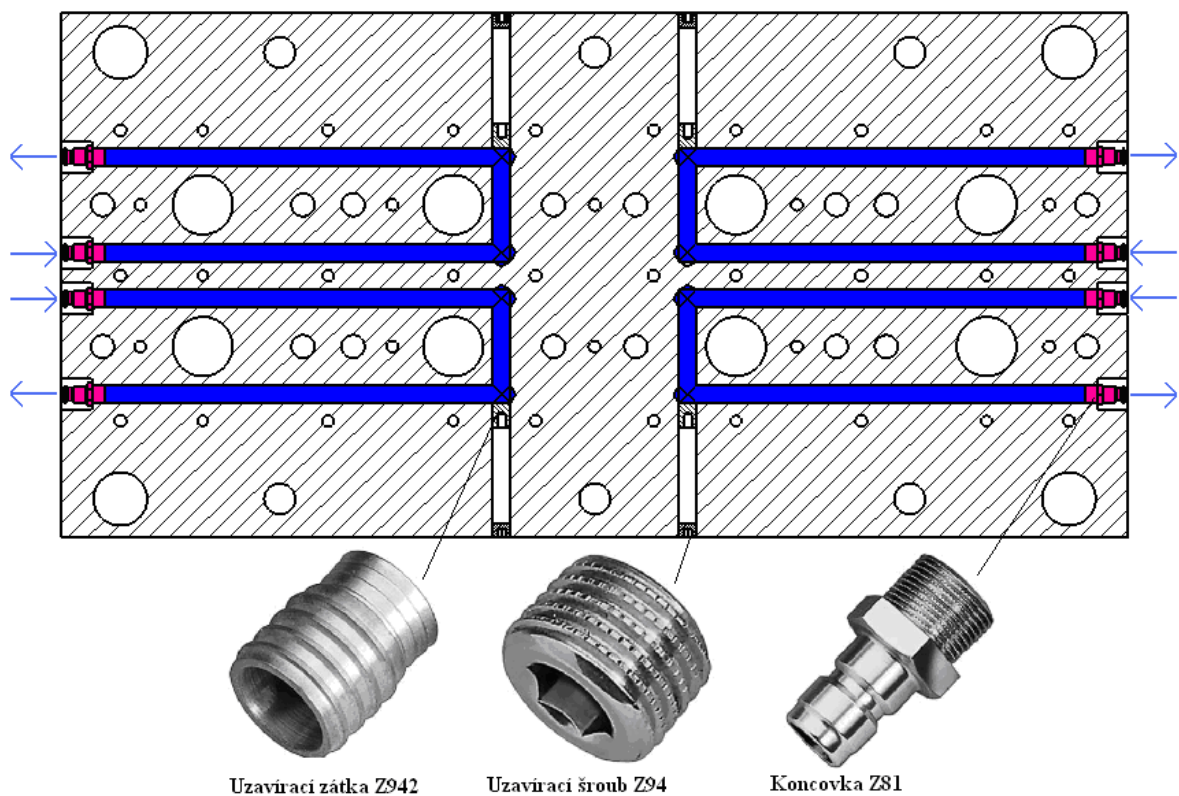
8.2.4 Clamp force – uzavírací síla

Maximální uzavírací síla stroje činí 272 tun, přičemž u daných výrobků stačí uzavírací síla pouze 8,268 tun, což je 3,039 % kapacity stroje. Z jistěných informací se dá usoudit, že by vyhovoval stroj s menší uzavírací silou, ale s ohledem na potřebný tlak a objem taveniny nelze libovolně měnit vstřikovací stroj. Program Moldflow nepracuje s SI jednotkami a uzavírací sílu vyjadřuje v jednotce tonne (1 tonne = 10 kN).



Obr. 36. Uzavírací síla při vstřikování

osob u vstřikovací formy nelze řešit temperační kanály tak, aby byly chlazeny jednotlivě výstřiky, poněvadž by výstupní hadice byly směrem k obsluze. Kvůli posuvným čelistem nelze chladit přímo trn se závitem na výstřiku, ale kvůli malým rozměrům lze temperaci zanedbat. Kanály jsou zhotoveny standardní třískovou metodou vrtáním o průměru 10mm. Z ekonomického hlediska nebyla deska provrtána skrz, ale vždy jen po určitou hloubku, aby bylo spotřebováno co nejméně ucpávek. Pro napojení kanálů s hadicemi je použito koncovka od firmy Hasco typu Z81. Aby chladicí médium neputovalo v příčných otvorech je využito uzavíracích zátek od firmy Hasco typu Z942, které jsou v bezprostřední blízkosti chladicího média a na začátku otvoru jsou uzavírací šrouby od firmy Hasco typu Z94, aby nedocházelo k zanášení otvoru od nežádoucích nečistot.

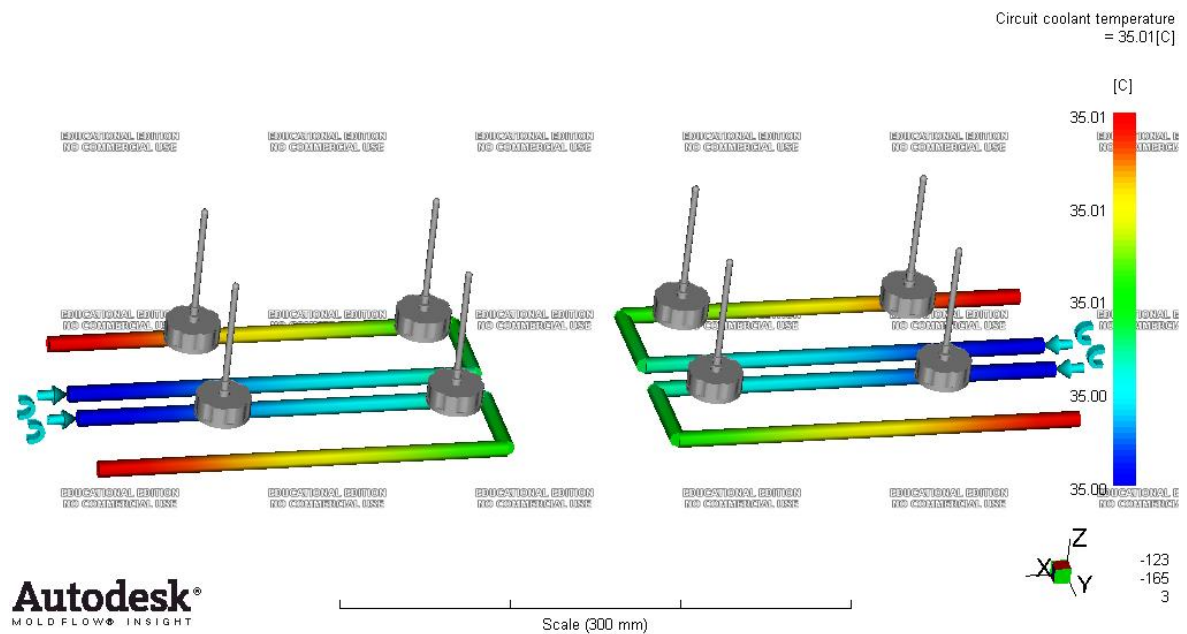


Obr. 38. Temperační systém

8.4.1 Circuit coolant temperature – teplota chladicí kapaliny

Podle materiálu PP byla stanovena teplota formy na 40° C, což lze využít k nastavení chladicího média uvnitř chladicích kanálů. Do procesních podmínek analýzy byla nastavena teplota o 5° C méně nežli teplota celkové formy. Podle analýzy, která určuje teplotu chladicího média po průchodu chladicím systémem, se teplota změnila pouze o + 0,01° C. Objemový průtok kapaliny uvnitř chladicího systému je 30 l/min což při poznatku, jak se teplota

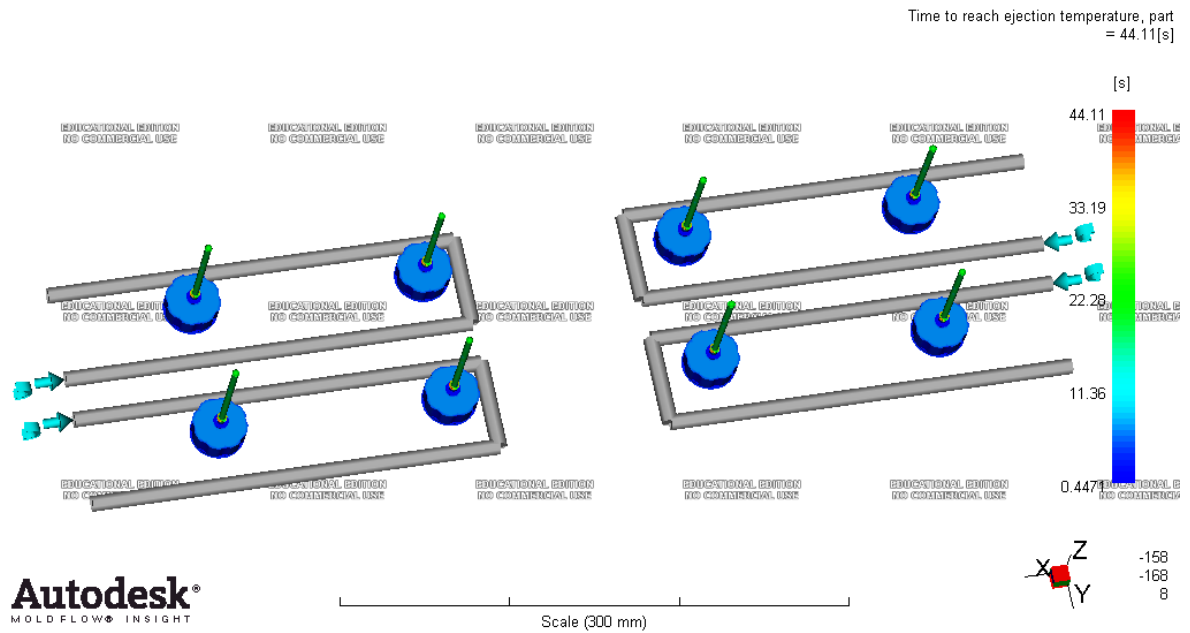
média mění se dá říci, že se vynaloží menší finanční nároky na velké zásobníky, kde by se musela voda ochlazovat na požadovanou teplotu. Podle Reynoldsova čísla se dá určit typ proudění, přičemž nad hodnotou 10 000 je proudění turbulentní. Z programu Moldflow byla zjištěna hodnota 87 983, což se dá usoudit, že objemový průtok by se mohl zmenšit na poloviční hodnotu.



Obr. 39. Teplota chladicí kapaliny

8.4.2 Time to reach ejection temperature, part – čas k dosažení teploty vyhození

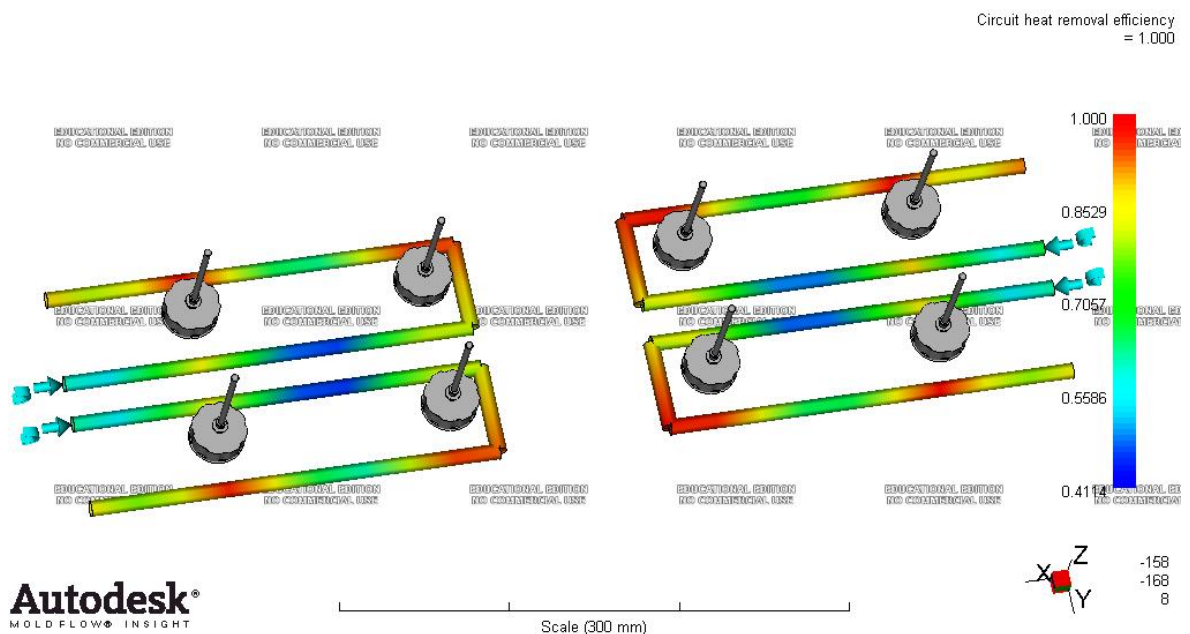
Doba chlazení je ovlivňována procesními podmínkami, kdy byla stanovena kritéria, že vyhození výstřiku může nastat při 100 % zatumnutí všech molekul, přičemž nejvyšší teplota vyhození výstřiků je 111° C. Doba, která je potřebná pro zchlazení výstřiku na teplotu vyhození je 44,11 s.



Obr. 40. Čas k dosažení teploty vyhození

8.4.3 Circuit heat removal efficiency – efektivita odvodu tepla

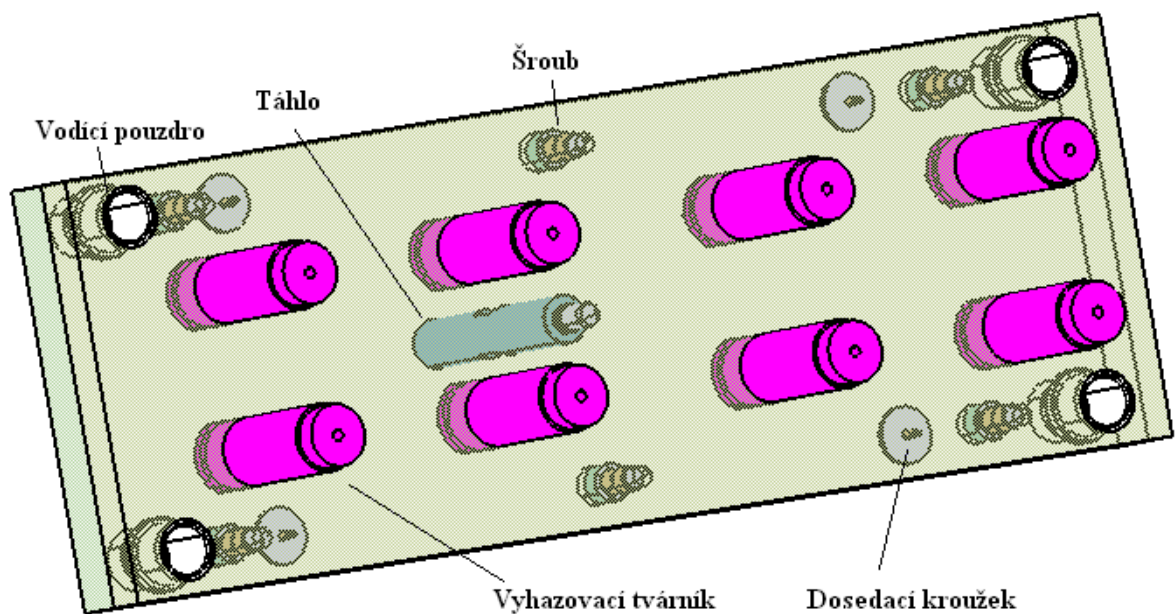
Z analýzy vyplývá, že červená místa na temperačním systému jsou využita maximálně na odvod tepla. Mezi výstřiky se efektivita snižuje díky menšímu teplotnímu poli.



Obr. 41. Efektivita odvodu tepla

8.5 Vyhazovací systém

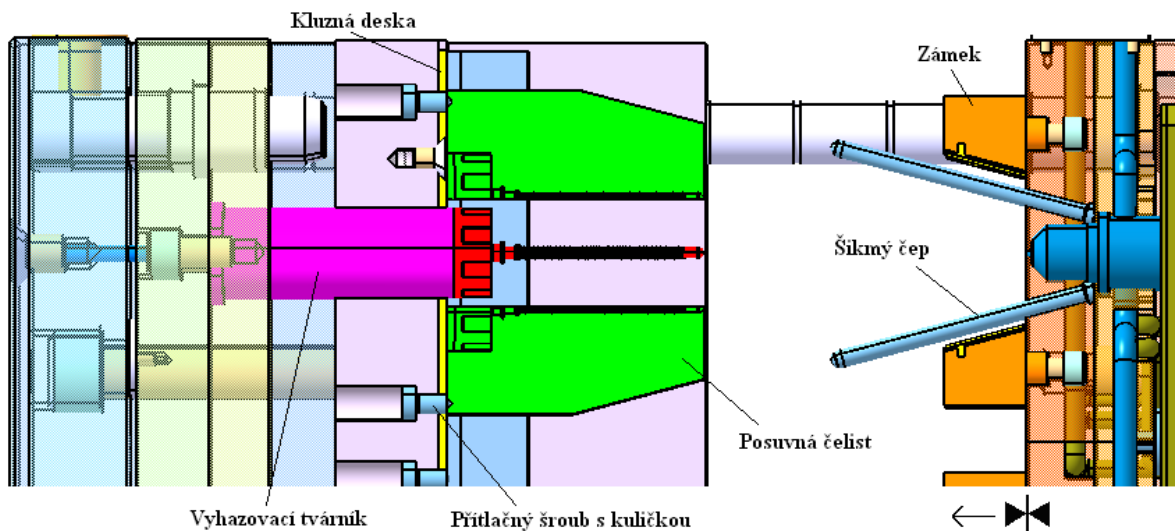
Po dostatečném zchlazení výstřiků uvnitř dutin, přichází ukončení vstřikovacího cyklu a to vyhození. Vyhození je koncipováno jednotlivým vyhazovacím tvárníkem pro každý výstřik. Vyhazovací tvárník je součástí sestavy dílů pro vytváření daného výstřiku. Při otevírání levé strany formy dochází k rozevření posuvných čelistí a při maximálním rozevření, což určuje délka šikmého čepu, se za pomoci táhla upevněné k vyhazovacímu systému stroje vyhodí všechny výstřiky na jednou hydraulickým systémem. Vyhazovací tvárník je upevněn v příslušné desce ve vyhazovacím systému. Pro správné vedení vyhazovacích desek je využito pouzder, v kterých prochází čepy upevněné v levé straně formy. Dvojice vyhazovacích desek je přichycena pevně šestíci šroubů a pro snížení hluku a rázů jsou namontovány dosedací kroužky na straně desek, které mohou navzájem při zpětném pohybu tlouct.



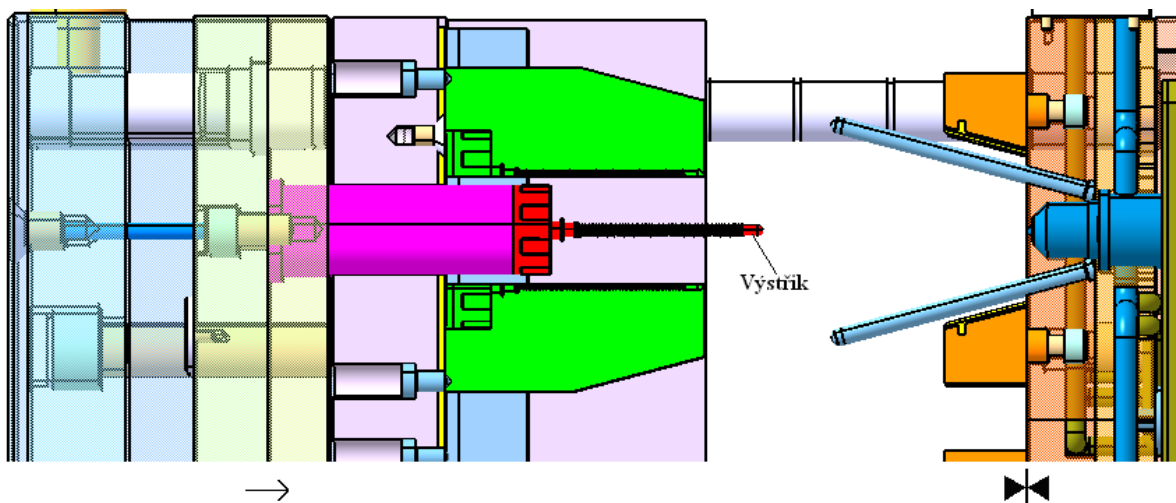
Obr. 42. Vyhazovací systém

Při využití šikmých čepů se návrh formy z konstrukčního hlediska stíží. Jednou ze základních věcí jsou posuvové kostky, které slouží k zafixování posuvu posuvných čelistí po stále stejných drahách, bez žádného zpříčení, aby chod vstřikovacího cyklu byl bez přerušení. Posuvové desky jsou připevněny šrouby a pro lepší montáž jsou vycentrovány za pomoci kolíků. Pro zlepšení kluzných vlastností jsou pod posuvnými čelistmi uloženy kluzné desky, které jsou připevněny šrouby na levé tvarové desce. Při otevření formě, aby nedocházelo k samovolnému pohybu posuvných čelistí, jsou zkonstruovány přítlačné šrouby s kulič-

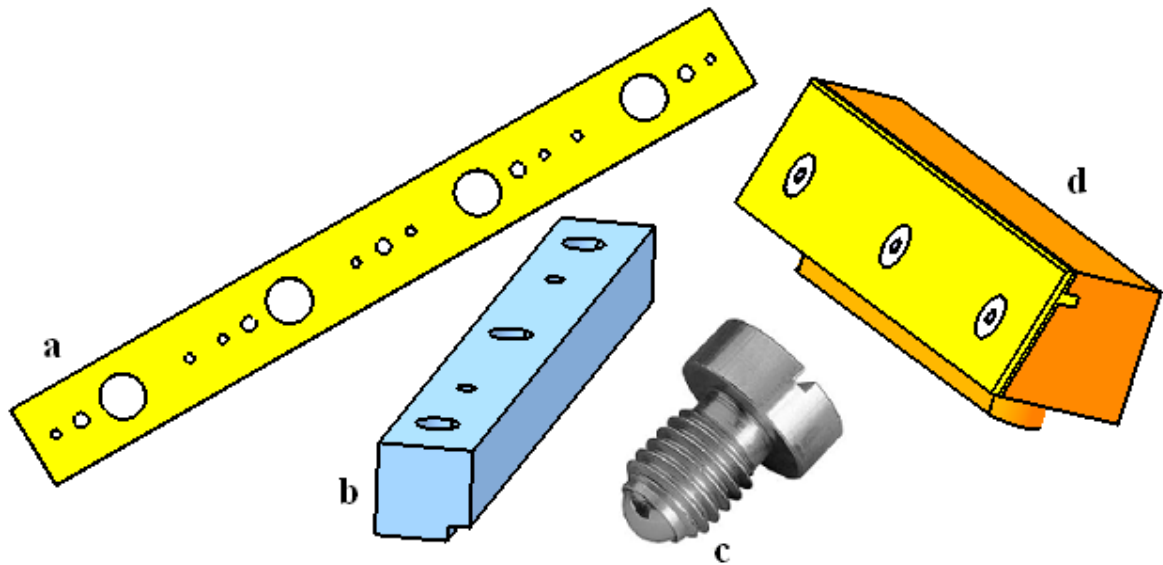
kou, které zapadávají do příslušného vybrání. Při vstřikování se tlak v dutině formy zvyšuje, aby nedošlo k ustřížení šikmých čepů a následném pootevření posuvných čelistí jsou nainstalovány zámky na pravé straně formy. Tyto zámky jsou opatřeny taktéž kluznými deskami, aby kluzné vlastnosti mezi pohyblivými částmi byli co nejlepší. Zámky jsou zkonštruovány pod stejnými úhly 15° jakožto šikmé čepy s posuvnými čelistmi. Pro uchycení každého zámku je využito dvou šroubů, které prochází přes pravou tvarovou desku a aby byla jednodušší montáž, je v dané desce vyřezán otvor pro zapaštění.



Obr. 43. Posuv celé levé strany formy



Obr. 44. Posuv vyhazovacího systému



Obr. 45. Konstrukční díly

a – kluzná deska, b – posuvová kostka, c – přitlačný šroub s kuličkou, d - zámek

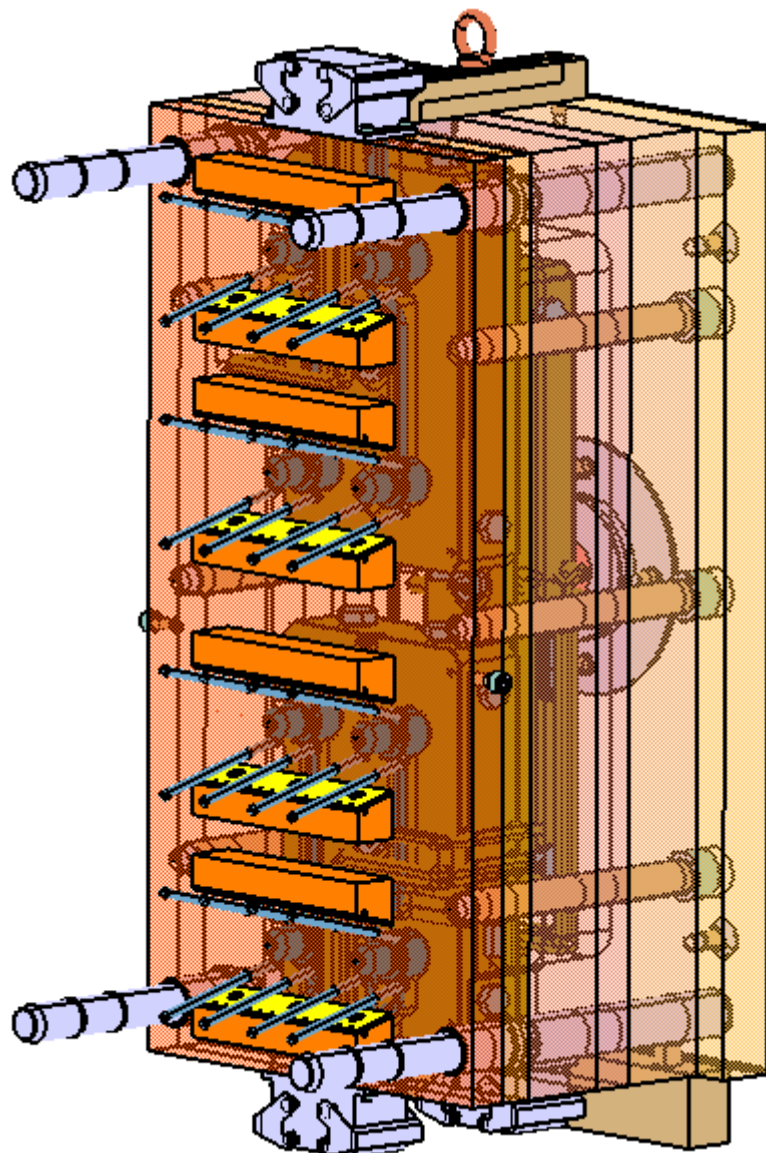
8.6 Rám, vodící a upínací prvky formy

Při návrhu 8 – násobné formy bylo využito co nejvíce normálií od firmy Hasco, pro snazší konstrukci i výrobu. Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější vměstnat co nejvíce dílu do co nejmenší formy za předpokladu dodržení všech pravidel při konstrukci forem, což v daném případě bylo dodrženo. Vstřikovací forma při rozměrech 296 x 596 x 484 mm se bude upínat ve svislé poloze, protože při použití vstřikovacího stroje s roztečí vodících sloupků 630 x 630 mm bude manipulace formy snadnější.

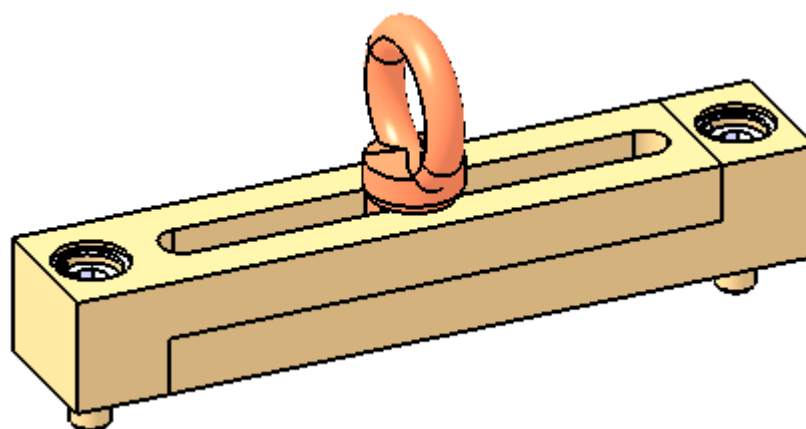
Pro lepší upínání formy do vstřikovacího stroje je použito zajišťovacích zámků, které při přenosu nedovolí rozevření formy. Po upnutí se zajišťovací zámek pootočí do svislé polohy, kde za pomoci kuličky a drážky vyvrtané do formy zůstane zafixován po dobu funkčnosti formy ve stroji.

Forma taky obsahuje spodní lyžiny, upevněné několika šrouby, aby při opravě, kontrole nebo ponechání ve skladě nebyli funkční části deformovány.

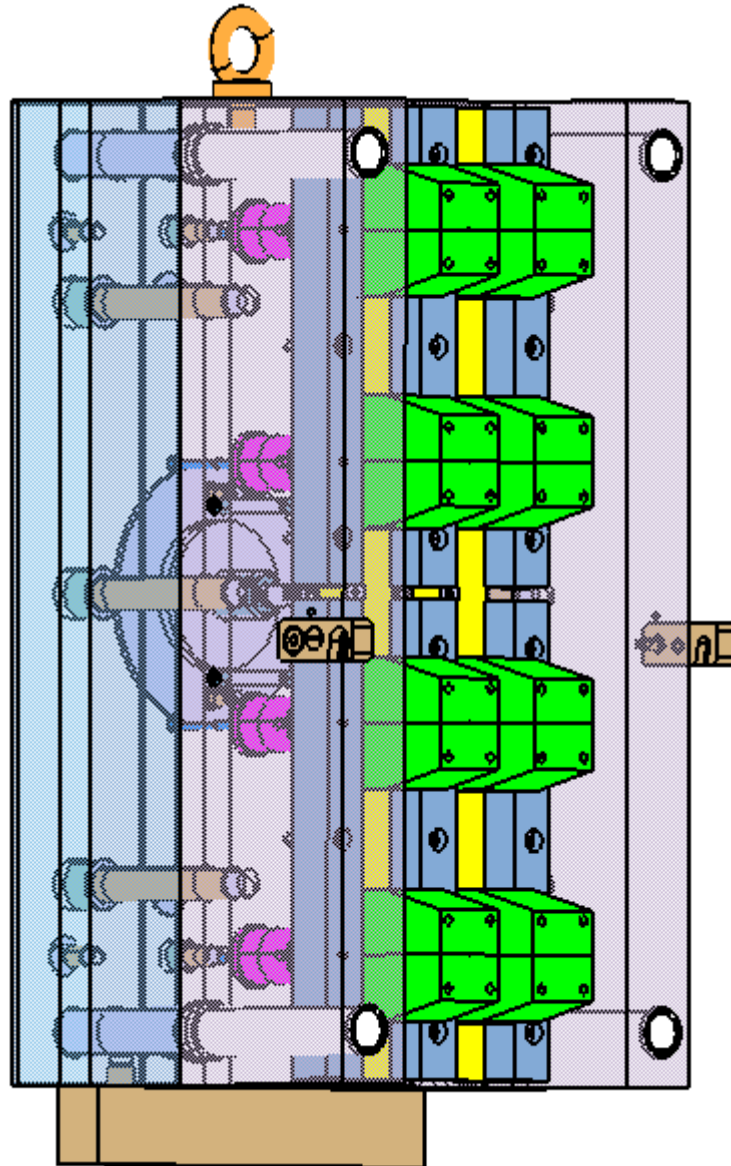
U 8 – násobné formy je využito dvou nosičů. Na straně nepohyblivé je transportní můstek a na pohyblivé levé straně je závitový šroub s okem. Manipulaci formy nebylo možné realizovat pouze s jedním nosičem, protože na levé tvarové desce jsou umístěny koncovky pro připojení temperace a příslušný otvor se závitkem by byl obtížně vyroben a z hlediska bezpečnosti by mohlo dojít k deformaci stěny desky vytržením.



Obr. 46. Pravá nepohyblivá strana formy



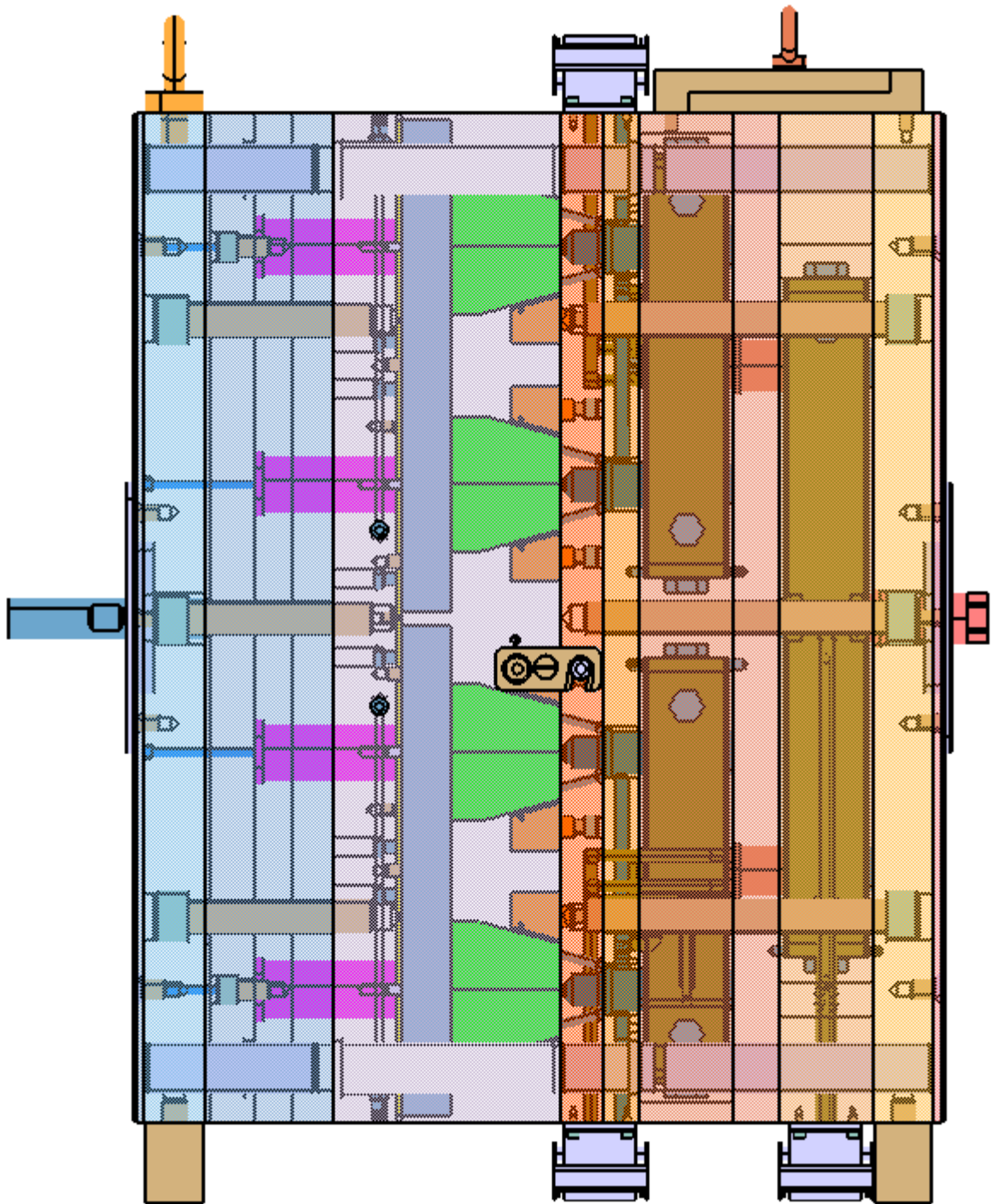
Obr. 47. Transportní můstek



Obr. 48. Levá pohyblivá strana formy



Obr. 49. Závitový šroub s okem



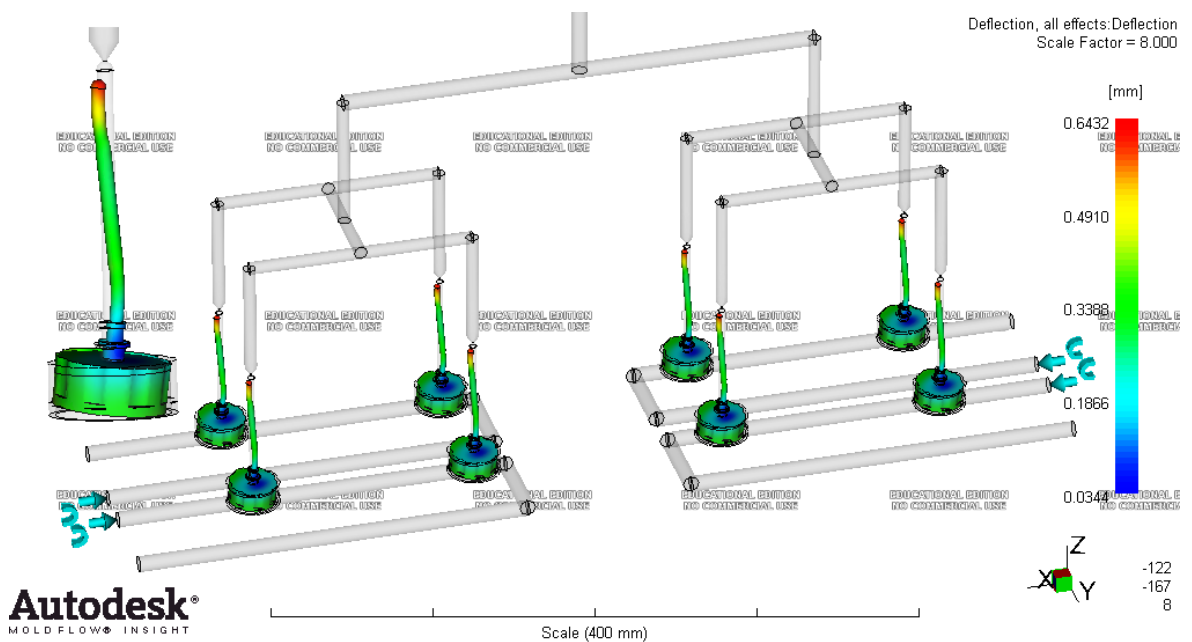
Obr. 50. Kompletní vstřikovací forma

8.7 Deformace výstřiku

Při průběhu vstřikovacího cyklu se objem výstřiku mění. Při plnění dutiny formy taveninou je objem maximální a po následném zchlazení se výstřik smršťuje. Pro získání hodnot velikosti smrštění a deformace je využito programu Moldflow s patřičnými analýzami.

8.7.1 Deflection, all effects – celková deformace

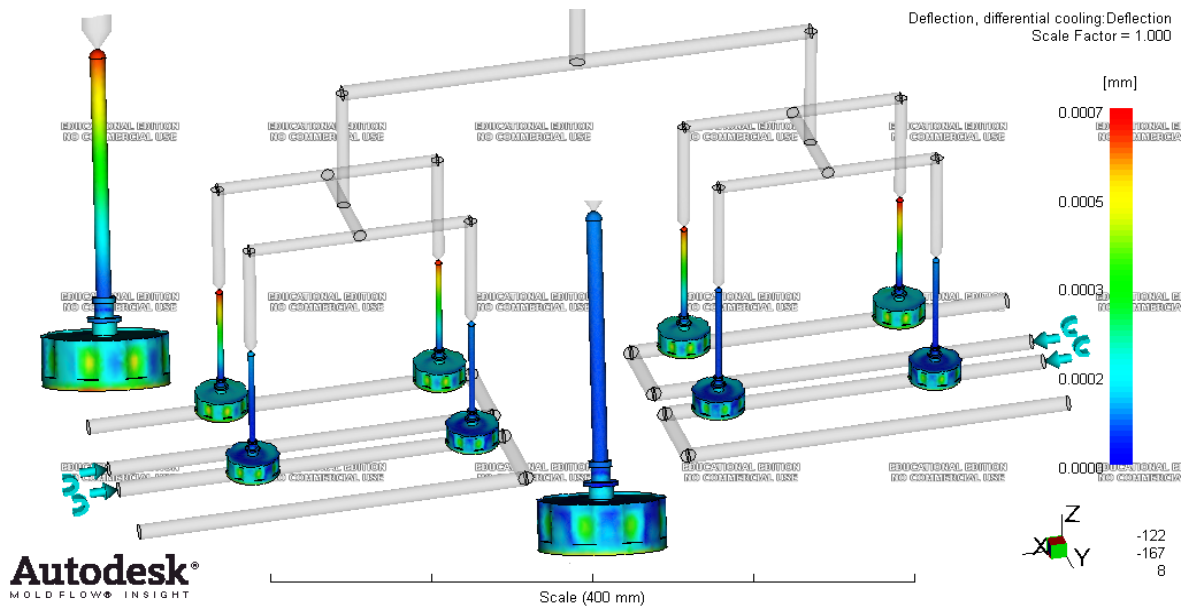
Celková deformace obsahuje všechny deformace a smrštění, které ovlivňují finální podobu výstřiku. Z analýzy lze vypočítat, že výstřik je nejvíce deformován v oblasti horké trysky, kde nedochází k dostatečnému ochlazení a při procesu vyhození je zde nejvyšší teplota, která způsobuje značné smrštění, protože se výrobek dostává na pokojovou teplotu okolo 20°C. Celková deformace může nabývat menších hodnot, než je deformace vlivem smrštění.



Obr. 51. Celková deformace

8.7.2 Deflection, differential cooling – celková deformace vlivem chlazení

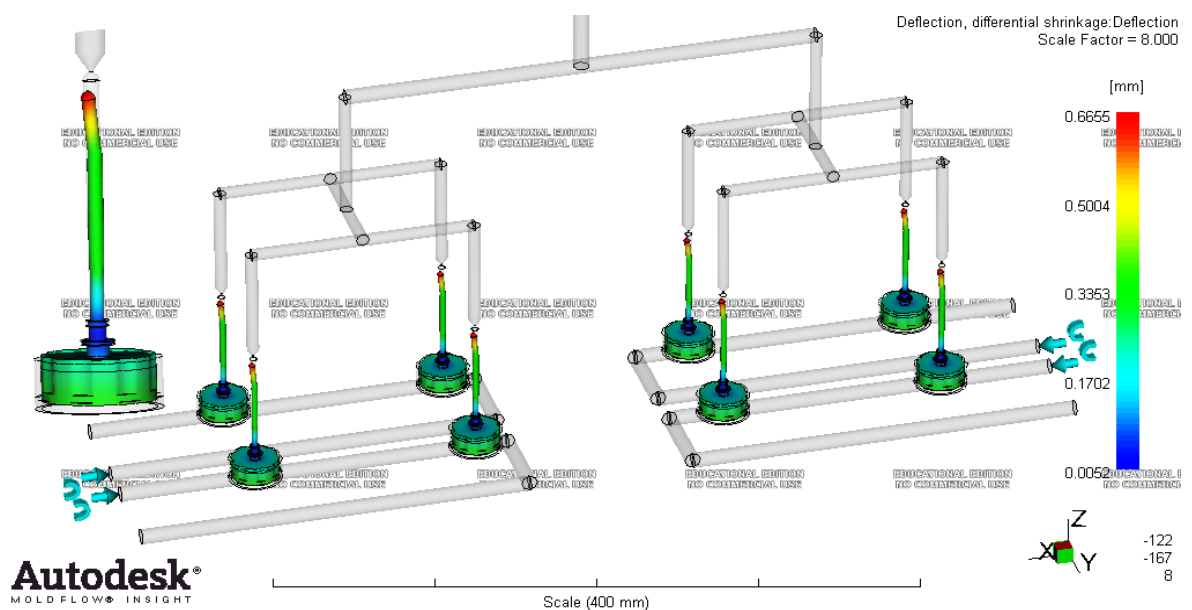
Průtok a teplota chladicího média je zřejmě navržena optimálně, protože vznikají malé deformace vlivem chladicího cyklu. Z analýzy lze vypočítat, že deformace není na všech výstřicích stejná, ale ze zkoumání a optimalizace daného vstřikovacího cyklu nelze odůvodnit. Maximální hodnota deformace je 0,0007 mm v místech ležících horkých vtokových tryskách, kde nelze dostatečně chladit a dolní část výstřiku je chlazená dostatečně bez žádných deformací. Vzniklá deformace se dá kvůli nízkým hodnotám zanedbat.



Obr. 52. Celková deformace vlivem chlazení

8.7.3 Deflection, differential shrinkage - celková deformace vlivem smrštění

Při vyhození výstřiku z formy dochází k dalším samovolným deformacím vlivem smrštění. Maximální deformace jsou 0,6655 mm v místech, kde vyúsťuje tavenina z horkých vtokových trysek. V těchto místech nelze chladit z konstrukčního hlediska formy. Pro zamezení daných deformací se dutina formy zvětší o průměrnou hodnotu smrštění a prodlouží se doba chlazení s vyšší teplotou chladicího média, aby při nižších hodnotách nevznikaly další deformace.



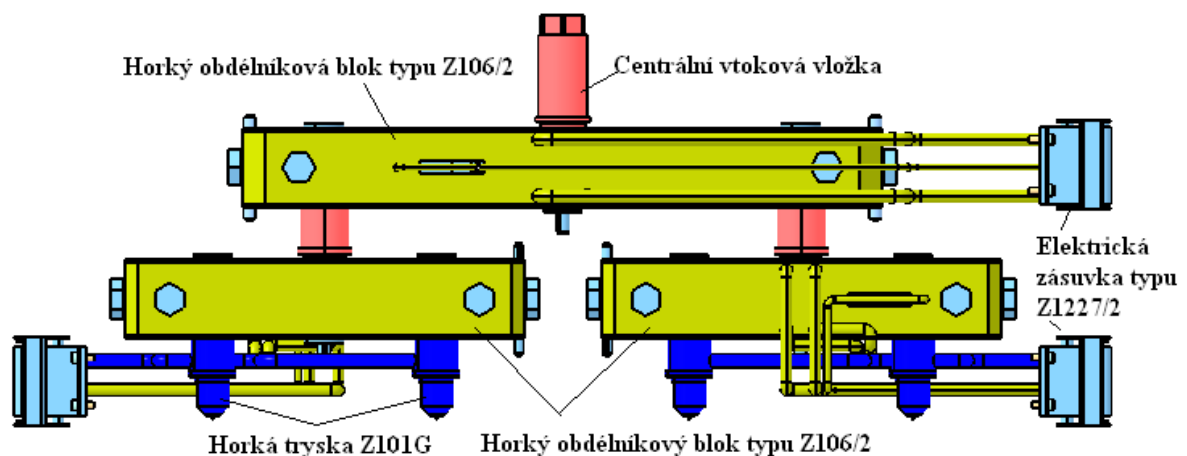
Obr. 53. Celková deformace vlivem smrštění

9 NÁVRH 16 – NÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY

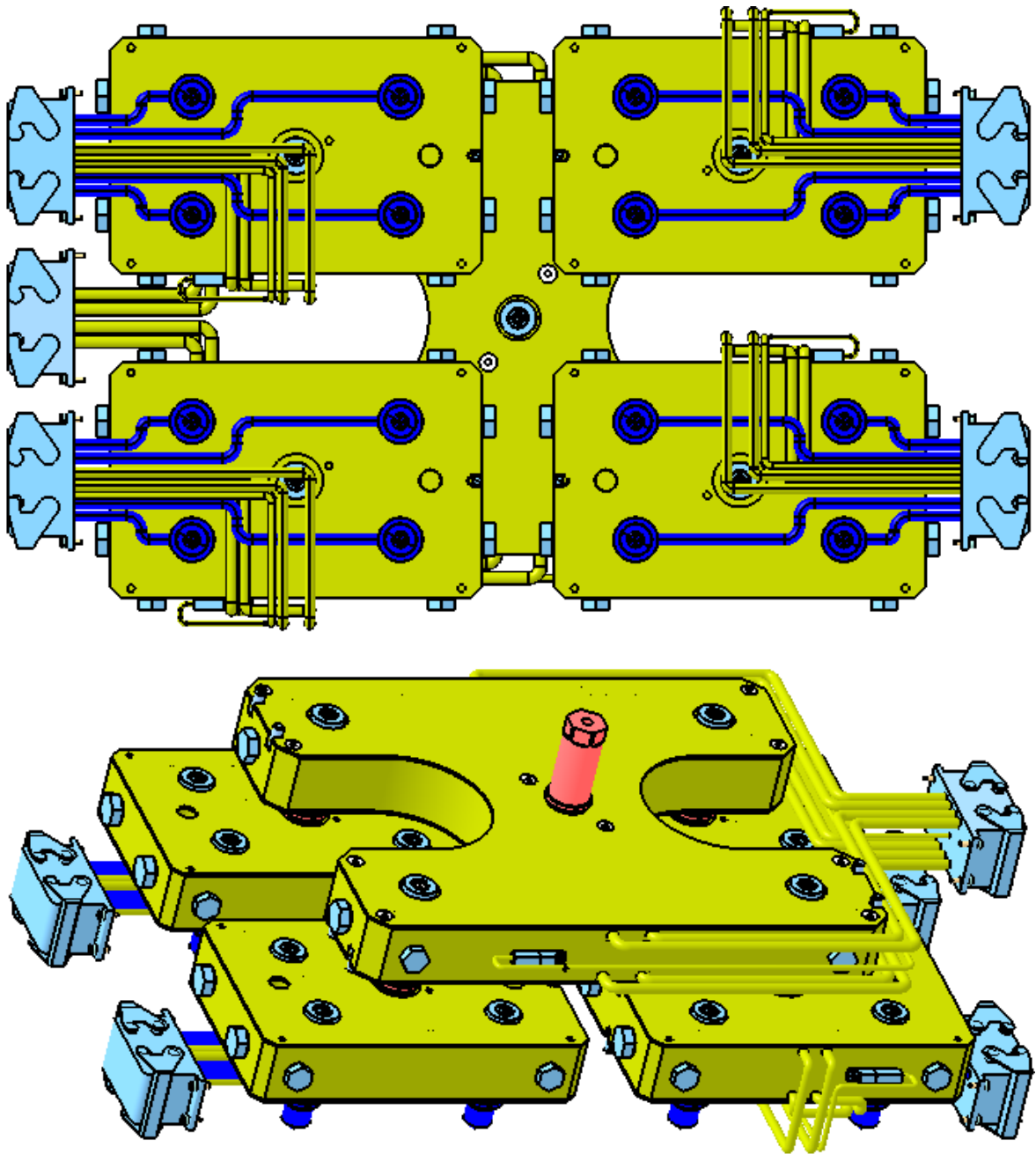
Z ekonomického hlediska je 16 – násobná forma navrhnutá stejným způsobem jako 8 – násobná s využitím všech potřebných součástí. Zaformování i vyhození výstřiku se děje stejným způsobem, aby formy byly co nejlépe identické a co nejnáze porovnatelné. Pro realizaci byla taktéž využita školní verze CATIA V5R18 s použitím modulu Mold Tooling Design za podpory katalogu Hasco a normálií ISO.

9.1 Vtokový systém

Vtokový systém pro 16 – násobnou formu je konstruován čtyřmi horkými obdélníkovými bloky od firmy Hasco typu Z106/2, na kterých jsou připevněny čtyři horké trysky od firmy Hasco typu Z101G na každém bloku. Přívod taveniny do všech bloků je řešeno centrálním rozvodným blokem obdélníkového tvaru od firmy Hasco typu Z106/2, který je připojen pomocí centrální vtokové vložky na plastikační jednotku stroje. Tavenina je dopravovaná mezi jednotlivými bloky vtokovou vložkou, která má průchozí otvor. Všechny bloky jsou umístěny v příslušných deskách, které mají specifické vybrání, aby nedocházelo k velkým ztrátám tepla, což by vedlo k nehospodárnosti celého vstřikovacího cyklu. Blok i vstřikovací trysky jsou vyhřívány topnými hady, kteří jsou vyvedeni z elektrických zásuvek vně formy. Elektrické zásuvky jsou upevněny na formě z bezpečnostních důvodů vždy tak, aby při nehodě nedošlo ke zranění osob obsluhující stroj.



Obr. 54: Vtokový systém – bokorys

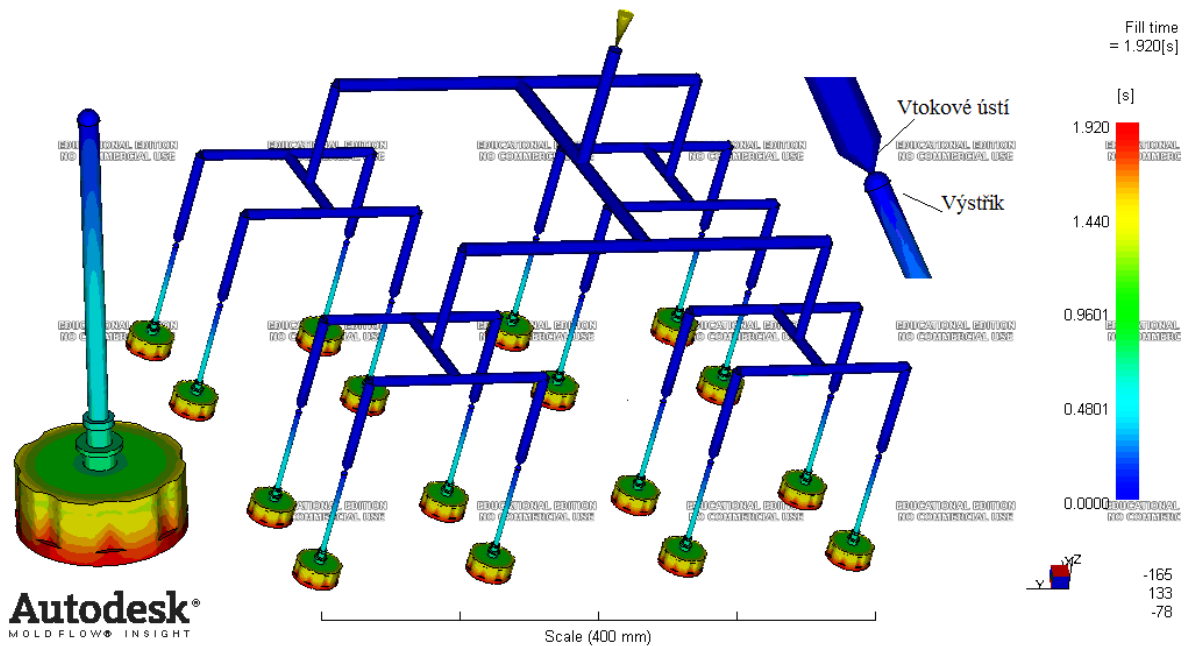


Obr. 55. Vtokový systém – další pohledy

9.1.1 Fill time – čas plnění

Pro kontrolu správnosti návrhu formy byla vyhotovena analýza plnění v programu Moldflow. Horká vtoková soustava, jak už bylo řečeno, se skládá z normalizovaných dílů od firmy Hasco. Z centrálního bloku je tavenina rozváděna kruhovým průřezem o průměru 10 mm, do vedlejších bloků o průměru 8 mm. Vtokové ústí je řešeno kuželovým průřezem, který je 5 mm dlouhý a přechází z průměru 8 mm na průměr 1 mm odkud tavenina putuje přímo do posuvných čelistí, kde dochází k formování taveniny do požadovaného tvaru.

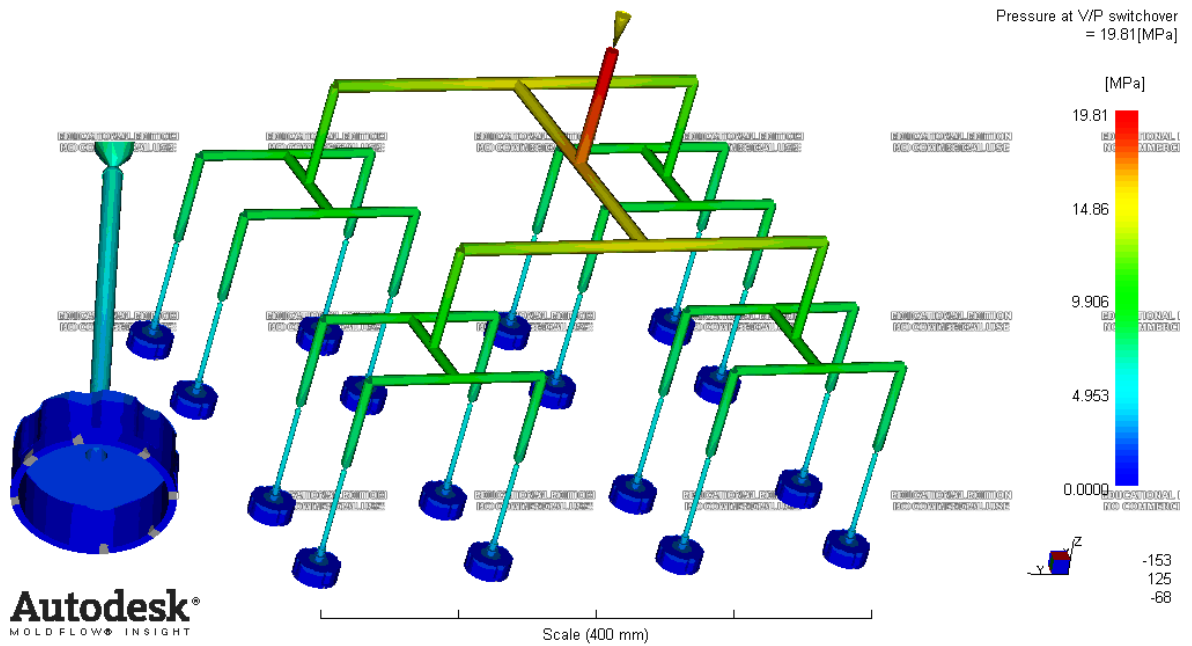
Tavenina je přiváděna z plastikační jednotky o teplotě 230° C. Čas plnění dutin formy byl přednastaven na 1,4 s což reálný čas podle analýzy je 1,902 s. Podle barevného spektra lze usoudit, že místa červené barvy jsou zaplněna jako poslední, kde budou vznikat nežádoucí jevy. Podle prvních analýz, kde bylo zjištěno optimální umístění vtokového ústí, by čas plnění odpovídal kratším časům, protože by se tavenina lépe rozmísťovala po celém objemu výstříku.



Obr. 56. Čas plnění

9.1.2 Pressure at V/P switchover – tlak při přepnutí na dotlak

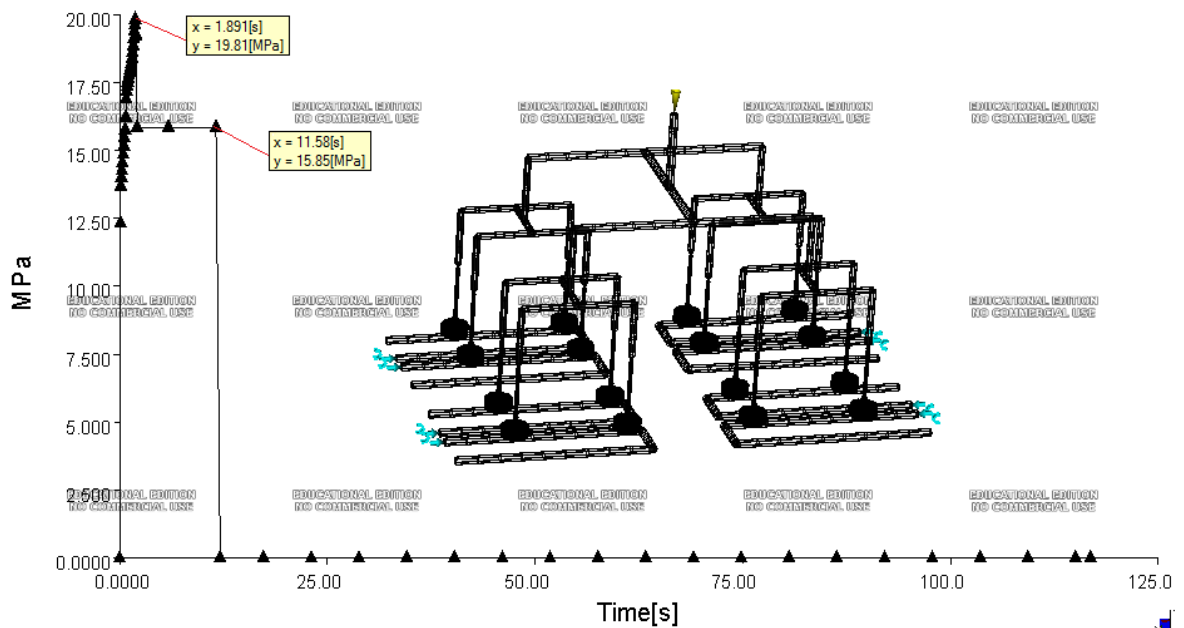
Do procesních podmínek bylo nastaveno, že při zaplnění taveninou dutiny formy z 98 % se bude přepínat dotlak. Šedá místa na výstříku ukazují, že dotečení materiálu do všech míst je až po přepnutí na dotlak. Červená barva znázorňuje u vtokového systému, že odpor taveniny proti stěnám vtokového systému je tak vysoký, že materiál už není schopen samovolně téci, proto je zapotřebí k doplnění dutiny formy dotlaku, který pomoci tlaku doplní prázdná místa. Tlak při přepnutí na dotlak je 19,81 MPa



Obr. 57. Tlak při přepnutí na dotlak

9.1.3 Pressure at injection location – průběh tlaku při vstřikování

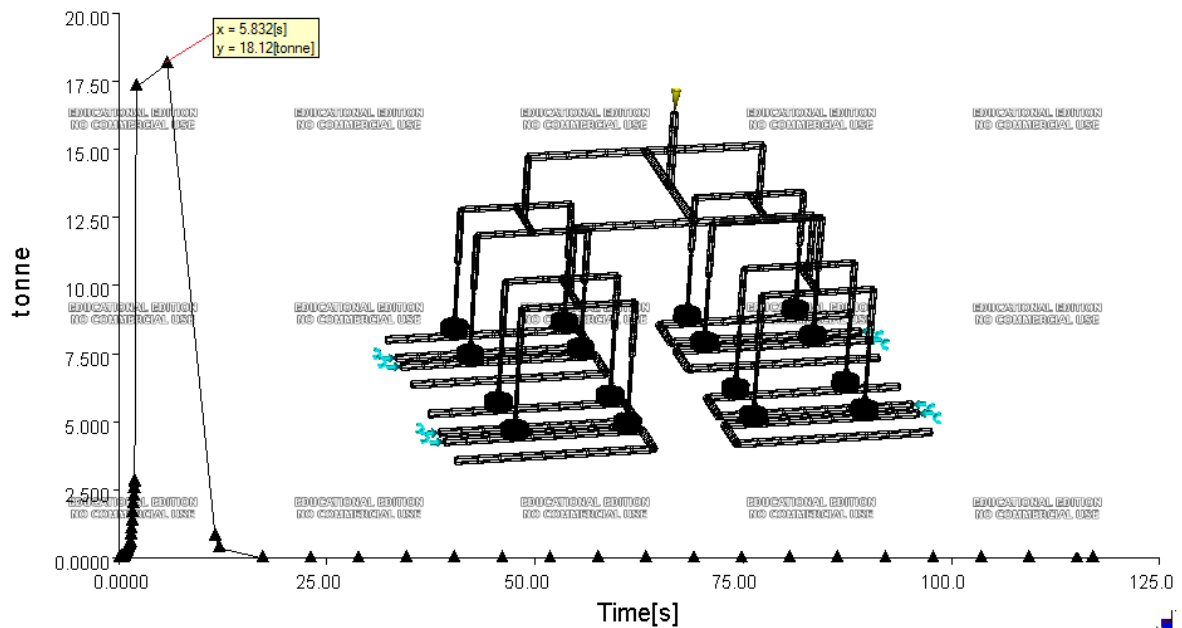
Z grafu vyplývá, že tlak roste z důsledku zaplňování dutiny formy taveninou a narůstání je velice strmé. Při dosažení hodnoty 19,81 MPa za 1,891 s dochází k přepnutí na dotlak 80% hodnotou plnění což je 15,85 MPa po dobu 11,58 s. Po dotlaku je ukončena fáze plnění a následuje pouze chlazení výrobku, při kterém klesne tlak ve formě na nulovou hodnotu.



Obr. 58. Průběh tlaku při vstřikování

9.1.4 Clamp force – uzavírací síla

Maximální uzavírací síla stroje činí 272 tun (1 tonne = 10 kN), přičemž u vstříkovaných výrobků stačí maximální uzavírací síla pouze 18,12 tun, což je 9,96% kapacity stroje. Zjištěných informací se dá usoudit, že by vyhovoval stroj s menší uzavírací silou, ale s ohledem na potřebný tlak, objem taveniny a rozměr formy nelze libovolně měnit vstříkovací stroj.



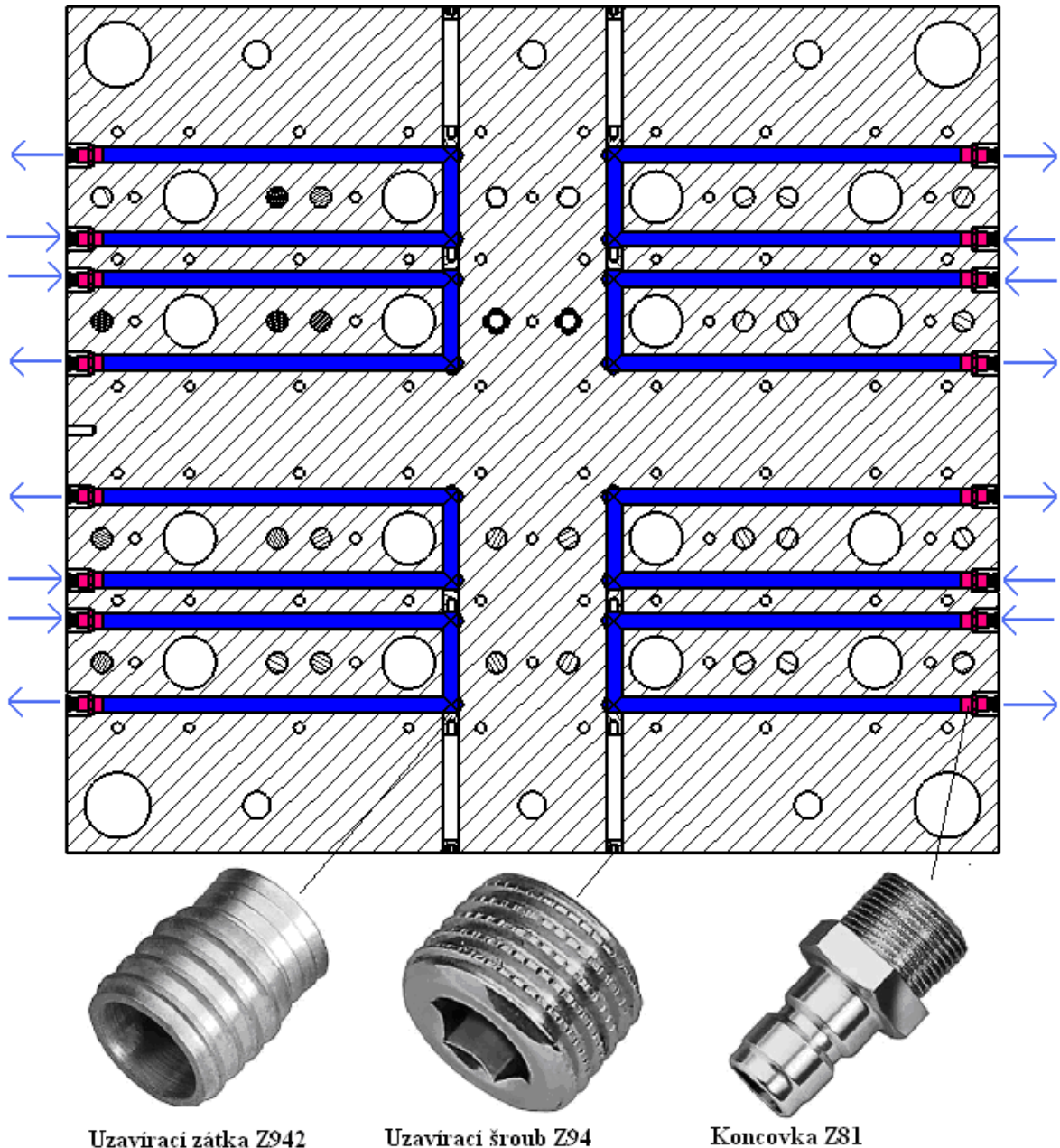
Obr. 59. Uzavírací síla při vstříkování

9.2 Odvzdušnění dutin formy

Pro eliminování spálených míst a propadlinám vlivem špatného odvzdušnění dutin formy, je nutné dutiny upravit vhodným způsobem. Pro odvod nežádoucího vzduchu u formy je předpokládáno netěsnostmi mezi pohyblivými částmi zaformování (pohyblivé čelisti, tvárník, vyhazovací tvárník) a dělicími rovinami.

9.2.1 Air traps – vzduchové kapsy

Podle analýzy lze přesně definovat, kde budou vzduchové kapsy na výstřiku. Pokud by nebyl vzduch dostatečně odveden z dutiny formy docházelo by k nedostatečnému zatečení taveniny, propadlinám a optickým vadám. Po zhotovení a uvedení formy do výroby by se zjišťovalo, jak intenzivně je vzduch odveden a pokud by odvod nebyl dostačující, musela by se forma upravit odvzdušňovacími kanálky v místech vypovídajících na výrobcích.

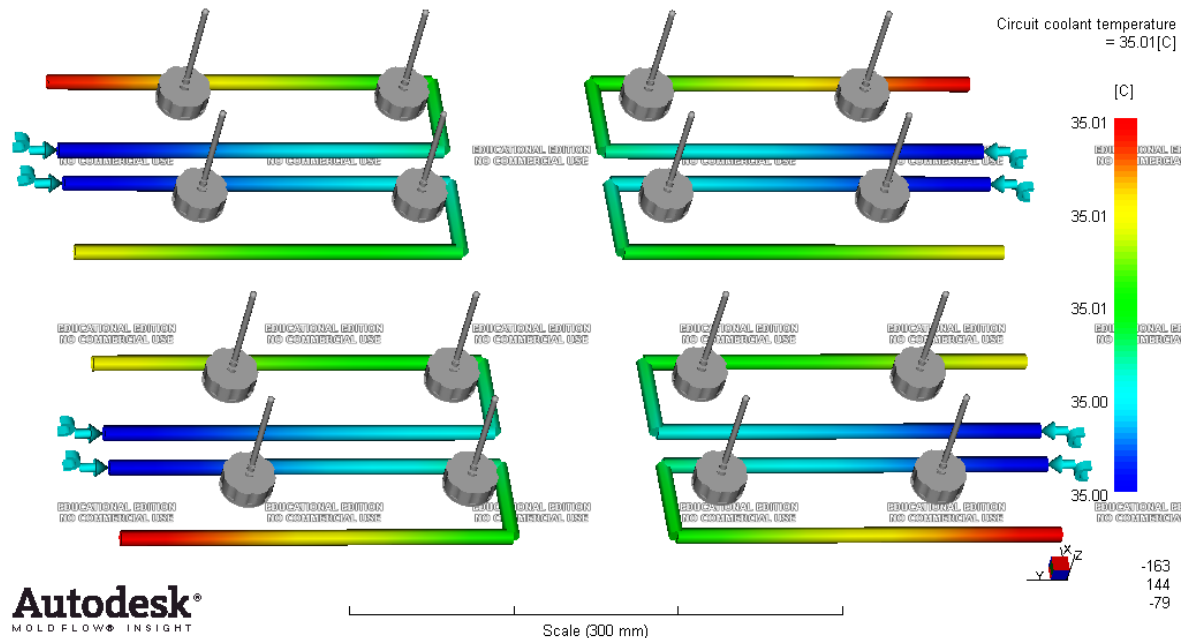


Obr. 61. Temperační systém

9.3.1 Circuit coolant temperature – teplota chladicí kapaliny

Podle materiálu PP byla stanovena teplota formy na 40° C, což lze využít k nastavení chladicího média uvnitř chladicích kanálů. Do procesních podmínek analýzy byla nastavena teplota o 5° C méně nežli teplota celkové formy. Podle analýzy, která určuje teplotu chladicího média po průchodu chladicího systému se teplota změnila pouze o + 0,01° C. Objemový průtok kapaliny uvnitř chladicího systému je 30 l/min což při poznatku, jak se teplota média mění se dá říci, že se vynaloží menší finanční nároky na velké zásobníky, kde by se

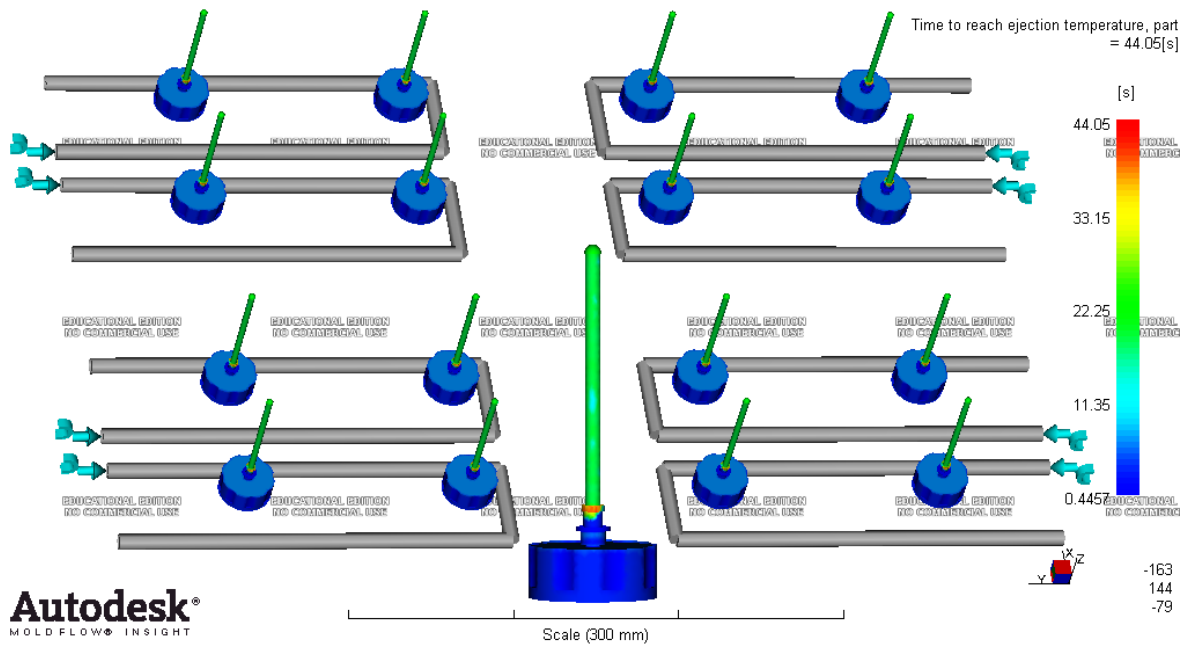
musela voda ochlazovat na požadovanou teplotu. Podle Reynoldsova čísla se dá určit typ proudění, přičemž nad hodnotou 10 000 je proudění turbulentní. Z programu Moldflow byla zjištěna hodnota 87 983, což se dá usoudit, že objemový průtok by se mohl zmenšit na poloviční hodnotu.



Obr. 62. Teplota chladicího média

9.3.2 Time to reach ejection temperature, part – čas k dosažení teploty vyhození

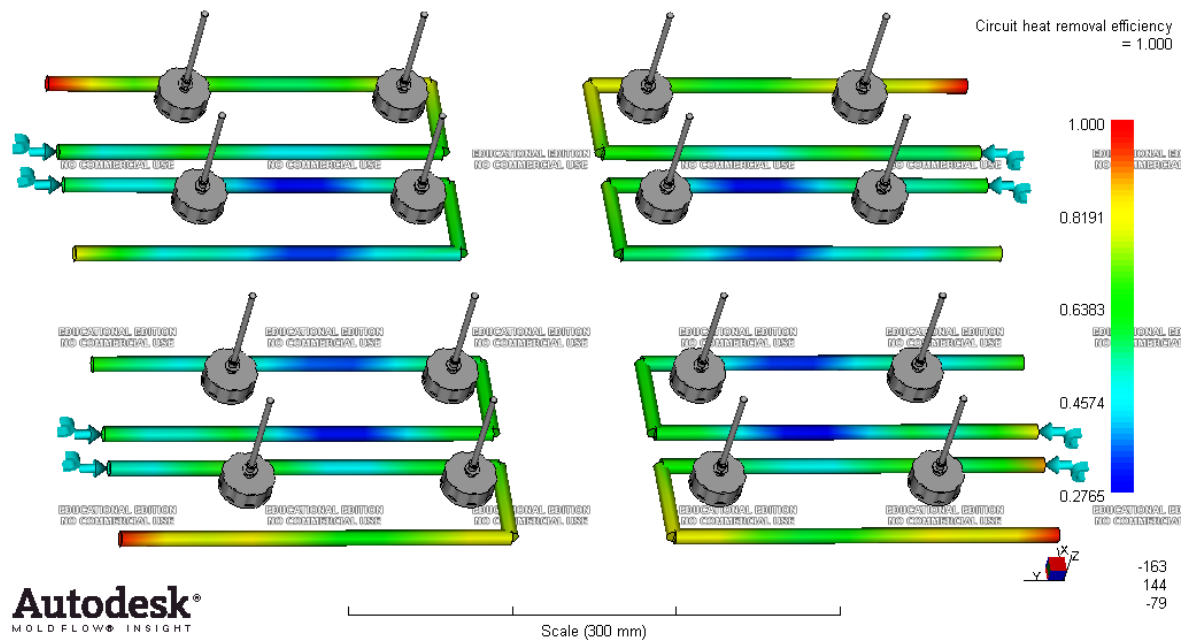
Doba chlazení je ovlivňována procesními podmínkami, kdy byla stanovena kritéria, že vyhození výstřiku může nastat při 100 % zatuhnutí všech molekul, přičemž nejvyšší teplota vyhození výstřiků je 111° C. Doba, která je potřebná pro zchlazení výstřiku na teplotu vyhození je 44,05 s.



Obr. 63. Čas k dosažení teploty vyhození

9.3.3 Circuit heat removal efficiency – efektivita odvodu tepla

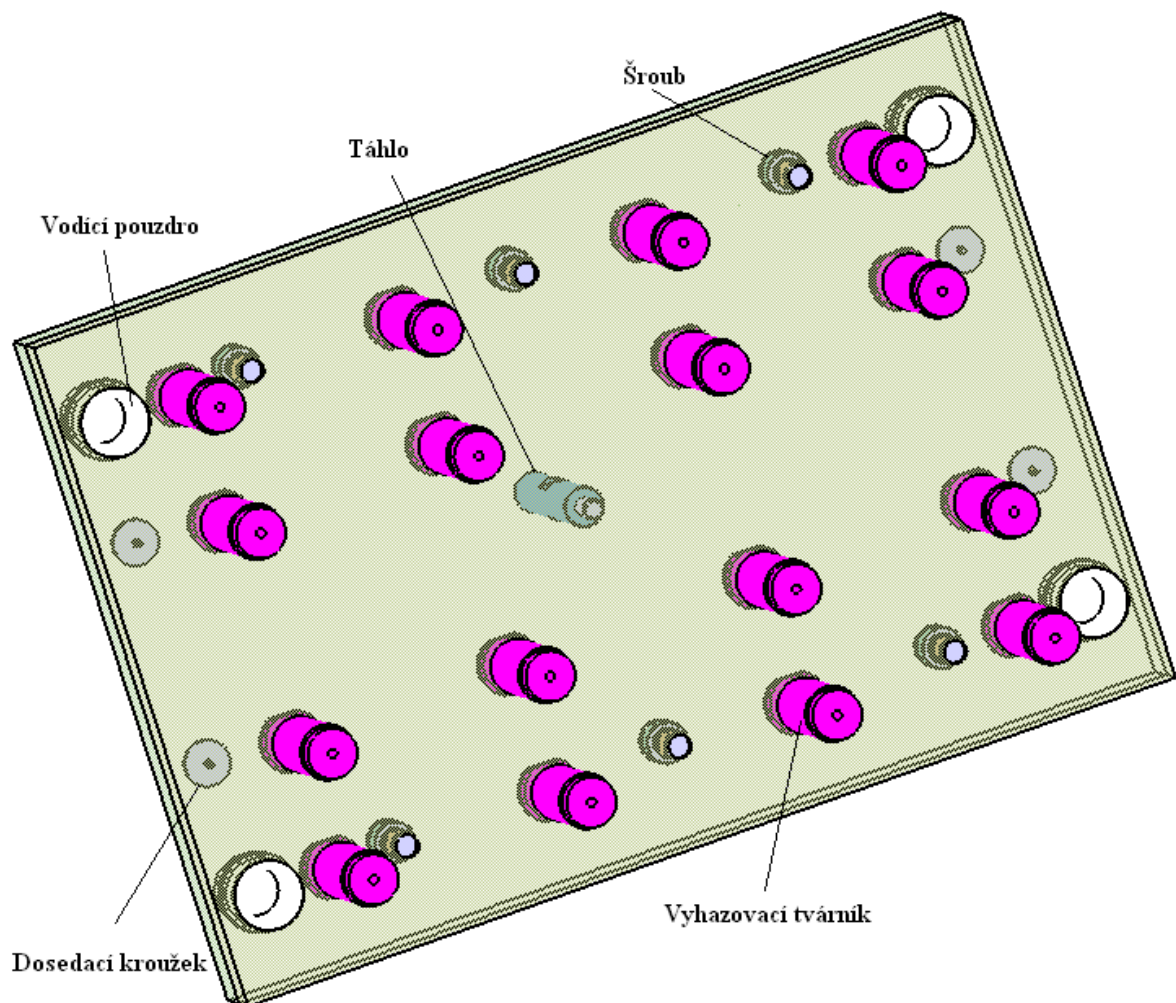
Z analýzy vyplývá, že červená místa na temperačním systému jsou využita maximálně na odvod tepla. Mezi výtříky se efektivita snižuje díky menšímu teplotnímu poli.



Obr. 64. Efektivita odvodu tepla

9.4 Vyhazovací systém

Po dostatečném zchlazení výstřiků uvnitř dutin, přichází ukončení vstřikovacího cyklu a to vyhození. Vyhození je koncipováno jednotlivým vyhazovacím tvárníkem pro každý výstřik. Vyhazovací tvárník je součástí sestavy dílů pro vytváření daného výstřiku. Při otevírání levé strany formy dochází k rozevření posuvných čelistí a při maximálním rozevření což určuje délka šikmého čepu se za pomoci táhla upevněné k vyhazovacímu systému stroje vyhodí všech 16 výstřiků na jednou hydraulickým systémem. Vyhazovací tvárník je upevněn v příslušné desce ve vyhazovacím systému. Pro správné vedené vyhazovacích desek je využito pouzder, v kterých prochází čepy upevněné v levé straně formy. Dvojice vyhazovacích desek je přichycena pevně šesticí šroubů a pro snížení hluku a rázů jsou namontovány dosedací kroužky na straně desek, které mohou o sebe při zpětném pohybu tlouct.



Obr. 65. Vyhazovací systém

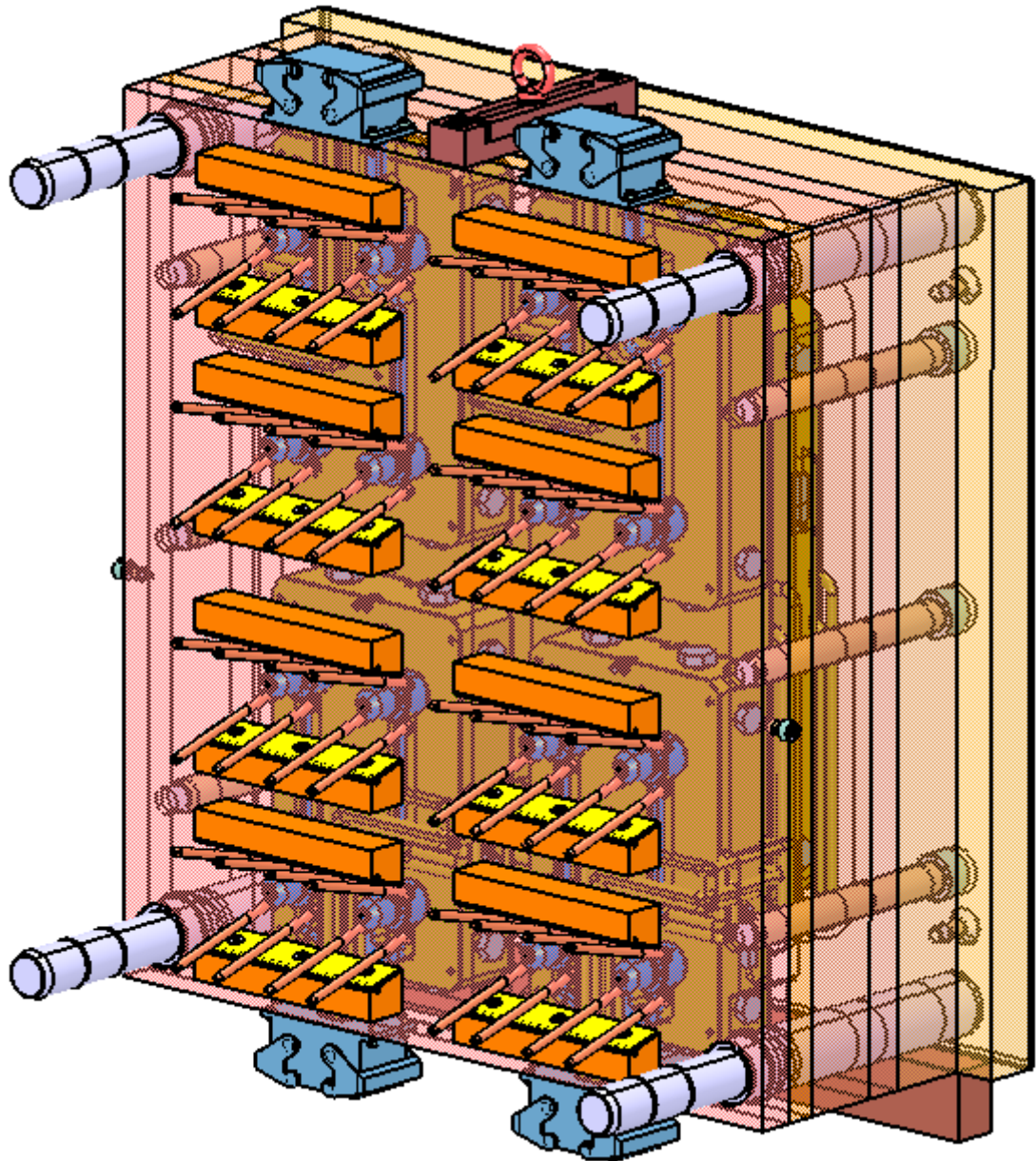
9.5 Rám, vodící a upínací prvky formy

Při návrhu 16 – násobné formy bylo využito co nejvíce normálií od firmy Hasco, pro snazší konstrukci i výrobu. Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější vměstnat co nejvíce dílu do co nejmenší formy za předpokladu dodržení všech pravidel při konstrukci forem, což v daném případě bylo dodrženo. Vstřikovací forma při rozměrech 546 x 596 x 484 mm se může upnout v jakékoli poloze, protože je zvolen vstřikovací stroj s vodícími sloupky o rozteči 630 x 630 mm.

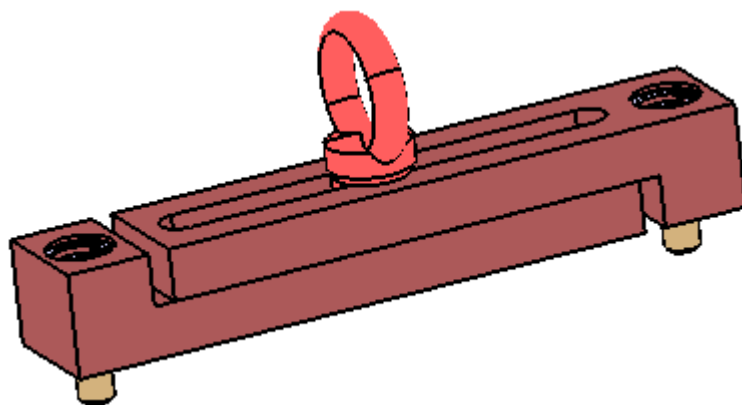
Pro snadnější upínání formy do vstřikovacího stroje je použito zajišťovacího zámku, který při přenosu nedovolí rozevření formy. Po upnutí se zajišťovací zámek pootočí do svislé polohy, kde za pomoci kuličky a drážky vyvrtané do formy zůstane zafixován po dobu funkčnosti formy ve stroji.

Forma taktéž obsahuje spodní lyžiny, upevněné několika šrouby, aby při opravě, kontrole nebo ponechání ve skladě neležela na funkčních částech a nedeformovala se.

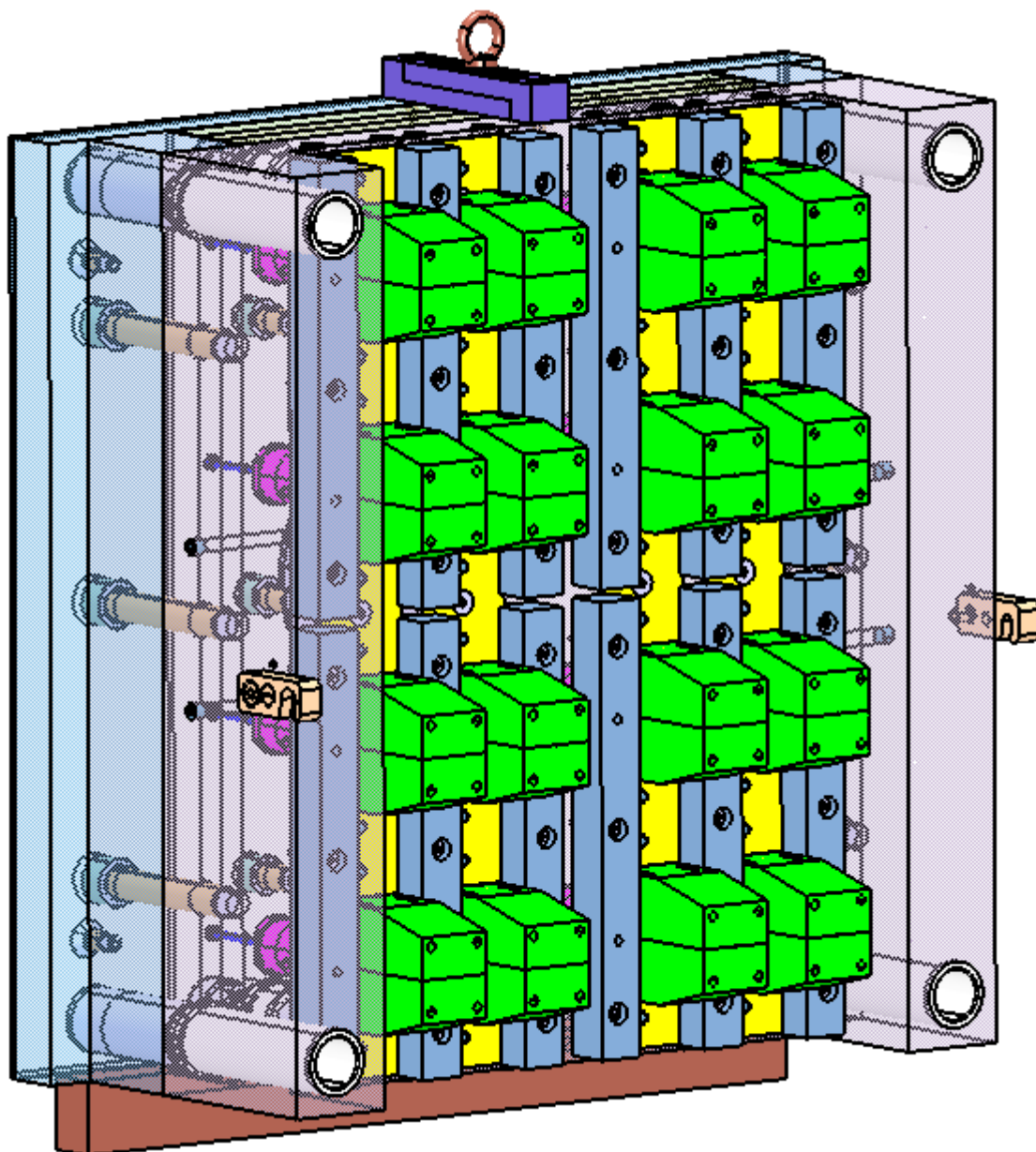
Manipulace 16 – násobné formy je realizována dvěma transportními můstky, protože konstrukce formy to umožnila, nežli u 8 – násobné formy.



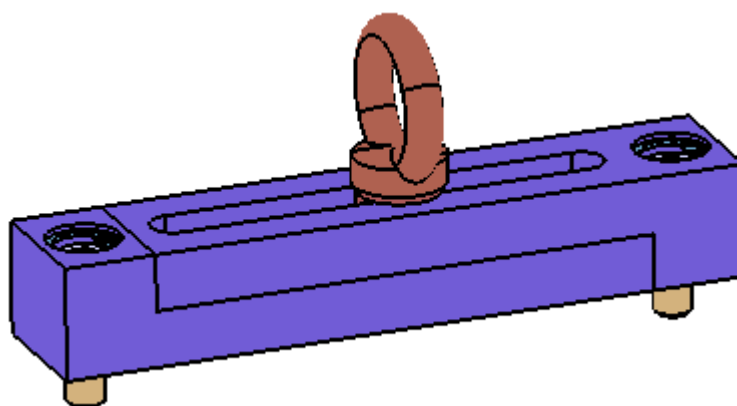
Obr. 66. Pravá nepohyblivá strana formy



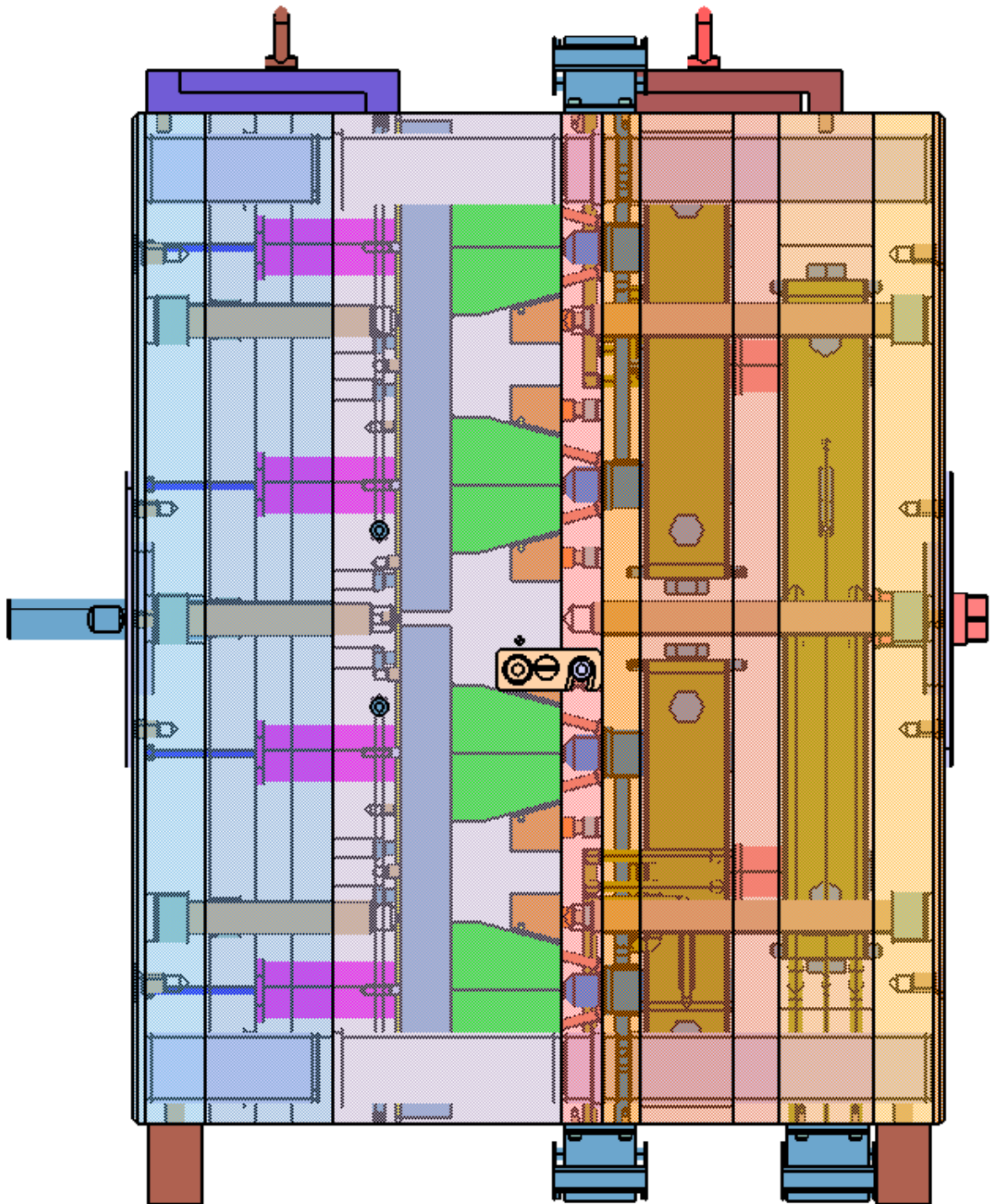
Obr. 67. Transportní můstek pravé strany formy



Obr. 68. Levá pohyblivá strana formy



Obr. 69. Transportní můstek levé strany formy



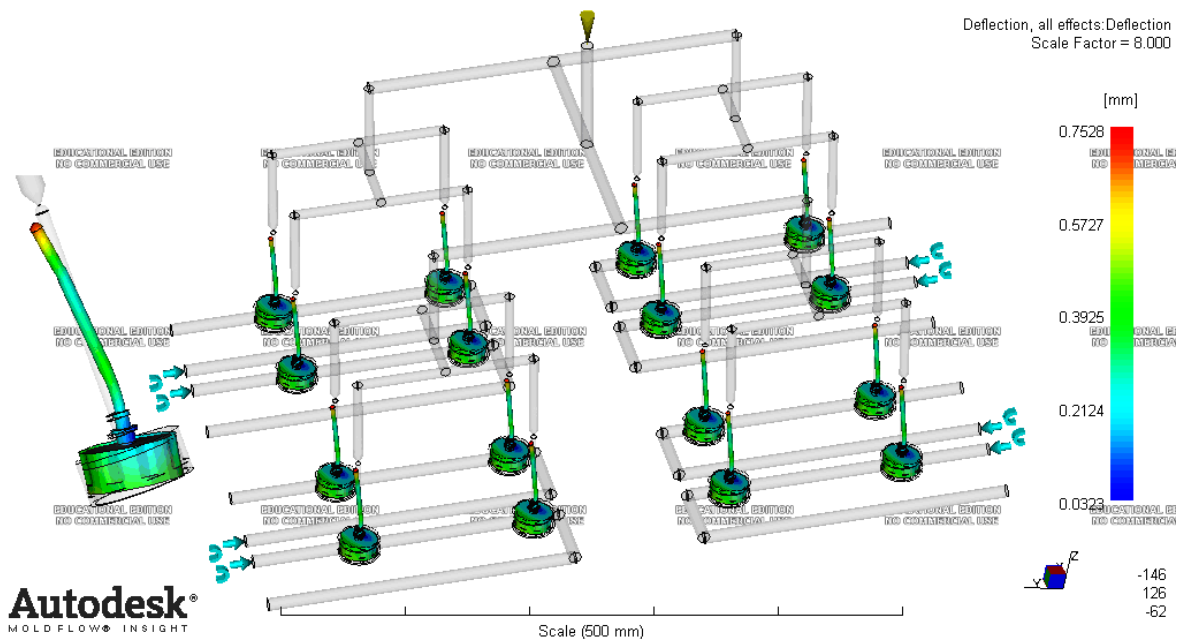
Obr. 70. Kompletní vstřikovací forma

9.6 Deformace výstřiku

Při průběhu vstřikovacího cyklu se objem výstřiku mění. Při plnění dutiny formy taveninou je objem maximální a po následném zchlazení se výstřik smršťuje. Pro získání hodnot velikosti smrštění a deformace je využito programu Moldflow s patřičnými analýzami.

9.6.1 Deflection, all effects – celková deformace

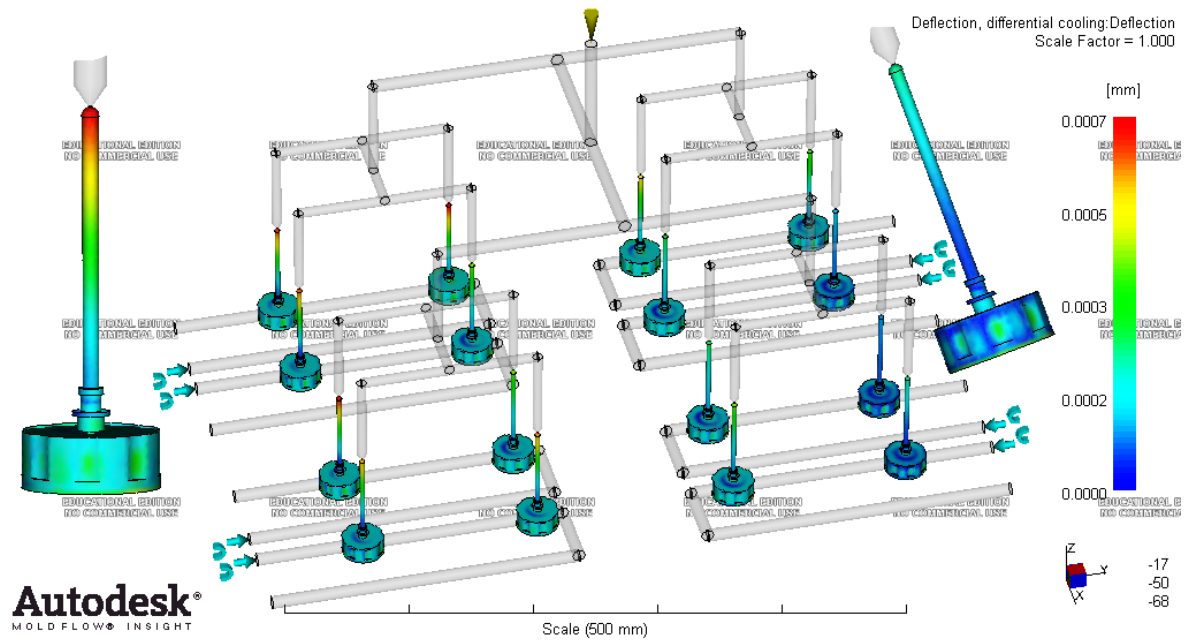
Celková deformace obsahuje všechny deformace a smrštění, které ovlivňují finální podobu výstřiku. Z analýzy lze vypočítat, že výstřik je nejvíce deformován v oblasti horké trysky, kde nedochází k dostatečnému ochlazení a při procesu vyhození je zde nejvyšší teplota, která způsobuje značné smrštění, protože se výrobek dostává na pokojovou teplotu okolo 20° C.



Obr. 71. Celková deformace

9.6.2 Deflection, differential cooling – deformace vlivem chlazení

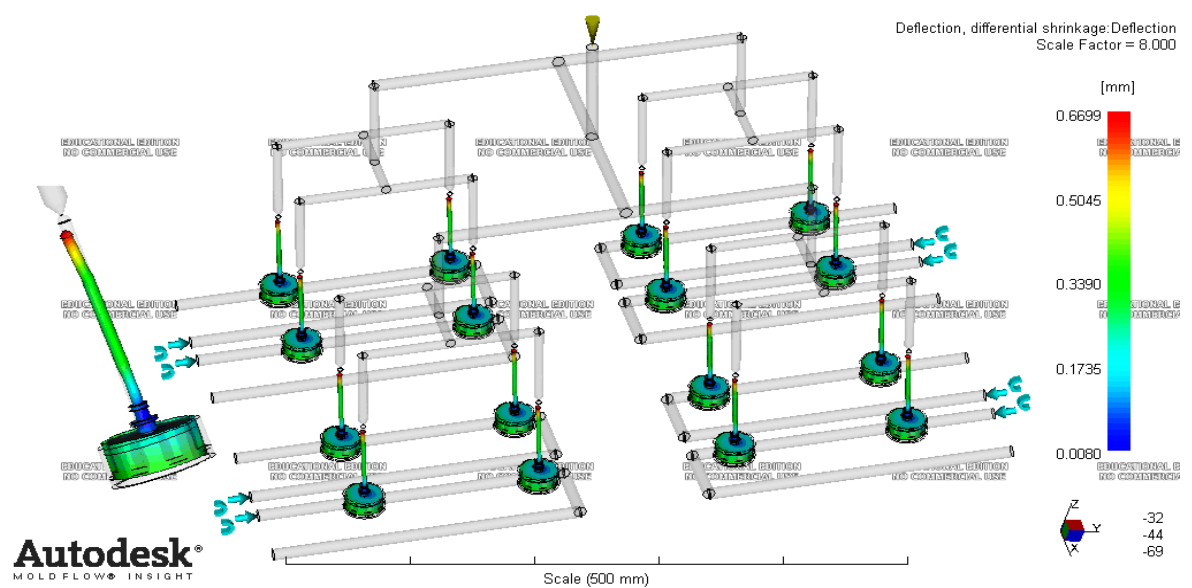
Průtok a teplota chladicího média je zřejmě navržena optimálně, protože vznikají malé deformace vlivem chladicího cyklu. Z analýzy lze vypočítat, že deformace není na všech výstřicích stejná, ale ze zkoumání a optimalizace daného vstřikovacího cyklu nelze přesně odůvodnit, leda se dá říci, že je to zaviněno celkovým teplotním polem formy. Maximální hodnota deformace je 0,0007 mm v místech ležících horkých trysek, kde nelze dostatečně chladit. Zjištěná deformace se dá na základě nízké hodnoty zanedbat.



Obr. 72. Deformace vlivem chlazení

9.6.3 Deflection, differential shrinkage – deformace vlivem smrštění

Při vyhození výstřiku z formy dochází k dalším samovolným deformacím vlivem smrštění. Maximální smrštění je 0,6699 mm v místech, kde vyústí tavenina z horkých vtokových trysek. V těchto místech nelze chladit z konstrukčního hlediska formy. Pro zamezení daných deformací se dutina formy zvětší o průměrnou hodnotu smrštění a prodlouží se doba chlazení s vyšší teplotou chladicího média.



Obr. 73. Deformace vlivem smrštění

10 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Z ekonomického hlediska byly vstřikovací formy navrženy shodným způsobem s odlišnou násobností, pro předpoklad využití jednoho vstřikovacího stroje. Pro výrobu výstřiku u dvojice forem je využito vstřikovacího stroje od firmy Arburg s označením ALLROUNDER 630 S. Zvolený stroj vyhovuje ve všech parametrech (Tab. 4) vstřikovacímu cyklu. Detailní informace o parametrech stroje od firmy Arburg jsou v příloze (P I).



Obr. 74. Vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S [9]

Tab. 4. Parametry vstřikovacího stroje, programu Moldflow a jednotlivých forem

	Vstřikovací stroj Arburg	Realita - Moldflow	8 - násobná forma	16 - násobná forma
Uzavírací síla [kN]	2500	2720	82,68	181,2
Vstřikovací síla [MPa]	200	dle nastavení	17,37	19,81
Otevírací zdvih [mm]	300 - 700	-	484	484
Rozteč sloupků [mm]	630 x 630	630 x 630	596 x 346	596 x 606
Dávka taveniny PP [cm ³]	392	353	36,16	72,32
Max. hmot. formy [kg]	2500	-	791,4	1298,5
Průměr šneku [mm]	50	50	-	-

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomičnost, hospodárnost výroby a využití vstřikovací formy je závislá na mnoha aspektech, které se projevují do ceny jednotlivého výstřiku. K zjištění ceny výstřiku u dvou forem s odlišnou násobností, ale s využitím co nejvíce stejných dílů, bylo využito školního programu Simcalc od německé firmy Simcon, která při výpočtu zahrnuje celou řadu náležitostí:

- pořizovací náklady na nástroj,
- budoucí náklady na opravy nástroje,
- režijní náklady,
- náklady na materiál.

11.1 Pořizovací náklady na nástroj

Vstřikovací formy jsou konstruovány, pokud možno s co největším počtem normalizovaných dílů s informacemi o ceně, k čemuž přispělo k snadnému zjištění cen.

Pořizovací cena 8 – násobné vstřikovací formy je stanovena na 2 000 000,- bez DPH a 16 – násobná forma je pořízena za 3 600 000,- bez DPH.

11.2 Budoucí náklady na opravy nástroje

V celkové ceně na nástroje nejsou připočítané investice v podobě úprav a oprav. Životnost forem bez oprav je stanovena na 10 mil. kusů výstřiku, což 8 – násobné formy představuje 1 250 000 zdvihů a u 16 – násobné formy 625 000 zdvihů. Z těchto informací se dá usoudit, že náklady na opravu jednotlivých forem budou rozdílné a potřebné za rozdílnou časovou jednotku. V programu Simcalc se dá cena za opravy sledovat s počtem vyrobených výstřiků.

11.3 Režijní náklady

Režijní náklady vycházejí z pořizovací ceny vstřikovacího stroje, z ceny mzdy za obsluhu, z ceny z běžných reálných režii jako je cena elektrické energie, vody, nájem budov, pojištění, provize a předpokládané riziko.

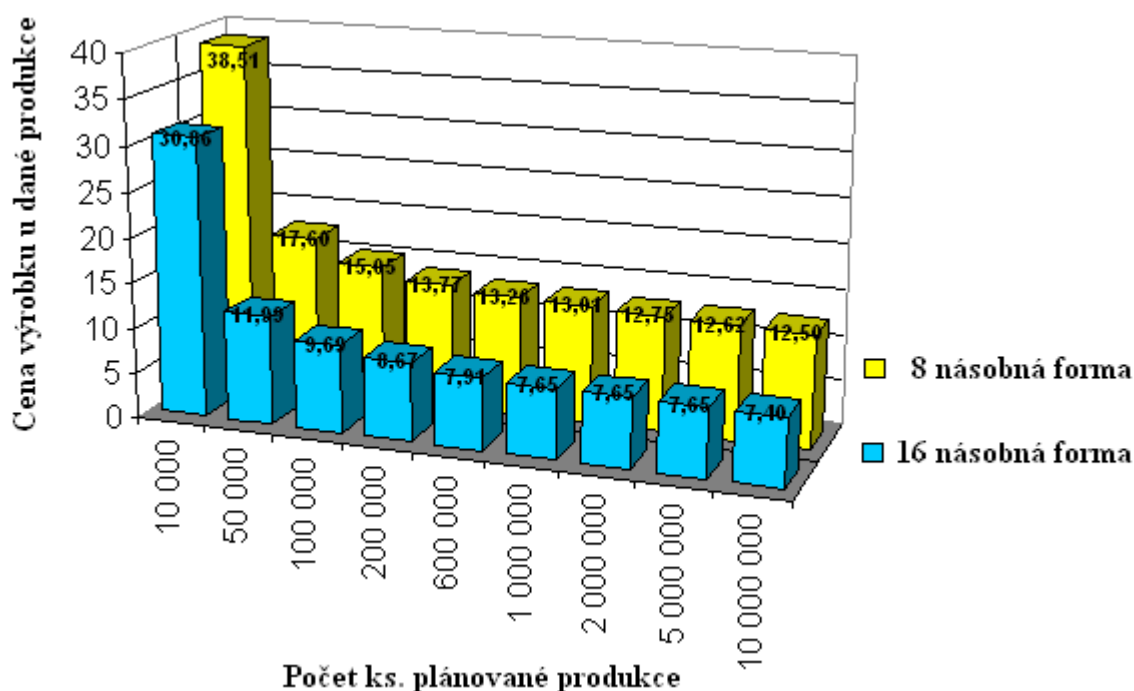
Požizovací cena vstřikovacího stroje od firmy Arburg ALLROUNDER 630 S je stanovena na 4 000 000,- bez DPH. Dalším nákladem je mzda dělníka 200 Kč/hod, kterému zabere daná činnost přibližně 20 % pracovního času, protože obsluhuje více vstřikovacích strojů. Mzda seřizovače je 300 Kč/hod, technologa 500 Kč/hod a jejich činnost na daném nástroji a stroji je 10 % pracovního času. Další režijní náklady byly stanoveny z průměrné hodnoty, protože vývoj cen se neustále mění s globální ekonomikou.

11.4 Náklady na materiál

Do celkových nákladů se neodmyslitelně počítají počáteční náklady za nákup potřebného množství materiálu. Cena PP 108 MF 97 od firmy Sabic byla stanovena na hodnotu 80 Kč/kg. Potřebné množství pro výrobu 10 mil. ks výstřiku je 41 000 kg materiálu PP, bez započítání počátečního materiálu při rozjíždění vstřikovacího cyklu.

11.5 Kalkulace cen

Po vložení všech náležitostí pro výpočet finální ceny výrobku do programu Simcalc byla vypočítaná konkrétní cena výstřiku pro určitou dávku produkce.



Obr. 75. Prostorový graf předpokládaného vývoje nákladu na jeden ks

Ze získaných dat z programu Simcalc, je patrné, že výroba dílce při nízké produkci je neekonomická jako u většiny vstřikovacích forem, což je dáno vysokou pořizovací cenou nástroje. S větší produkcí klesá cena, přičemž při produkci 10 000 000 ks při dvousměnném provozu 8 hodin je u 16 – násobné formy cena 1 ks výstřiku 7,40,- bez DPH. U 8 – násobné formy je cena jednoho výstřiku při stejné produkci značně vyšší, protože všechny náklady jsou totožné jako při výrobě dílce s využitím 16 – násobné vstřikovací formy, jen cena za nástroj se liší. Vysoká cena u formy s nižší násobností je dána tím, že při stejném pracovním nasazení, bude muset nástroj konat dvojnásobný počet cyklů, i když vstřikovací cyklus je kratší.

Vysoká cena výstřiku je pravděpodobně dána dlouhým vstřikovacím cyklem, pořizovací cenou nástroje a stroje a také vloženými daty, které byly zvoleny do programu Simcalc.

12 DISKUSE VÝSLEDKŮ

V praktické části diplomové práce byl řešen 3D model zadaného výrobku ve školní verzi programu CATIA V5R18. Pro další konstruktérskou činnost bylo nedílnou součástí zjistit, jak bude daný výstřík zaformován v dutině formy, aby formy mohly být realizovány konstruktérskými pravidly vstřikování. Pro zjištění nejvhodnějšího umístění vtokové ústí na výstříku, bylo využito programu Moldflow s patřičnou analýzou, která podle barevného spektra určuje optimální místo. Podle výsledku, nemohla být budoucí konstrukce formy realizována, protože by odformování výstříku nebylo proveditelné. Z dalšího zkoumání a ověřování bylo vtokové ústí umístěno na špičku trnu, aby se mohla začít práce s konstrukcí forem, kterou předcházelo definování materiálu, pro možnost % zvětšení dutinu formy o smrštění.

Pro lepší porovnání dvou variant vstřikovacích forem s rozdílnou násobností 8 a 16 se konstrukce forem nijak neliší a je využito co nejvíce stejných dílů s knihovny normálií Hasco. Způsob zaformování, vtoková soustava, temperační systém, vyhazovací systém, uchycení forem a další je konstruováno stejným způsobem, aby efektivita porovnání byla co nejvyšší.

Zaformování výstříku nebylo možné realizovat častým využitím tvárnice a tvárníku, ale za pomoci posuvných čelistí ovládaných šikmými čepy upevněny v nepohyblivé pravé části formy. Posuvné čelisti nejsou schopny tvořit vnitřní dutinu na výrobku, proto je zapotřebí dvou tvárníků které se podílí na celém zaformování. Tvárník je upevněn v levé pohyblivé části formy a tvoří užší, delší dutinu výstříku. Vyhazovací tvárník, který tvoří vnitřní obvod výstříku se spodní hranou je součástí vyhazovacího systému. Z důvodu zaformování je jediné místo pro umístění vtokového ústí čelo posuvných čelistí.

Vtokový systém u 8 – násobné formy je realizován dvěma horkými obdélníkovými bloky, na kterých jsou připevněny čtyři horké trysky na každém bloku. Pro přivádění taveniny do obou bloků je využito centrálního rozvodného bloku, který je připevněn ke vstřikovací jednotce stroje. Každá tryska vyúsťuje do dvojice posuvných čelistí, odkud se tavenina přes trn výstříku pohybuje do všech míst na výstříku. Z tokových analýz lze vypožorovat, že plnění dutiny taveninou je plynulé a 100 % zaplnění se děje při sepnutí na dotlak. Při plnění nedochází k propadlinám ani ke spáleným místům, z čehož se dá usoudit, že návrh vtokového systému byl optimální. Vtokový systém u 16 – násobné formy byl realizován čtyř-

mi stejnými horkými obdélníkovými bloky, ale centrální rozvodný blok byl taktéž obdélníkového tvaru, ale jiných rozměrů. Podle analýz plnění dutiny formy probíhalo totožně jako u 8 – násobné formy jen s vyššími hodnotami tlaku, dotlaku, uzavírací síly a času, což bylo způsobeno delšími drahami taveniny a počtem výstřiků. Při realizaci kombinace horkého a studeného vtokového systému by všechny parametry při plnění vzrostli a celková konstrukce forem se zkomplikovala, ale z ekonomického hlediska se vyplatila.

Odvzdušnění obou forem je záležitostí uvedení do provozu, protože se předpokládá, že potřebný únik vzduchu, bude probíhat mezi všemi netěsnostmi pohyblivých částí a dělicími rovinami. Pokud se při provozu zjistí nedokonalosti na výstřicích způsobené špatným odvedením vzduchu, tak se formy opatří odvzdušňovacími kanálky v místech vypovídajících na výrobcích s poznatkem předběžných analýz v programu Moldflow.

Temperace obou vstřikovacích forem je totožná, jen s jiným počtem temperačních kanálů. Kanály jsou vyrobeny třískovou metodou vrtáním do požadovaných hloubek bez zbytečného provrtání, aby nemuselo být využito velkého počtu ucpávek. Temperační kanály jsou situovány pod výstřiky, protože jiná varianta nebyla možná, z důvodu využití posuvných čelistí. Při realizaci chladících kanálů se využila souměrnost výstřiků a to tak, že jeden temperační okruh chladí vždy dva výstřiky. Toto uspořádání vede ke snížení účinnosti k odvodu tepla, ale realizace chladících kanálů pro jednotlivý výstřik by z bezpečného hlediska nebyla proveditelná, protože by koncovky hadic směřovali směrem k obsluze stroje a při dodržení všech zásad by temperační systém byl velice složitý, náročný na výrobu a efektivita chlazení se zvýšila minimálně. U obou forem se chladící médium po průchodu temperačního systému zvýší o $0,1^{\circ}\text{C}$. Efektivita odvodu tepla u menší násobnosti je vyšší, z důvodu vyššího teplotního pole (rozměr formy) a čas k dosažení teploty vyhození je nižší, protože forma není tak intenzivně ohřívána vtokovým systémem.

Vyhazovací systém je realizován standardním způsobem kotevní a vyhazovací deskou, připevněný za pomoci táhla k hydraulickému systému stroje. Mezi deskami jsou připevněny podle násobnosti vyhazovací tvárníky, které slouží k setření výstřiku z tvárníků. Vyhazovací systém se uvede do činnosti, až jsou posuvné čelisti dostatečně rozevřeny za pomoci šikmých čepů a axiálního posuvu formy, přičemž musí být výstřiky ochlazené na vyhazovací teplotu. Konstrukce forem s posuvnými čelistmi se stíží, protože je zapotřebí mnoha dalších funkčních dílů pro zajištění plynulého chodu. Při vyhazovacím cyklu nedochází

k vypadnutí výstřiku pod stroj, ale je využito automatických manipulátorů pro vyjmutí výstřiku z formy, protože by výstřiky mohly zapadnout mezi posuvné čelisti.

Při realizaci vstřikovacích forem se musí v konečné fázi brát v úvahu i deformace a smrštění výstřiku. Daný výstřik prochází při vstřikovacím cyklu mnoha fázemi, které ovlivňují jeho finální stav. Při temperaci formy dochází k prvním deformacím, které v daných případech jsou zanedbatelné, ale smrštění výstřiků při vyjmutí z dutiny formy jsou značné s ohledem na tloušťku stěny. Tyto smrštění a deformace se dají eliminovat delším chladičím cyklem s vyšší teplotou chladičím média a zvětšení dutiny formy a průměr smrštění.

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější vměstnat co nejvíce dílu do co nejmenší formy za předpokladu dodržení všech pravidel při konstrukci forem, což v daném případě bylo dodrženo. Rámy forem jsou opatřeny transportními můstky, zámky a lyžinami pro snadnou manipulaci, usazení do vstřikovacího stroje a uskladnění.

Pro lepší porovnání obou forem byl zvolen jeden stroj od firmy Arburg, který svými parametry vyhovoval v každém směru, ale jeho kapacity nebyly zcela využity. Jiný stroj s menšími parametry by vyhovoval v dodávaném objemu taveniny, tlaku, uzavírací síle, ale nevyhovoval v celkové rozteči vodících sloupků.

Snahou praktické části diplomové práce bylo zjistit, na základě zkonstruovaných forem, která bude lépe vyhovovat z ekonomického, hospodárného a efektivního hlediska. Díky programu Simcalc, který ve svém výpočtu cen u jednoho kusu výrobku zohledňuje všechny náklady od počátečních investic až po zisk, byla zjištěna konečná cena výrobku u jednotlivých forem. Podle výsledku je patrné, že cena 1 ks výrobku u 16 – násobné formy je v porovnání s 8 – násobnou formou poloviční. Tento výsledek se dá zdůvodnit tím, že i přes větší pořizovací cenu nástroje je cena výrobku nižší, protože nástroj vykoná dvojnásobek výrobků na jeden vstřikovací cyklus (i když vstřikovací cyklus je delší) s čímž se životnost formy zvyšuje a následné opravy formy jsou předpokládány za delší počet cyklů, i když pozdější náklady na opravy a údržbu formy budou vyšší.

Závěrem se dá říci, že 16 – násobná forma, je výkonnější, cena výrobku je nižší, ale oproti 8 – násobné formě, která má výsledný výrobek rozměrově přesnější, náklady na nástroj nižší a při konstrukci dvou 8 - násobných forem s využitím menších vstřikovacích strojů se výsledná cena sníží pod hodnotu ceny výrobku u 16 – násobné formy.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce v první řadě, bylo vyhotovit teoretickou část na dané téma vstřikování se zaměřením budoucí konstrukce forem.

Základní prací v praktické části bylo vymodelovat 3D model vstřikovaného dílu za pomoci školního programu CATIA V5R18. Tento model poté uložit v několika verzích pro další účely v diplomové práci.

Pro zjištění, zda bude návrh vstřikovací formy správný a řešitelný, bylo použito jedné verze uložení 3D modelu a provedla se analýza v programu Moldflow pro zjištění nejlepšího umístění vtokového ústí (Best gate location). Po fiktivním návrhu vtokového ústí došlo k samotným realizacím vstřikovacích forem s co nejvíce využitím normalizovaných dílů z knihovny HMD 3D Universal module V9.0.

Dle navržených vstřikovacích forem byly vytvořeny trajektorie vtokového a chladicího systému, které byly použity do programu Moldflow pro analýzu Cool – Fill – Pack – Warp (chlazení – plnění – dotlak – deformace). Z výsledku analýz bylo zjištěno, zda navržené vstřikovací formy se všemi náležitostmi budou moci využítelné pro reálné zkonstruování a nedošlo k špatnému navržení.

V předposlední části bylo zhodnocení vstřikovacího stroje, zda jeho parametry jsou zcela využity a pro zkonstruované vstřikovací formy vyhovující, ale bez ekonomického zhodnocení není možné určit

V poslední části diplomové práce bylo využito programu Simcalc, který ze zadaných nákladů na pořízení stroje, nástroje, režijních nákladů a dalších vyhotoví konečnou cenu výrobku vztaženou na plánovanou produkci. Ze získaných dat se dá usoudit která z forem, bude ekonomičtější, hospodárnější a efektivnější při výrobě daného výrobku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [3] TOMIS, F., HELŠTÝN, J., KAŇOVSKÝ, J. *Formy a přípravky*. 1. vyd. VUT Brno 1979. 278 s.
- [4] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení – Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. VUT Brno 1990. 199 s.
- [5] Vávra, Pavel. a Kol. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. 671s.
- [6] Poznámky z předmětu KONSTRUKČNÍ POLYMERY III
- [7] Poznámky z předmětu ZPRACOVATELSKÉ PROCESY GUMÁRENSKÉ pro konstrukční směry
- [8] Normalizovaná knihovna HASCO DACO Modul
- [9] *Arburg* [online]. 2010, [cit. 2010-12-05].
<http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_s/index.jsp>
- [10] *Dassault Systemes* [online]. 2010, [cit. 2010-12-05].
<<http://www.3ds.com/products/catia>>
- [11] *Autodesk* [online]. 2010, [cit. 2010-12-05].
<http://images.autodesk.com/adsk/files/moldflow_insight_detail_brochure_us.pdf>
- [12] BEAUMONT, J. P. *Runner and gating design handbook*. 1st ed. Munich: Hanser Publisher, 2004. 286 s. ISBN 3 – 446 – 22672 – 9.
- [13] LINDNER, E., UNGER, O. *Injection molds*. 3rd. ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. 249 s. ISBN 3 – 446 – 21448 – 8.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
ČSN	Česká státní norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
R	Poloměr zaoblení
VVS	Vyhřívaná vtoková soustava
PA	Polyamid
PA 6	Polyamid 6
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
POM	Polyoximetylén
PMMA	Polymethylmetakrylát
ABS	Akrylonitril butadien styren
PE – LD	Nízkohustotní polyethylen
PE – HD	Vysokohustotní polyethylen
SAN	Styren Acrylonitril

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma vstřikovacího stroje [6]	18
Obr. 2. Schéma vstřikovací jednotky [7]	19
Obr. 3. Schéma vstřikovacího cyklu [1]	22
Obr. 4. Schéma vstřikovací formy [7]	24
Obr. 5. Vhodné řešení délek vtokových kanálů [1]	26
Obr. 6. Průřezy vtokových kanálů [1]	26
Obr. 7. Odstupňovaný průřez vtoků [1]	26
Obr. 8. Plný kuželový vtok [1]	27
Obr. 9. Tunelový vtok [1]	28
Obr. 10. Filmový vtok [1]	28
Obr. 11. Banánový vtok [1]	28
Obr. 12. Vyhřívaná tryska [8]	30
Obr. 13. Vytápěný rozvodový blok [8]	32
Obr. 14. Válcový vyhazovač [8]	34
Obr. 15. Prizmatický vyhazovač [8]	34
Obr. 16. Trubkový vyhazovač [8]	35
Obr. 17. Vliv rozmístění temperačních kanálů [2]	38
Obr. 18. Příklady chlazení čtvercových a kruhových desek [2]	39
Obr. 19. Forma s posuvem čelistí pomocí válcového kolíku [8]	42
Obr. 20. Lomený kolík [8]	42
Obr. 21. Výrobek vymodelován v programu Catia V5R18	49
Obr. 22. Upravený model výrobku	51
Obr. 23. Místo zobrazující nejmenší odpor taveniny	52
Obr. 24. Nejvhodnější umístění vtoku	53
Obr. 25. Volba vtokového ústí	53
Obr. 26. Dělicí rovina	54
Obr. 27. Schéma zaformování výstřiku	55
Obr. 28. Posuvná čelist	55
Obr. 29. Tvárník	56
Obr. 30. Vyhazovací tvárník	56
Obr. 31. Šikmý čep	57

Obr. 32. Vtokový systém	58
Obr. 33. Čas plnění	59
Obr. 34. Tlak při přepnutí na dotlak	60
Obr. 35. Průběh tlaku při vstřikování	61
Obr. 36. Uzavírací síla při vstřikování.....	61
Obr. 37. Vzduchové kapsy.....	62
Obr. 38. Temperační systém	63
Obr. 39. Teplota chladící kapaliny.....	64
Obr. 40. Čas k dosažení teploty vyhození.....	65
Obr. 41. Efektivita odvodu tepla.....	65
Obr. 42. Vyhazovací systém	66
Obr. 43. Posuv celé levé strany formy	67
Obr. 44. Posuv vyhazovacího systému	67
Obr. 45. Konstrukční díly	68
Obr. 46. Pravá nepohyblivá strana formy	69
Obr. 47. Transportní můstek	69
Obr. 48. Levá pohyblivá strana formy	70
Obr. 49. Závitový šroub s okem.....	70
Obr. 50. Kompletní vstřikovací forma.....	71
Obr. 51. Celková deformace	72
Obr. 52. Celková deformace vlivem chlazení.....	73
Obr. 53. Celková deformace vlivem smrštění	73
Obr. 54: Vtokový systém – bokorys	74
Obr. 55. Vtokový systém – další pohledy	75
Obr. 56. Čas plnění	76
Obr. 57. Tlak při přepnutí na dotlak	77
Obr. 58. Průběh tlaku při vstřikování	77
Obr. 59. Uzavírací síla při vstřikování.....	78
Obr. 60. Vzduchové kapsy.....	79
Obr. 61. Temperační systém	80
Obr. 62. Teplota chladícího média.....	81
Obr. 63. Čas k dosažení teploty vyhození.....	82
Obr. 64. Efektivita odvodu tepla.....	82

Obr. 65. Vyhazovací systém	83
Obr. 66. Pravá nepohyblivá strana formy	85
Obr. 67. Transportní můstek pravé strany formy	85
Obr. 68. Levá pohyblivá strana formy	86
Obr. 69. Transportní můstek levé strany formy	86
Obr. 70. Kompletní vstřikovací forma	87
Obr. 71. Celková deformace	88
Obr. 72. Deformace vlivem chlazení	89
Obr. 73. Deformace vlivem smrštění	89
Obr. 74. Vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S [9]	90
Obr. 75. Prostorový graf předpokládaného vývoje nákladu na jeden ks	92

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Požadované teploty formy při zpracování plastů [2]	37
Tab. 2. Kapaliny určené k temperování [2]	38
Tab. 3. Vlastnosti vstříkovaného materiálu PP 108 MF 97	50
Tab. 4. Parametry vstříkovacího stroje, programu Moldflow a jednotlivých forem.....	90

SEZNAM PŘÍLOH

- P I: Parametry vstřikovacího stroje
- P II: Kusovník 8 – násobné formy
- P III: Kusovník 16 - násobné formy
- P IV: Výkres výrobku
- P V: Řez – 8 – I
- P VI: Řez – 8 – II, III
- P VII: Řez – 16 – I
- P VIII: Řez – 16 – II, III
- P IX: CD obsahující:
- Modely forem a výkresovou dokumentaci v programu Catia
 - Kusovníky vstřikovacích forem
 - MPI analýzy jednotlivých forem
 - Textovou část diplomové práce

PŘÍLOHA P I: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Technical data

630 S

Machine model		630 S	630 S	630 S	630 S	630 S
EUROMAP size indication ¹⁾		2500-800	2500-800 ECO	2500-1300	2500-1300 ECO	2500-2100
Clamping unit						
Clamping force	max. kN	2500	2500	2500	2500	2500
Closing force	max. kN	110	110	110	110	110
Opening force / increased	max. kN	70 / 725	70 / 725	70 / 725	70 / 725	70 / 725
Opening stroke	max. mm	600	600	600	600	600
Mould height	min. mm	300-700	400-700	300-700	400-700	300-700
Daylight	max. mm	900-1300	1000-1300	900-1300	1000-1300	900-1300
Distance between tie bars	mm	630 x 630	630 x 630	630 x 630	630 x 630	630 x 630
Platen size (hor. x vert.)	mm	900 x 900	900 x 900	900 x 900	900 x 900	900 x 900
Weight of mov. mould half	max. kg	2500	2500	2500	2500	2500
Ejector force	max. kN	90	90	90	90	90
Ejector stroke	max. mm	225	225	225	225	225
Hydraulics, drive, general						
Drive power of the hydraulic pump	kW	45	30	45	30	55
Dry cycle time for opening stroke ²⁾	s-mm	2,3-441 (1,9-441)	3,3-441	2,3-441 (1,9-441)	3,3-441	2,3-441 (1,9-441)
Total connected load ³⁾	kW	68	53	71	56	89
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow						
Control cabinet						
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit						
		800	800	1300	1300	2100
Screw diameter	mm	45 / 50 / 55	45 / 50 / 55	55 / 60 / 70	55 / 60 / 70	60 / 70 / 80
Effective screw length	L/D	22 / 20 / 18	22 / 20 / 18	22 / 20 / 17	22 / 20 / 17	23 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	200	200	235	235	280
Calculated injection volume	max. cm ³	318 / 392 / 474	318 / 392 / 474	558 / 664 / 904	558 / 664 / 904	792 / 1078 / 1407
Shot weight	max. g PS	291 / 359 / 434	291 / 359 / 434	510 / 607 / 826	510 / 607 / 826	723 / 984 / 1286
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	46 / 53 / 59	46 / 53 / 59	86 / 96 / 115	86 / 96 / 115	125 / 145 / 175
	max. kg/h PA 6.6	23 / 27 / 30	23 / 27 / 30	43 / 48 / 58	43 / 48 / 58	62 / 74 / 88
Injection pressure ⁴⁾	max. bar	2470 / 2000 / 1650	2470 / 2000 / 1650	2380 / 2000 / 1470	2380 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530
Injection flow ⁵⁾	max. cm ³ /s	242 / 300 / 364	174 / 214 / 260	238 / 284 / 388	170 / 202 / 276	224 / 306 / 400
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	530 / 656 / 792	530 / 656 / 792	712 / 848 / 1154	712 / 848 / 1154	1132 / 1540 / 2012
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 190	350 / 190	350 / 190	350 / 190	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	54 / 60 / 66	54 / 60 / 66	40 / 43 / 51	28 / 31 / 36	43 / 51 / 58
Screw torque	max. Nm	880 / 880 / 880	880 / 880 / 880	1510 / 1640 / 1920	1510 / 1640 / 1920	2140 / 2500 / 2550
Nozzle contact force	max. kN	70	70	90	90	110
Nozzle retraction stroke	max. mm	400	400	550	550	600
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	19,3 / 7	19,3 / 7	21,9 / 7	21,9 / 7	30,3 / 7
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6	1,0	1,0	1,1
Horizontal injection position	max. mm	---	---	---	---	---
Machine dimensions and weights of the basic machine						
Oil capacity	l	320	260	390	320	490
Net weight	kg	12200	12200	12500	12500	13200
Electrical connection (pre-fused) ⁶⁾	motor + heating	A	160	125	160	125
	motor	A	100	80	100	80
	heating	A	35	35	35	50

1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases. The specified value applies to the basic machine

One or two separate supply lines can be connected as an option (motor + controller/heating). Through options the connection value can be higher

3) Certain combinations of additional machine equipment can make two separate supply lines absolutely necessary

4) A combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output

5) According to EUROMAP for the basic machine (values in brackets apply to hydraulic accumulator technology)

6) 630 S ECO: increased injection flow possible with reduced injection pressure through differential circuit (not in connection with position-regulated screw)

7) Deviations are possible depending upon process settings and material type

The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.