

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového ventilu

Šimon Zaccpal

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Šimon Zaccpal**
Osobní číslo: **T17225**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového ventilu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Nakreslete 3D model zadaného dílu.
3. Proveďte konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy pro výrobu plastového ventilu.
4. Nakreslete 2D výres sestavy vstřikovací formy včetně příslušných řezů.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstříkování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6

BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vytvořit návrh vstříkovací formy pro zadaný plastový díl, konkrétně plastový ventil. Práce se sestává ze dvou částí, a to teoretické a praktické části. Teoretická část podává základní informace o polymerech, jejich vlastnostech a rozdělení, dále se práce zabývá technologií vstříkování a zásadami konstrukce vstříkovací formy. V praktické části byl vytvořen 3D model plastového dílu a následně byla zkonstruována vstříkovací forma na tento výrobek. Jak výrobek, tak forma a její výkresová dokumentace byly vytvořeny v programu CATIA V5R19. Bylo používáno normálií firmy HASCO.

Klíčová slova: polymery, vstříkování, vstříkovací forma, konstrukce formy

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to create design of an injection mold for assigned plastic part, namely, a plastic valve. The thesis consists of two parts, namely, theoretical and practical part. Theoretical part provides basic information concerning polymers, their properties and division. The thesis deals also with injection molding technology and with designing of an injection mold. The practical part includes creating a 3D model of the plastic part and its injection mold. Both the part and the mold were created in CATIA V5R19 program. Standard parts from HASCO company were used in designing of the mold.

Keywords: polymers, injection molding, injection mold, design of the mold

Rád bych poděkoval hlavně vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za rady, čas a trpělivost, kterou mi věnoval.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.1 PLASTY	11
1.1.1 Termoplasty.....	11
1.1.2 Reaktoplasty.....	13
1.2 ELASTOMERY	13
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	14
2.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	14
2.1.1 Vstřikovací jednotka	15
2.1.2 Uzavírací jednotka	16
2.1.3 Řídicí jednotka	17
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	17
2.2.1 Plastikační fáze.....	17
2.2.2 Vstřikovací fáze	18
2.2.3 Dotlaková fáze	18
2.2.4 Fáze ochlazovací a vyhození výrobku	18
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	20
3.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	20
3.2 NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	22
3.3 SMRŠTĚNÍ VÝSTŘIKU	23
3.4 STUDENÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY	23
3.4.1 Zásady návrhu studených vtokových systémů.....	24
3.5 VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SOUSTAVY.....	28
3.5.1 Vyhřívané trysky	29
3.5.2 Vyhřívané bloky.....	29
3.6 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	30
3.6.1 Zásady při navrhování temperačního systému	30
3.6.2 Temperační prostředky.....	31
3.7 VYHAZOVCÍ SYSTÉM.....	32
3.7.1 Mechanické vyhazování.....	33
3.7.2 Pneumatické vyhazování.....	34
3.7.3 Hydraulické vyhazování.....	35
3.8 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	35
3.8.1 Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění	35
3.8.2 Provedení odvzdušnění	35
3.9 MATERIÁLY PRO VÝROBU VSTŘIKOVACÍCH FOREM	36

3.9.1	Oceli	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	39
4	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	40
5	VÝROBEK.....	41
5.1	MATERIÁL VÝROBKU	41
6	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	43
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	44
7.1	NÁSOBNOST FORMY	44
7.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	45
7.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	46
7.4	VTKOVÝ SYSTÉM	47
7.5	ODFORMOVÁNÍ BOČNÍCH DĚR	49
7.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	50
7.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	51
7.8	ODVZDUŠNĚNÍ.....	54
7.9	TRANSPORTNÍ A BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉM	54
7.10	PRAVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY	55
7.11	LEVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY	56
ZÁVĚR		57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		62
SEZNAM OBRÁZKŮ		64
SEZNAM TABULEK.....		66
SEZNAM PŘÍLOH.....		67

ÚVOD

Plasty jsou v moderní společnosti všudypřítomné a těžko se hledá oblast průmyslu, ve které by se výrobky z plastu nepoužívaly. Jejich hlavní výhody v porovnání s jinými běžně užívanými materiály, jako je ocel či dřevo, jsou zřejmé. Mají dobré fyzikální a chemické vlastnosti jakožto např.: nízkou hustotu, chemickou odolnost či tepelnou a elektrickou nevodivost. Mezi výhody patří také snadná výroba plastů. Jak již bylo zmíněno, výrobky z plastu se využívají napříč mnoha odvětvími průmyslu, přičemž nejčastěji jsou využívány v obalovém průmyslu. Dále jsou plastové výrobky používané ve stavebnictví, v elektrotechnice, jsou také součástí mnoha dopravních prostředků, zejména automobilů. [1]

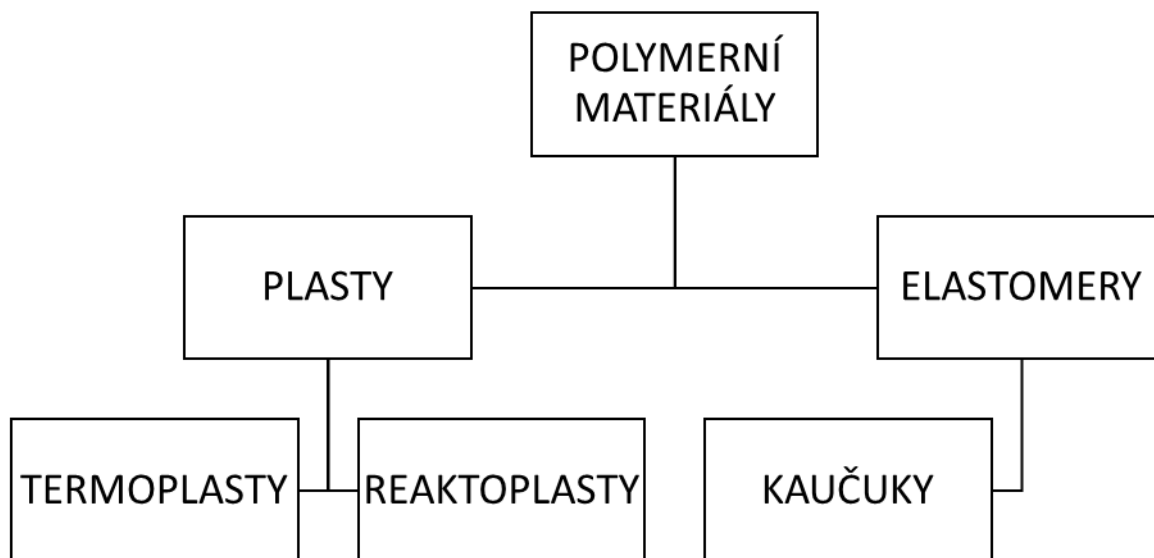
Technologie vstřikování termoplastů včetně strojů a zařízení pro její realizaci, urazila od svých počátků dlouhou a úspěšnou cestu a je i nadále velmi perspektivní. Mezi moderní modifikace vstřikovacího procesu patří: vícekomponentní vstřikování, vstřikování strukturně lehčených plastů, vstřikování s využitím tlaku vody či plynu nebo vstřikování s regulací plnění dutiny. Všechny tyto modifikace ale vychází z klasického vstřikování, které spočívá v dopravení homogenní taveniny do dutiny, jež dá výrobku požadovaný tvar. [2]

Vstřikovací forma představuje komplexní soustavu sestávající se mnoha různých prvků a dílů. Na formu je kladeno mnoho požadavků vycházejících z procesu vstřikování. Hlavní funkcí formy je transport taveniny do dutiny formy. Dále musí forma sloužit jako tepelný výměník a účinně odvádět teplo, které tavenina přivádí. Forma také musí umožňovat rychlé a spolehlivé vyjmutí (resp. vyhození) dílu. Konstrukce vstřikovací formy je náročná jak na odborné znalosti, tak na finanční náklady. [3]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Polymery jsou tvořeny makromolekulami vzniklými opakovaným spojováním základní jednotky – meru, která je odvozená od výchozí molekuly – monomeru. Při spojování stejných druhů základních jednotek se jedná o homopolymery, při spojení dvou a více druhů merů vznikají kopolymery. Podle struktury se rozlišují polymery na nezesíťované lineární, nezesíťované rozvětvené a síťované. Chemické a fyzikálně chemické vlastnosti daného polymeru jsou dány jeho chemickým složením tzn. druhem atomů a způsobem, jakým jsou pomocí chemických vazeb spojeny a také délkou řetězce. Obecně se polymery dělí na plasty a elastomery. [4]



Obr. 1. Rozdělení polymerních materiálů

1.1 Plasty

Plasty jsou makromolekulární produkty, které lze tvářet a tvarovat, případně dalšími technologiemi zpracovávat na požadované výrobky nebo polotovary. [4] Mezi jejich hlavní výhody patří nízká měrná hmotnost, dobré zpracovatelské vlastnosti, elektrická a tepelná nevodivost, odolnost proti korozi a chemikáliím nebo fakt, že mohou být průhledné či barevné. Podle teplotního chování se dělí na termoplasty a reaktoplasty. [5]

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou lineární nebo rozvětvené polymery. Tvoří okolo 94 % objemu všech v průmyslu používaných plastů. Mohou být opakovaně zahřívány, roztaveny a tvářeny. Při

zahřívání u termoplastů nedochází k chemické reakci a změny, které v materiálu nastávají, mají pouze fyzikální charakter. Jednotlivé atomy drží dohromady v řetězcích díky velmi silným primárním vazbám – kovalentním vazbám, naopak tzv. van der Waalsovy síly, které drží pohromadě jednotlivé polymerní řetězce, jsou mnohem slabší. Podle vnitřní struktury se rozdělují termoplasty na amorfni a semikrystalické. [7]

Amorfni termoplasty

Pokud makromolekuly nemají schopnost samovolného uspořádání, při přechodu z kapalného stavu do tuhého, nazývají se amorfni. Jejich struktura je neuspořádaná a makromolekula má tvar klubka. Jejich vlastnosti se mění se změnou teploty při tzv. přechodových teplotách, které charakterizují u amorfni polymerů tři stavy. [4]

Při teplotách pod tzv. teplotou skelného přechodu T_g jsou termoplasty ve stavu sklovitém a jsou tvrdé a křehké. Zvyšováním teploty dochází k uvolnění segmentů a ke změně sklovitého stavu na viskoelastický. Při tomto přechodu materiál měkne a klesá jeho modul pružnosti. Tento stav bývá označován také jako kaučukovitý. Při dalším zvýšení teploty jsou již deformace velké, nevratné a nad teplotou tečení T_f se polymer mění ve vysoce viskózní taveninu. [4]

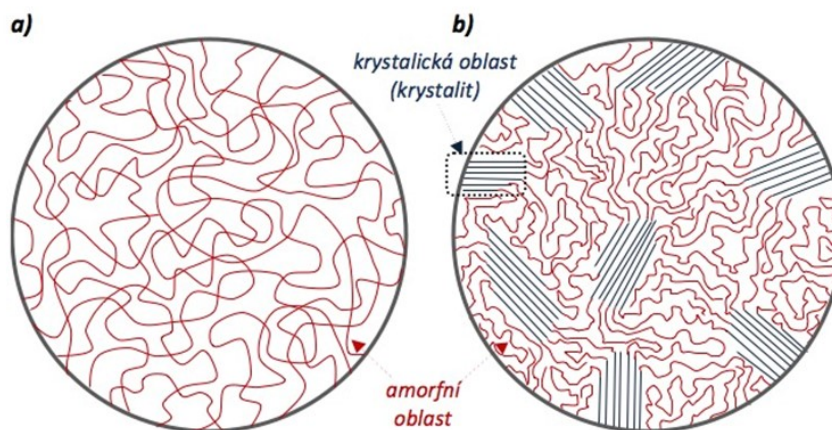
Výrobky z amorfni polymerů jsou používány pod teplotou skelného přechodu a zpracováváme je při teplotě tečení. Pro výrobky je charakteristické, že jsou tvrdé, křehké a průsvitné nebo průhledné. Mezi amorfni plasty patří např.: PS, SAN, SBS, ABS, PMMA, PC nebo PES. [5]

Semikrystalické termoplasty

Jako semikrystalické termoplasty jsou označovány ty plasty, které při ochlazování z taveniny získávají částečně uspořádanou, krystalickou strukturu. Mezi krystalickou fází je amorfni fáze, která dává polymeru ohebnost a houževnatost, zatímco krystalická fáze mu dává tuhost a pevnost. Makromolekuly se seskupují do lamel a tvoří sférolity. [1] Stupeň krystalinity, který vyjadřuje podíl uspořádaných oblastí, je od 40 do 90 %. [5]

I u semikrystalických termoplastů má teplota výrazný vliv na vlastnosti. K nejrychlejší změně vlastností dochází v oblasti teplot, kterou charakterizuje teplota tání T_m . Nastává rozpad a tání krystalinitů, termoplast se mění ze stavu tuhého do taveniny. Jelikož semikrystalické polymery obsahují i část amorfni, lze u nich také stanovit teplotu skelného přechodu, při níž se zásadně mění vlastnosti amorfni složky hmoty. Platí tak, že čím vyšší má polymer stupeň krystalinity, tím jsou změny při T_g méně patrné. [5]

Semikrystalické termoplasty jsou používány pod teplotou tání. Jsou zakalené, houževnaté a jejich pevnost a modul pružnosti se zvyšuje se stupněm krystalinity. Zástupci jsou: PE, PP, PA, PTFE nebo POM. [5]



Obr. 2 Nadmolekulární struktura termoplastů: a) amorfni polymer
b) semikrystalický polymer [9]

1.1.2 Reaktoplasty

Jsou to polymery, které v důsledku chemické reakce přejdou z lineárního do síťovaného stavu. Tento proces označujeme jako vytvrzování, které proběhne buďto zahřátím polymeru nebo tím, že je do něj přidán vytvrzovací prostředek, čímž se polymer stane nerozpustným a znova netavitelným. Při dalším ohřevu by již došlo k jeho degradaci. [8] Hlavními skupinami reaktoplastů jsou fenoplasty, aminoplasty, epoxidové či polyesterové pryskyřice a polyuretany. Všechny zmíněné skupiny kromě polyuretanu mají hlavní využití jako pryskyřice, například při výrobě laminátů, kde slouží jako pojivo. Další využitím je jako zalévací hmoty, tmely, lepidla či nátěrové hmoty. Typické využití polyuretanu je k výrobě pěnových materiálů, které mají využití v matracích, jako výplň sedadel či opěrek. [9]

1.2 Elastomery

Elastomery jsou polymery, které je možno za běžných podmínek malou silou značně deformovat, přičemž deformace je převážně vratná. Po zafixování tvaru, zesíťování, se chovají jako pružná tělesa. [2] Vznikají takzvanou vulkanizací, což je chemická reakce, kdy je kaučuk převeden řídkým prostorovým zesíťováním na pryž. Nejběžněji se při vulkanizaci používá síra při teplotách 140 až 160 °C. Spojení mezi makromolekulami jsou tedy chemické povahy a pryž nelze opakovaně tepelně tvarovat. [9]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Jde o nejpoužívanější technologii na zpracování termoplastů, ale v omezené míře se vstříkují i reaktoplasty a elastomery. Je to způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu vstříknuta z plastikační jednotky do kovové formy, kde chladne ve tvaru vyráběné součásti. Jde tedy o proces cyklický, ve kterém hraje roli hlavně polymer, vstřikovací stroj a vstřikovací forma. Vstřikováním se vyrábí výrobky, které mají charakter konečného výrobku nebo polotovaru nebo dílu pro součást pro sestavení samostatného výrobního celku. Výhodou vstřikování je schopnost vyrábět výrobky složitých tvarů, o vysoké rozměrové i tvarové přesnosti, s vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností v krátkých výrobních cyklech. Tyto vlastnosti dělají ze vstřikování technologii vhodnou pro výrobu velkých sérií. Naopak nevýhodou této technologie jsou velké investiční náklady, dlouhé doby pro výrobu forem a nutný prostor, který vstřikovací stroj zabírá. [10] [7]

2.1 Vstřikovací stroj

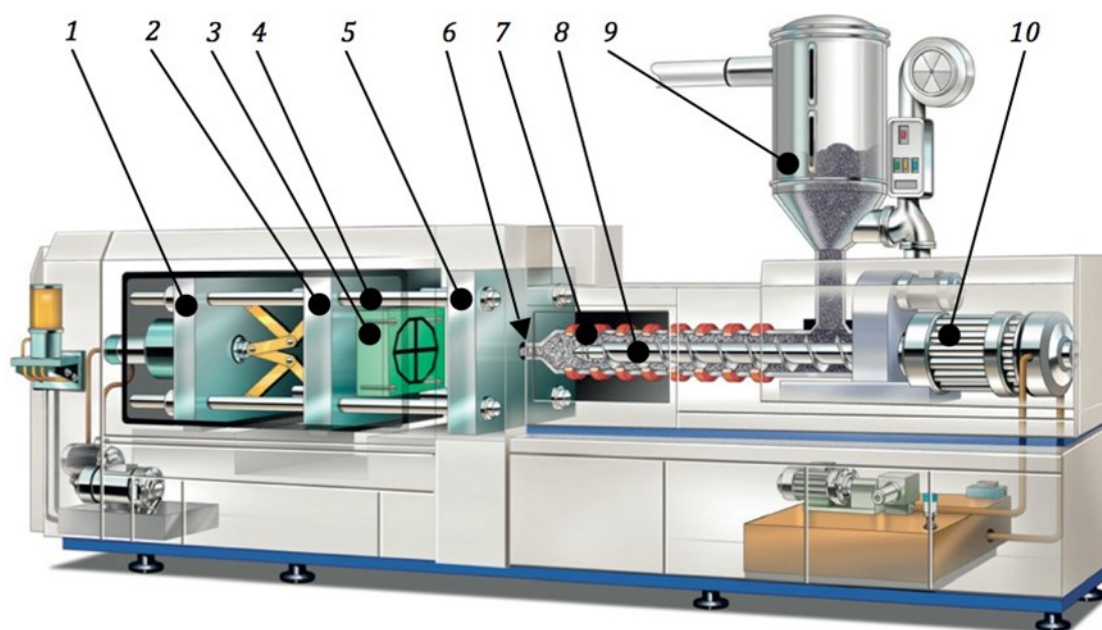
Vstřikovací stroj, na němž probíhá vstřikovací proces, je modulární koncepce, přičemž jednotlivé moduly tvoří:

- uzavírací jednotka,
- vstřikovací (plastikační) jednotka,
- řídicí systém. [2]

Vstřikovací stroj může být poháněn hydraulickým motorem, elektrickým motorem nebo jejich kombinací – hybridní stroje.

Od vstřikovacího stroje je vyžadováno aby:

- byl tuhý a pevný při vstřiku,
- měl konstantní tlak, rychlost, teplotu, ostatní parametry a jejich časování,
- měl přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů. [11]



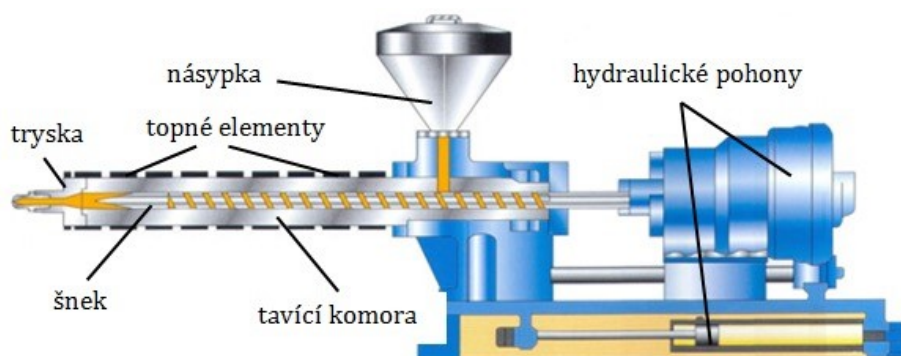
Obr. 3 Vstřikovací stroj: 1) uzavírací jednotka, 2) pohyblivá upínací deska, 3) pohyblivá část vstřikovací formy, 4) vodící sloupky, 5) pevná upínací deska, 6) čelo špičky vstřikovací trysky, 7) tavící komora, 8) šnek, 9) násypka, 10) pohonná jednotka šneku [12]

2.1.1 Vstřikovací jednotka

Základní úlohou vstřikovací jednotky je převedení tuhého polymeru do stavu homogenní taveniny a její následný přesun do tvarové dutiny vstřikovací formy. Toto dopravované množství musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky, jelikož je nutná rezerva pro doplnění úbytku hmoty během chlazení. Optimální množství je 80 %. [11]

V minulosti se používaly vstřikovací jednotky pístové, ale ty byly později zcela nahrazeny jednotkami šnekovými, které vyřešily hlavní problémy pístových vstřikovacích jednotek. Průběh činnosti jednotky je následující: šnek se otáčí a v hrdle násypky nabírá nejčastěji granulovaný plast, ten stlačí a dopraví do vytápěných částí tavící komory. Materiál se taví nejen teplem z topných pásů, ale především teplem vznikajícím třením materiálu mezi tavící komorou a šnekem. Polymer se plastikuje, stává se homogenním a hromadí před šnekem, který se odsouvá dozadu. Poté, co se zplastikuje dostatečné množství, se šnek přestane otáčet a začne se pohybovat dopředu jako píst, čímž dojde ke vstříknutí taveniny do dutiny formy. [5]

Vstřikovací jednotku tvoří několik částí. Na vstupu je umístěna násypka, do níž vstupuje zpracovávaný polymer. Na násypku navazuje plastikační komora, uvnitř které je uložen šnek a okolo komory jsou topné pásy poskytující teplo k tavení materiálu. Tavicí komoru uzavírá tryska, která dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy. Obecně při výběru vstřikovacího stroje je jedním z nejdůležitějších parametrů tzv. vstřikovací kapacita. Ta značí maximální objem taveniny, který na daném stroji je možno vstříknout během jednoho pracovního zdvihu šneku. [5]

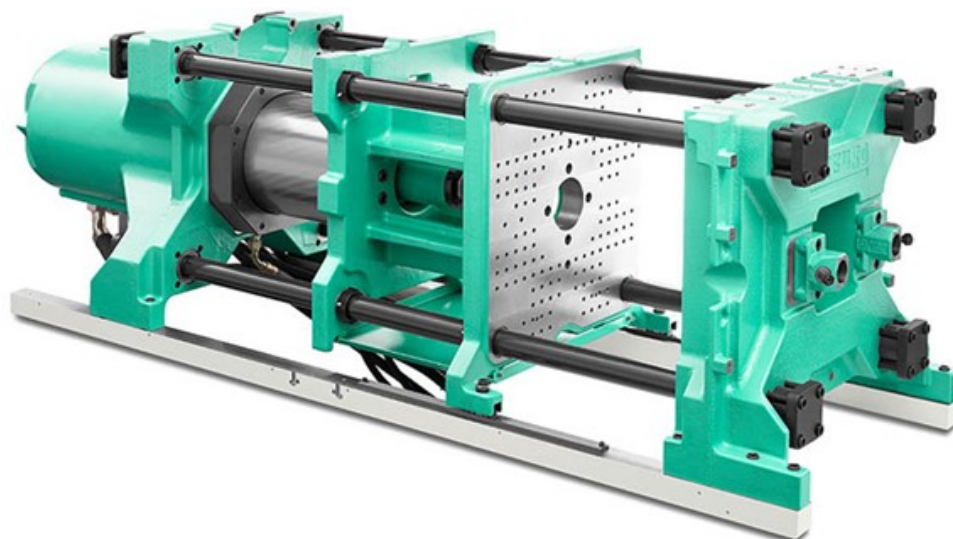


Obr. 4 Schéma vstřikovací jednotky [12]

2.1.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k upnutí, uzavírání a otevírání vstřikovací formy. Pro zajištění výroby bez přetoků v dělicí rovině, respektive aby bylo zabráněno pootevření formy během vstřikování, musí uzavírací jednotka vyvinout dostatečnou uzavírací sílu. [5] Ta je závislá na vstřikovacím tlaku a ploše dutin a vtoků promítnutých do dělicí roviny. [11]

Uzavírací jednotku tvoří: vodící sloupky, pevná a pohyblivá upínací deska stroje se systémem pro upínání a mechanismus vyvozující sílu pro ovládání formy a pro její bezpečné uzavření během vstřikování. [12] Uzavírací mechanismus uzavírací jednotky může mít různé provedení a to hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického způsobu nebo elektrický. Poloha uzavírací jednotky se může lišit, nejčastěji je uzavírací jednotka stejně jako vstřikovací jednotka v horizontální poloze a dochází ke vstřikování do dělicí roviny. [5]



Obr. 5 Uzavírací jednotka [13]

2.1.3 Řídicí jednotka

Poslední částí vstřikovacího stroje je jednotka řídicí, jejímž hlavním členem je regulátor. Ten zpracovává hodnoty sledovaných parametrů, které porovná se zadanými hodnotami a pokud se liší, tak se regulátor snaží pomocí regulačních prvků hodnoty dorovnat na požadovanou úroveň. Pomocí komunikačního rozhraní, které je součástí řídicí jednotky, jde nastavovat technologické parametry a průběh hodnot sledovat. [12]

2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikování je cyklický výrobní proces. Proto je potřebná stabilita procesu, to znamená, že je nutné zaručit, aby každý cyklus měl identický průběh jako cyklus předchozí. [2]

2.2.1 Plastikační fáze

Ve fázi plastikační dochází k tomu, že se šnek otáčí a zároveň posouvá dozadu, nabírá granule polymeru pod násypkou, které homogenizuje a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Teplo potřebné k plastikaci, je jednak dodáváno z topných pásů, ale hlavně třením materiálu o stěny komory. Množství polymeru, které se musí připravit, musí být dostatečné k zaplnění tvarové dutiny, vtokový systém a také musí zajistit objem taveniny pro kompenzování změny objemu vlivem smrštění (fáze dotlaku). [5] Forma se mezitím musí připravit, což spočívá v temperaci či ve vložení závitových jader. Následně se forma přisune

přisouvací silou a uzavře uzavírací silou, která musí zaručit, že během vstřikování se forma neotevře. [11]

2.2.2 Vstřikovací fáze

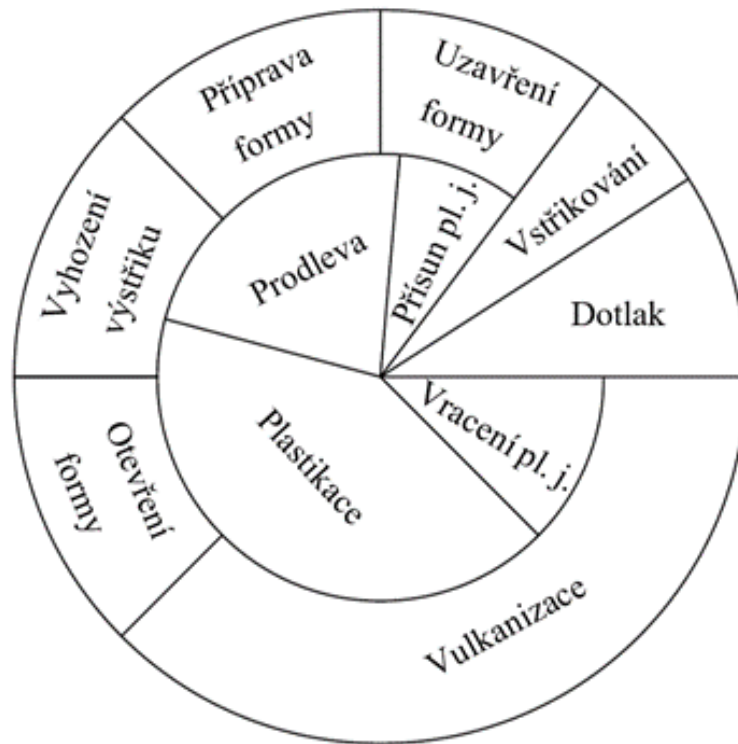
Následuje fáze vstřikovací, jejímž cílem je naplnění tvarové dutiny formy homogenní taveninou, tak aby rychlost čela proudu taveniny byla v každém místě tokové dráhy konstantní. [2] Nejprve se přisune plastikační jednotka, kde dochází k axiálnímu pohybu šneku, který plní funkci pístu a už se neotáčí, čímž nastane vlastní vstřikování do dutiny formy. Plnění tvarových dutin formy by mělo být co nejkratší, jelikož tavenina po styku s chladnou stěnou formy zvyšuje svou viskozitu. Vstřikování musí probíhat tak, aby nedocházelo k tzv. jettingu neboli aby tavenina nevtékala do tvarové dutiny volným paprskem, naopak je snahou, aby tavenina vtékala postupně laminárním tokem. [10]

2.2.3 Dotlaková fáze

Další fází je působení dotlaku. Ten slouží ke korekci smrštění, k odstranění propadlin či lunek a k dokonalejšímu vykopírování povrchu tvarové dutiny formy. [2] Dotlak končí v momentu, kdy zatuhne tavenina ve vtokovém systému, avšak je výhodné jej ukončit dříve, abychom se vyhnuli „přetlačení“ taveniny v blízkosti vtoku, a tak vzniku velkého pnutí. [5]

2.2.4 Fáze ochlazovací a vyhození výrobku

Následuje ochlazování výstřiku, které začíná již v okamžiku začátku plnění tvarové dutiny taveninou a trvá až do vyhození výstřiku z formy, tedy přes dotlakovou fázi a fázi chlazení bez tlaku po zatuhnutí vtokového ústí. Cílem ochlazování je ochladit výstřik na vyhazovací teplotu, což je teplota, při které nedojde k poškození dílu během vyhazování. Výstřik následně zchladne na teplotu okolí již mimo formu. Během této fáze plastikační jednotka odjíždí a začíná plastikovat další dávku. Na závěr se vstřikovací forma otevře dostatečně tak, aby bylo možno bez problémů výrobek z formy vyhodit a celý cyklus se opakuje. [10] Schéma cyklu zobrazuje obr.6, ve kterém vnitřní kruh grafu představuje činnost plastikační jednotky a vnější kruh činnost formy.



Obr. 6 Schéma vstřikovacího cyklu [14]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je specializovaný nástroj používaný k výrobě plastových dílů. Téměř každá vstřikovací forma je navrhnutá na zakázku a vyrobená pro výrobu jednoho konkrétního dílu. Navzdory tomu mnohé komponenty formy se dají zakoupit a následně jsou obrobena a upraveny potřebám formy. V těchto standardizovaných dílech formy se vytvoří tvářecí dutiny, vyhazovací, vtokové a temperační systémy. [6]

Vstřikovací forma musí snést tyto základní požadavky:

- musí obsahovat dutinu a jádro, které udávají tvar vyráběnému dílu,
- musí umožnit dopravu taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny,
- musí fungovat jako tepelný výměník, který umožní zchlazení výrobku rychle a rovnoměrně,
- musí umožňovat vyhození výrobku z formy,
- musí být dimenzována tak, aby odolala tlakům až 200 MPa vstřikované taveniny. [6]

Existuje mnoho druhů vstřikovacích forem a lze je rozdělit dle různých hledisek do vícero skupin:

- podle počtu tvarových dutin: jednonásobné nebo vícenásobné,
- podle směru vstřikování: se vstřikováním do osy formy nebo se vstřikováním do dělicí roviny,
- podle uspořádání: dvoudeskové, třideskové, dvoudeskové s horkým rozvodným blokem,
- podle konstrukce: jednoduché, čelist'ové, s posuvnými jádry, závitové,
- podle vstřikovaného materiálu: formy na termoplasty, formy na reaktoplasty. [4]

3.1 Konstrukce vstřikovací formy

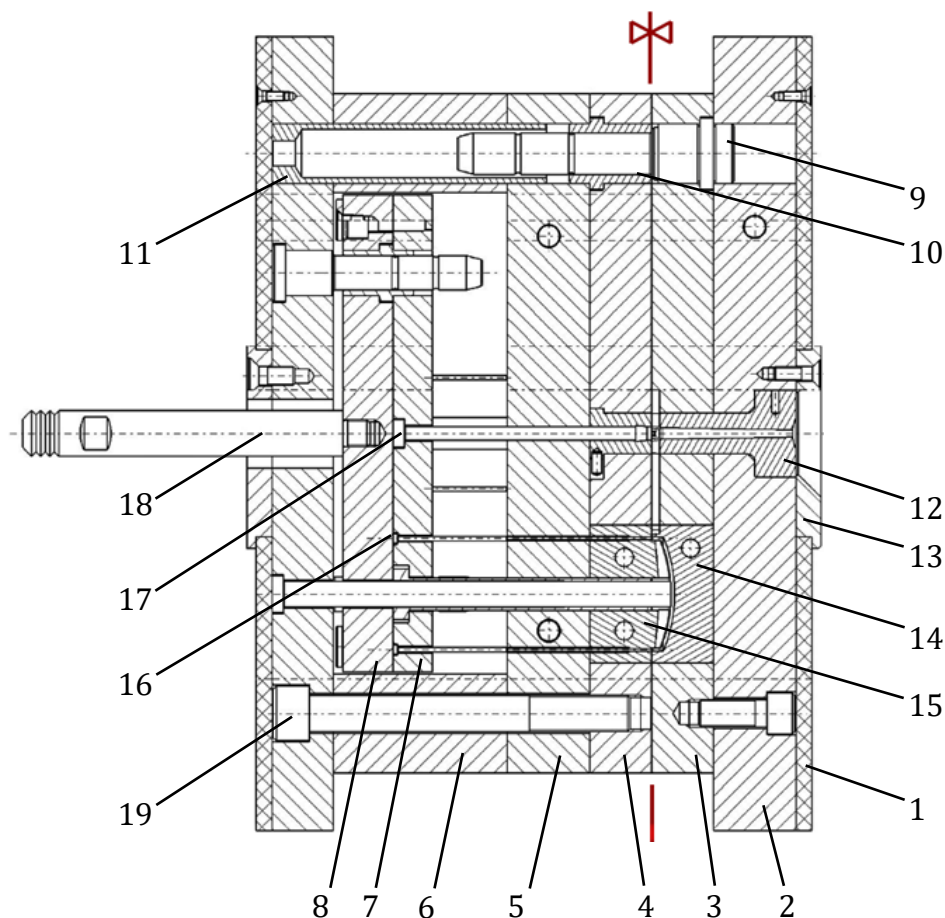
Samotné konstrukci předchází vypracování konstrukčního návrhu formy. Ten obsahuje posouzení tvaru z hlediska jeho tvaru a rozměrů. Také se musí navrhnout zaformování výrobku a určit dělicí rovinu. Takovýto návrh je podkladem konstruktérovi a použije se také k vypracování ceny zakázky. [11]

Konstrukce formy zahrnuje následující kroky:

- konstruktér posoudí výkres, zkontroluje tvar a rozměry výrobku, jeho tolerance. Kontrolují se rozdíly v tloušťkách stěn a musí se zaoblit případné ostré hrany,
- dojde ke zkontrolování a případnému upřesnění umístění dělicí roviny a zaformování s ohledem na umístění vtoků a snadné vyhození výrobku,
- konstruktér dále dimenzuje tvarové dutiny, určí jejich umístění stejně tak jako umístění vtokové soustavy,
- dojde k navržení systému temperace, vyhazování a odvzdušnění,
- je navržen rám formy, jenž je ovlivněn rozmístěním dutin, rozmístěním temperačního a vyhazovacího systému,
- dojde ke kontrole parametrů formy, jako je hmotnost výstřiku, jeho průmětná plocha a vstřikovací tlak. [11]

Vstřikovací formu tvoří mnoho součástí, mezi základní patří tyto:

- desky upínací, kotevní, opěrné, rozpěrné a desky vyhazovací
- vyhazovače
- přidržovač vtoků,
- vodící čepy a vodící pouzdra,
- vtoková vložka,
- tvárník a tvárnice,
- středící kroužek,
- šrouby [15]



Obr. 7 Řez vstříkovací formou; 1 - izolační deska, 2 - upínací deska, 3 - kotevní deska pravá, 4 - kotevní deska levá, 5 - opěrná deska, 6 - rozpěrná deska, 7 - vyhazovací deska kotevní, 8 - vyhazovací deska opěrná, 9 - vodící čep, 10 - vodící pouzdro, 11 - středící trubka, 12 - vtoková vložka, 13 - středící kroužek, 14 - tvárnice, 15 - tvárník, 16 - vyhazovač, 17 - přídržovač vtoku, 18 - táhlo vyhazovacích desek, 19 - šroub [29]

3.2 Násobnost vstříkovací formy

Násobnost vstříkovací formy udává, kolik výstříků bude v hlavní dělicí rovině zaformováno. Z pohledu efektivity je nejvhodnější volit co nejvyšší násobnost. Naopak při vstříkování rozměrově a tvarově přesných dílů (přesnost stupně IT 9 či IT 8) je třeba navrhnout formu s co nejmenší násobností. Musí být také brán zřetel na tlak taveniny, jenž na formu působí. Je třeba umístit tvary (průměty tvarů výstříků do dělicí roviny) v dělicí rovině souměrně okolo obou os symetrie formy. [2]

Obecně je tedy při volbě násobnosti nutné dbát na:

- charakter výrobku a jaká přesnost je u něj vyžadována,

- požadované množství výrobků,
- kapacitu vstřikovacího stroje a jeho velikost,
- termín dodávky,
- ekonomiku výroby. [11]

3.3 Smrštění výstřiku

Smrštění je možné definovat jako objemovou změnu, která nastává během tuhnutí polymerních tavenin. Důvodem této změny objemu je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a tepelná kontrakce plastů. U semikrystalických termoplastů je smrštění ovlivněno také krystalizačními změnami. [2]

Problematika smrštění je jedním z nejvíc výrazných problémů spojený s navrhováním a výrobou plastových dílů technologií vstřikování. Kromě objemové změny se při konstrukci výrobku a formy musí počítat s tím, že se molekuly při tečení do formy orientují v určitém směru. [7]

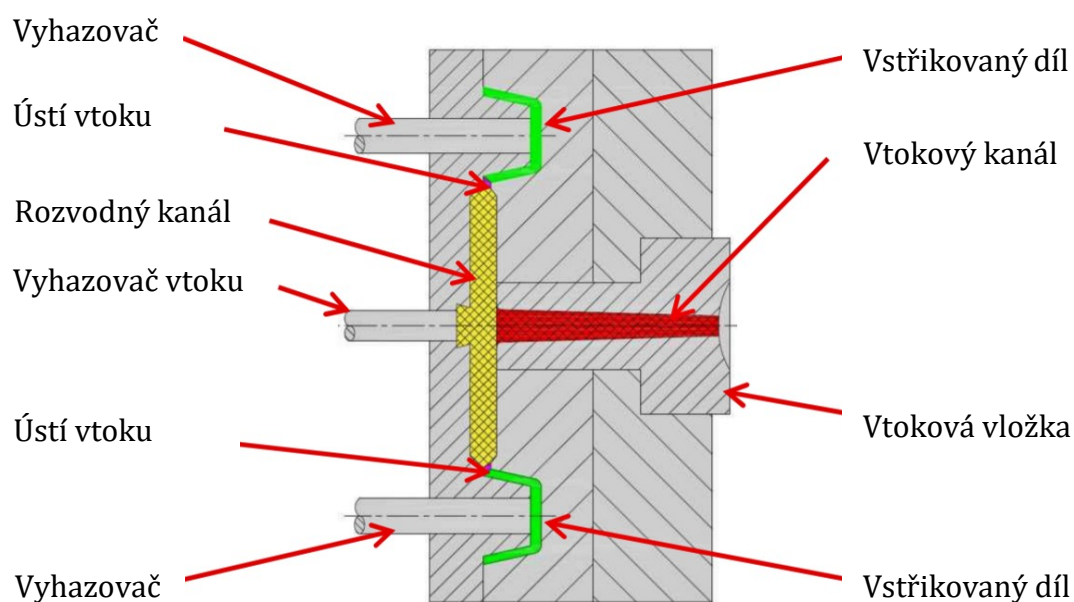
Smrštění je možné rozdělit dle času, kdy k němu dochází do dvou kategorií, a to smrštění provozní a dodatečné smrštění. Hodnota výrobního smrštění je definována jako rozdíl mezi rozměrem formy a rozměrem výstřiku měřeným 16 až 24 hodin po vyhození z formy. Dodatečné smrštění je měřeno po dlouhodobějším skladování. [2]

3.4 Studené vtokové systémy

Vtokové systémy slouží k přivedení taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Obecně rozdělujeme vtokové systémy na studené a vyhřívané. [18]

U termoplastů forma se studeným vtokovým systémem označuje formu, ve které se vtoky ochlazují, tuhnou a jsou vyhozeny spolu se vstřikovaným výrobkem při každém vstřikovacím cyklu. Většina vstřikovacích forem v dnešní době má studený vtokový systém. Ten se obvykle sestává ze vtokového kanálu, rozvodného kanálu a alespoň jednoho vtokového ústí. U jednonásobných forem může stačit pouze vtokový kanál. Formy se studeným vtokovým systémem jsou zdaleka nejjednodušší a také nejrozšířenější typ vstřikovacích forem. Oproti vyhřívaným vtokům jsou studené vtoky jednodušší, levnější na výrobu a snadnější na obsluhu a údržbu. Nevyžadují regulátory či snímače teploty.

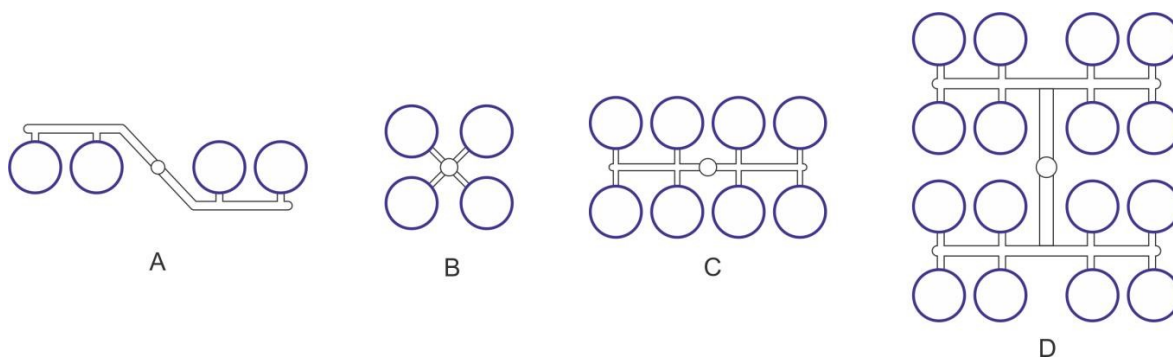
Nevýhodou těchto vtoků jsou vtokové zbytky, které zvyšují spotřebu materiálu a je potřeba je odstraňovat od výstřiku. [17]



Obr. 8 Schéma studeného vtokového systému [19]

3.4.1 Zásady návrhu studených vtokových systémů

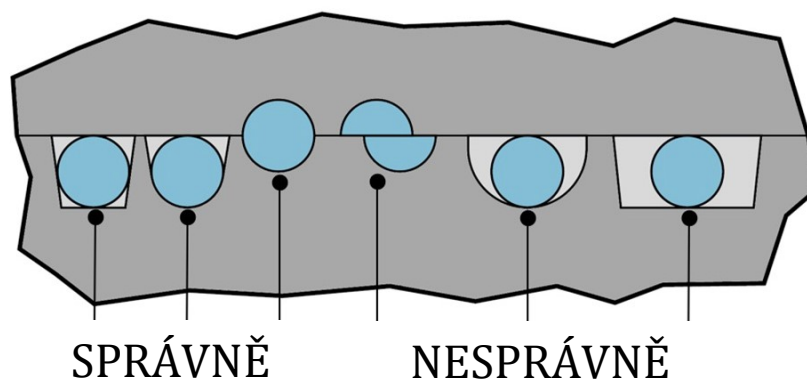
Při návrhu studeného vtokového systému je nutno držet se určitých pravidel, neboť tvary a rozměry vtoků a ústí mají vliv na rozměry a vlastnosti vstříkovaného dílu včetně jeho vzhledu. Vtokový systém ovlivňuje vtokový zbytek, který souvisí se spotřebou materiálu a potřebou začištění výrobku. Výchozím bodem pro zásady návrhu vtokového systému je fakt, že při vstříkování dochází ke kontaktu taveniny s poměrně studenou formou, čímž rychle narůstá její viskozita, s tím že nejvyšší je na vnějším povrchu proudu taveniny. Při navrhování studeného vtokového systému musí být délka toku taveniny co nejkratší s co nejmenšími ztrátami tlaku. Je nutné dimenzovat průřez kanálu tak, aby umožnil po vyplnění tvářecí dutiny následné působení dotlaku. U vícenásobných forem je nutností navrhnout systém tak, aby tavenina dosáhla ke všem tvářecím dutinám ve stejný moment a plnění tak bylo rovnoměrné. Aby byly splněny zmíněná kritéria, je nutné zaoblit hrany vtokových kanálů rádiusem alespoň R 1 mm, dále je nutné, aby drsnost povrchu vtoků ve směru vyjmutí vtokového zbytku nebyla větší než Ra 0,2 a vtoky by měly být zkosené nejméně úkosem 1,5° pro lehčí vyhazování. [18]



Obr. 9 Možnosti uspořádání vtoků [21]

Vstupní částí vtokového systému je vtokový kanál vrtaný ve vtokové vložce, která se vyrábí z houževnaté a otěru odolné oceli, která je tepelně zpracovaná. Vtokový kanál u jednonásobných forem ústí do dutiny výstřiku nebo v případě vícenásobných forem navazuje na vtokový kanál rozváděcí kanály. [18]

U vícenásobných forem následují za vtokovým kanálem rozváděcí kanály zakončené vtokovým ústím. Průřez těchto kanálů je nejčastěji kruhový nebo lichoběžníkový. Velikost průřezu se odvozuje hlavně od tloušťky stěn výstřiku a očekávanou dobu dotlaku, svoji roli hrají i reologické vlastnosti taveniny. [18]



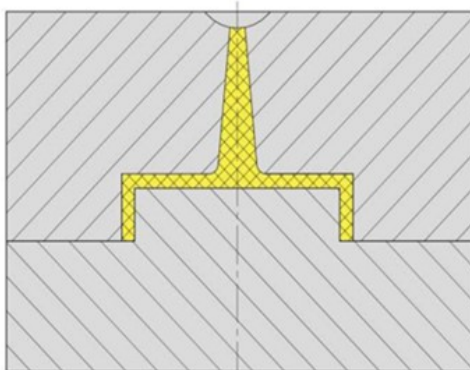
Obr. 10 Průřezy rozvodných kanálů [3]

Vtokové ústí spojuje tvářecí dutinu a vtokový systém, resp. rozváděcí kanál. Jeho hlavním účelem je zajistit naplnění dutiny taveninou a zároveň umožnit snadné oddělení výstřiku od vtokového zbytku. Průřez ústí by měl být co nejmenší, ale nesmí dojít k zabránění vtok taveniny do tvářecí dutiny nebo například jettingu. Stejně tak délka ústí má být co nejkratší. [17]

Výčet často používaných vtokových ústí:

Plný kuželový vtok

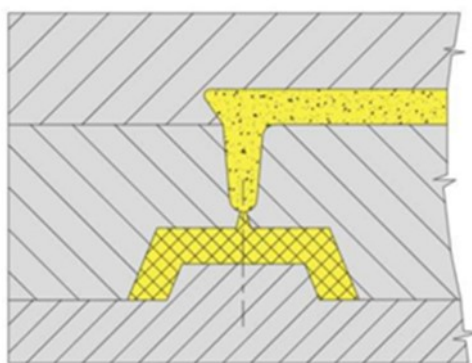
Je používán v jednonásobných formách a ústí v tomto případě přímo navazuje na hlavní vtokový kanál. Jelikož se tento typ ústí umísťuje do středu dutiny, je vhodný pro válcové a symetrické díly jako například kbelíky. Vtokový zbytek musí být po vyhození odstraněn. [17]



Obr. 11 Plný kuželový vtok [19]

Bodový vtok

Bodové ústí je podmíněno použitím třídeskového systému vstřikovací formy, kde se nejprve odtrhne vtokové ústí a následně se otvírá forma a vyhazuje výstřík. Výhodou třídeskového systému je odstranění potřeby oddělovat vtokový zbytek po vyhození výstříku. Toto vtokové ústí může ležet v dělicí rovině i mimo ni a je nejčastěji kruhového průřezu. [17]

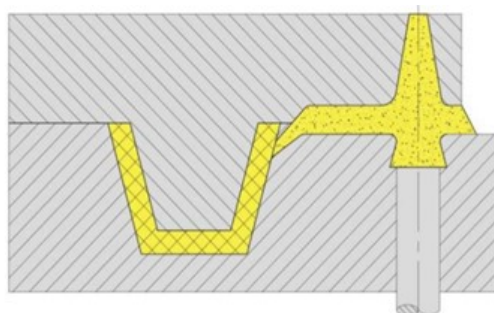


Obr. 12 Bodový vtok [19]

Tunelový vtok

Tunelový vtok je případem bodového vtoku, na rozdíl od něj ale má tu výhodu, že vtokový zbytek leží ve stejné rovině jako výstřík a není tak třeba třídeskového systému vstřikovací

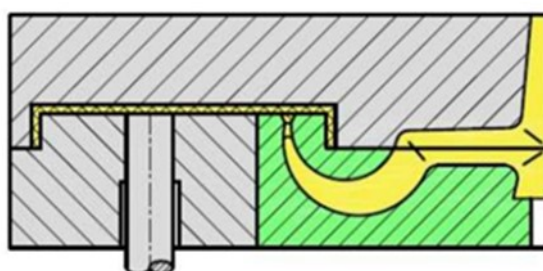
formy. Stejně jako u bodového vtoku i zde dochází k oddělení vtokového zbytku již při vyhazování, a to díky ostré hraně u ústí. [11]



Obr. 13 Tunelový vtok [19]

Srpkovitý (banánový) vtok

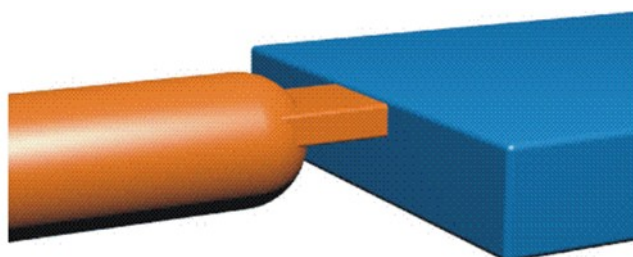
Srpkovitý vtok je variantou tunelového vtoku s tím rozdílem, že tento typ vtokového ústí umožňuje umístit ústí do části výstřiku, která je klasickým tunelovým vtokem nepřístupná, respektive v místě, kde vtok nepůsobí rušivě. [11]



Obr. 14 Srpkovitý vtok [19]

Boční vtok

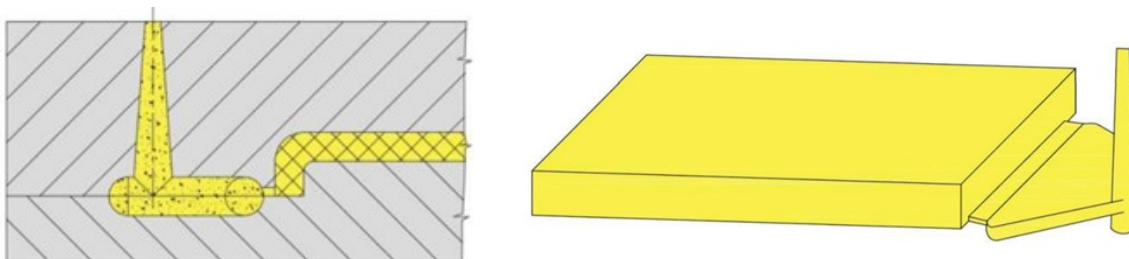
Nejčastěji používaným vtokovým ústím je bodový vtok. Bývá obdélníkového průřezu a během vyhazování zůstává vtokový zbytek spojen s výstřikem a je třeba jej odstranit dodatečně. [11]



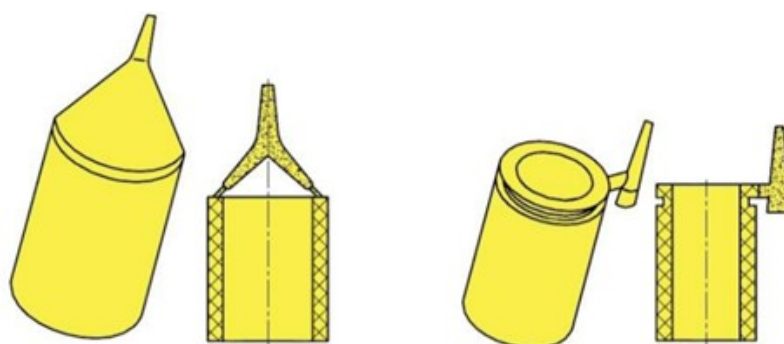
Obr. 15 Boční vtok [20]

Filmový vtok

Filmový vtok umožňuje dodržet rovinnost, přímost a přesnost výrobku. Díky filmovému vtoku je možno zmenšit vnitřní pnutí ve výrobku a vyhnout se vzniku studených spojů. Do skupiny filmových vtoků patří i vtoky diskové, prstencové či deštníkové. Tyto typy ústí jsou použity tehdy, je-li vstřikován výrobek kruhové tvaru s dutinou. [11]



Obr. 17 Filmový vtok [19]



Obr. 16 Deštníkový (vlevo) a prstencový vtok [19]

3.5 Vyhřívání vtokové soustavy

Formy s vyhřívanou vtokovou soustavou se liší od forem se studenými vtoky v tom, že tavenina při průchodu vtokovým systémem zůstává v tekutém stavu a nedochází k vyhazování vtokového zbytku. Od forem se studeným vtokovým systémem se liší také tím, že v pevné části formy jsou umístěny všechny prvky vyhřívání soustavy i s elektroinstalací, pohyblivá část je stejná jako u forem s běžnými vtoky. Formy s VVS tvoří zhruba 30 % dnes vyráběných forem. [7] [11]

Některé z udávaných výhod VVS:

- kratší výrobní cyklus,
- přispívají k automatizaci výroby,

- menší spotřeba materiálu, jelikož nevznikají vtokové zbytky,
- odpadají náklady na odstraňování vtokových zbytků od výrobku a jejich následnou regeneraci. [17]

Nevýhodou vyhřívaných vtoků je fakt, že jsou složitější a zvyšují výrobní cenu formy. Kladou vysoké požadavky na obsluhující personál, konstruktéra i technologa. Cenu i energetickou náročnost forem s VVS zvyšují také regulátory a snímače. [11]

3.5.1 Vyhřívané trysky

Důležitou součástí dnes používaných VVS jsou vyhřívané trysky. Ty umožňují teplotně stabilní propojení plastikační jednotky a dutiny formy. Nejčastěji jsou vyráběny specializovanými firmami. Trysky mohou být vyhřívané buďto přímo nebo nepřímo. Přímou vyhřívané trysky se rozdělují na:

- trysky s vnějším topením, u nichž roztavený polymer teče vnitřním otvorem, těleso trysky je z vodivého materiálu a okolo něj je topení,
- trysky s vnitřním topením, ve kterých tavenina teče kolem vnitřní vyhřívané vložky. [11]



Obr. 18 Vyhřívaná tryska [22]

3.5.2 Vyhřívané bloky

U vícenásobných forem se používá vyhřívaných rozvodových bloků, které jsou nejčastěji osazeny vyhřívanými tryskami. Jejich správné fungování je závislé na rovnoměrném vytápění. Bloky jsou vytápěny buďto zvenku nebo zevnitř. V případě vnějšího vytápění se používá topných hadů zalitých dobře tepelně vodivým kovem. U vyhřívání vnitřního je

využito topných patron. Rozvodné bloky jsou umístěny mezi upínací a tvarovou deskou, jsou z oceli a tvarem přizpůsobené potřebné poloze rozváděcích kanálů. Je nutná jejich tepelná izolace od zbytku formy. [11]



Obr. 19 Různé tvary vyhřívaných rozvodných bloků [23]

3.6 Temperační systém

Pojmem temperace vstřikovací formy se rozumí ochlazování nebo ohřev tvářecích částí formy prostřednictvím temperačního média, které proudí soustavou kanálů a dutin na požadovanou teplotu před začátkem výroby a její následné udržování během cyklického vstřikování. Temperační systém je zpravidla umístěn jak v pevné, tak v pohybující se polovině formy. Systém musí zajistit, aby cyklus měl ekonomickou délku (tzn. aby cyklus trval co nejkratší dobu, ale zároveň musí být splněny jakostní ukazatele). [2] [18]

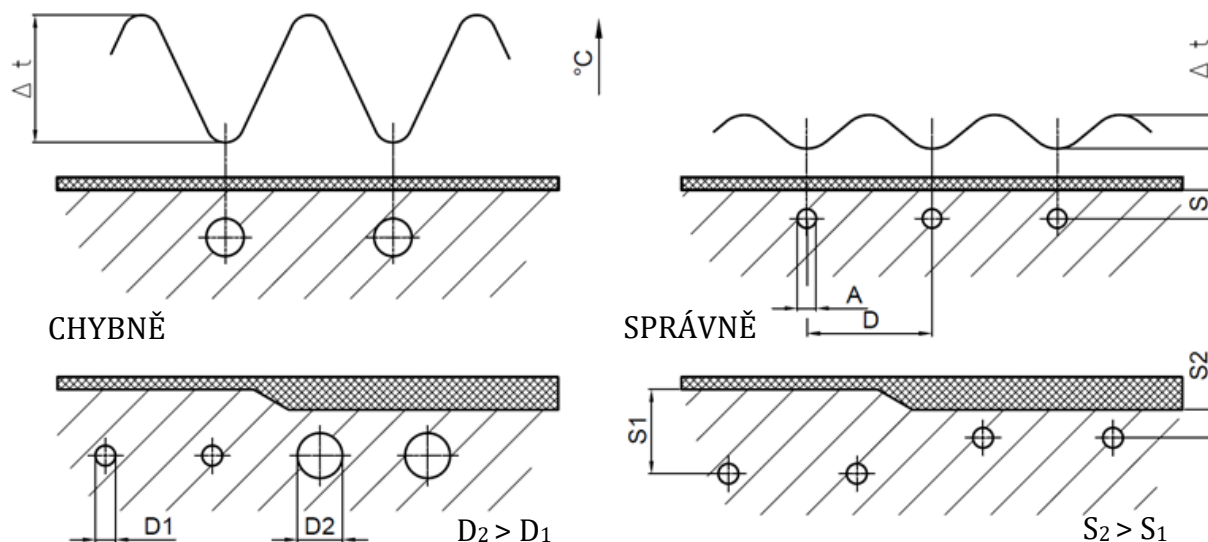
Teplota formy v průběhu vstřikovacího cyklu se mění, protože nejdříve stoupne vlivem vstříknutí taveniny a následně klesá. Je nutné vyladit temperační systém tak, aby tyto změny teploty byly co nejmenší. [18]

Teplo taveniny se odvádí stěnou tvarové dutiny formy přes temperační systém a také pomocí tepelných ztrát do okolí. Mezi tyto ztráty patří přenos tepla vedením, prouděním i radiací. Naopak u některých polymerů, které se zpracovávají při vyšších teplotách formy, se musí forma ohřívat, jelikož tepelné ztráty formy jsou vyšší než její ohřátí taveninou. [18]

3.6.1 Zásady při navrhování temperačního systému

Při navrhování temperačního systému je nutné držet se některých zásad. Systém je potřeba navrhnout s ohledem na celkovou koncepci formy. Kanály je nutno umístit co nejblíže k tvarové dutině, ale musí být zachována dostatečná tuhost a pevnost formy. Je vhodnější volit

více kanálů s menším průřezem než opačně. V kanálech nesmí vznikat mrtvé kouty. Kanály by měly mít kruhový průřez a jejich průměr nesmí být menší než 6 mm, aby se neucpávaly a neměly by být umístěny u hran výstřiku. Temperační médium by během chlazení mělo téct od nejteplejšího místa k nejchladnějšímu, a naopak při zahřívání. [18]



Obr. 20 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy [18]

3.6.2 Temperační prostředky

Pojmem temperační prostředek se rozumí médium, které ve formě působí a díky němuž forma pracuje v správných tepelných podmínkách. Dělí se na temperační prostředky aktivní a pasivní. [18]

Aktivní temperační prostředky

Aktivní temperování spočívá v přímém odvádění nebo dodávání tepla do formy za pomoci média, které přenáší teplo. [18]

Příkladem aktivních temperačních prostředků jsou různé kapaliny, u nichž se teplota dosahuje, když teplo přestupuje mezi formou a kapalinou. Nejčastějším zástupcem aktivních temperačních prostředků je voda, jejíž výhodou je nízká cena i vysoký přestup tepla. Její nevýhodou je, že použití při vyšších teplotách než 90 °C je podmíněno používáním tlakových okruhů. Tuto nevýhodu nemá olej, který umožňuje temperovat formu i nad teplotu 100 °C. [18]

Jako aktivní temperační prostředek se v určitých případech používá i vzduch. Odvádí teplo z formy, když je otevřená a také je použit tehdy, kdy pro temperování kapalinou není potřebný prostor. [18]

Pokud jsou při vstřikování tepelné ztráty do okolí vyšší než teplo, které dodá tavenina, využívá se topných patron nebo prstencových topných těles. [18]

Pasivní temperační prostředky

Teplotu formy ovlivňují pomocí svých fyzikálních vlastností. Pasivní temperační prostředky lze rozdělit na materiály tepelně izolační a tepelně vodivé. [18]

Když je vyžadovaná vysoká teplota formy, používá se materiálů, které izolují formu, aby nedocházelo k přenosu tepla vedením a sáláním do upínacích desek. Typickým příkladem, kdy jsou využity tepelně izolační materiály, jsou izolační desky např. na bázi vyztužených reaktoplastů či nekovových anorganických látek. [18]

Je-li třeba odvádět či přivádět teplo do částí formy, které jsou jiným způsobem špatně temperovatelné, využívá se tepelně vodivých materiálů. Ty z daného místa teplo vedou do míst temperovaných obvyklým způsobem. Používají se například slitiny mědi či hliníku. Nejúčinnějším zástupcem jsou tzv. tepelné trubice využívající výparné teplo. [18]

3.7 Vyhazovací systém

Vyhazování je pojem, který popisuje odformování vstřikovaného dílu z dutiny formy. Jak se díl ochlazuje, dochází k jeho smrštění, čímž se výstřik přichytí k vnitřní dutině formy. Při návrhu plastového výrobku vyrobeného vstřikováním, je důležité navrhovat díl s ohledem na to, jak bude odformován. [7]

Obecně na vyhazovací systém jsou kladeny tyto požadavky:

- snadné odformování výstřiku,
- při odformování se nesmí vstřikovaný díl deformovat,
- výstřik by měl zůstat při otevření na té straně formy, kde je umístěn vyhazovací systém,
- mimo vstřikovaný díl musí dojít také k vyhození vtokového zbytku. [3]

Aby, toho bylo dosaženo, je nutné, aby výstřik měl stěny hladké a s úkosem ve směru vyhazování. Vysouvání výstřiku musí být rovnoměrné, aby se výrobek nevzpříčil. V případě,

že jsou stopy po vyhazovačích na výstřiku na závadu, jsou vyhazovače umístěny na stranu, kde nevadí vzhledu. [18]

Pohyb vyhazovacího zařízení má dvě fáze:

- pohyb dopředný, kdy dojde k samotnému vyhazování,
- zpětný pohyb, při kterém se vyhazovací systém vrací do výchozí polohy. [18]

Existují tyto základní způsoby vyhazování:

- mechanické vyhazování,
- pneumatické vyhazování,
- hydraulické vyhazování. [18]

3.7.1 Mechanické vyhazování

Nejčastějším způsobem vyhazování výstřiků je mechanické vyhazování. Toho je dosaženo pomocí: vyhazovacích kolíků, stírací desky či trubkových vyhazovačů. [18]

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Tento způsob vyhazování je nejčastější a nejlevnější z důvodu výrobní jednoduchosti a zaručené funkčnosti. Kolíky by měly být opřené o stěnu či žebro a nesmí dojít k zborcení výstřiku. Jak už bylo zmíněno, kolíky zanechávají na výrobku stopy po vyhazování, a proto je vhodné je umisťovat na nepohledové plochy. Zvláštním případem využití kolíků je vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů, jež umožňuje odformovat výrobky s mělkým zápichem. [18]



Obr. 21 Válcový vyhazovací kolík [25]

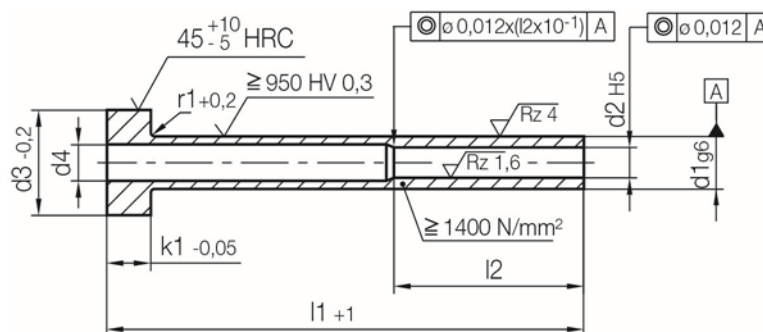
Ploché nebo taky prismatické vyhazovací kolíky se často používají na rovné hrany výstřiků, kde je nutné zvětšit stykovou plochu a nejde použít válcových vyhazovačů. Vyrábí se obráběním válcových vyhazovacích kolíků. [24]



Obr. 22 Plochý vyhazovací kolík [25]

Vyhazování pomocí stírací desky

Tento způsob funguje na principu setření výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Z důvodu velké stykové plochy jsou deformace vstřikovaného dílu minimální a vyhazovač nezanechává na výrobku stopy. Právě z důvodu malých deformací se tento způsob vyhazování používá u tenkostěnných výrobků. Do této kategorie vyhazování patří i vyhazování pomocí trubkového vyhazovače, který je tvořen vyhazovačem s otvorem, který výrobek setře a válcovým kolíkem fungujícím jako jádro. [18]



Obr. 23 Trubkový vyhazovač [26]

3.7.2 Pneumatické vyhazování

Tento způsob vyhazování používá stlačený vzduch, který se zavede mezi výstřik a líc formy, čímž dojde k oddělení dílu od tvárníku. Pneumatické vyhazování je vhodné pro slabostěnné výstřiky, které je nutno při vyhazování zavzdušnit. Pneumatické vyhazování je často používáno v kombinaci s mechanickým vyhazováním. Výhodou této metody je, že není nutno prodlužovat formu kvůli velkému zdvihu mechanického vyhazovače a také fakt, že na výrobku nezůstávají stopy po vyhazovačích. Stlačený vzduch kromě vyhození výrobku

pomáhá s jeho chlazením. Naopak nevýhodou jsou vyšší nároky na přesnost výroby formy v oblasti vedení vzduchu. [18]

3.7.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazovače se vyrábí jako uzavřené hydraulické jednotky a jsou zabudovány přímo do formy. Slouží k ovládnutí mechanických vyhazovačů a jsou charakteristické pružnějším pohybem, velkou vyhazovací silou a pomalejším zdvihem. [18]

3.8 Odvzdušnění formy

Před vstříknutím je forma naplněná vzduchem. Během jejího plnění taveninou je nutno zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Je tedy potřebné znát zákonitosti plnění formy, neboť špatně zvolené, respektive chybějící odvzdušnění může zapříčinit nekvalitní vzhled výrobku nebo jeho nízké mechanické vlastnosti. [18]

3.8.1 Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění

- vstřikovací rychlost: pokud je vstřikovací rychlost příliš vysoká může nastat tzv. Dieselův efekt, kdy dochází ke stlačení vzduchu, ten se silně ohřívá a na výstřiku tak vznikne spálené místo.
- vstřikovací tlak: pokud je potřeba vstřikovací tlak zvýšit z důvodu nedostatečného odvzdušnění, vnáší se tak do výstřiku nadbytečné pnutí.
- teplota taveniny: při kombinaci nízké teploty tlaku a rychlosti se vzduch soustřeďuje na protilehlé straně od vtoku a nemůže-li uniknout, vzniká nedotečený výstřík. [18]

3.8.2 Provedení odvzdušnění

V případě jednoduchých výstřiků lze provedení odvzdušnění určit ze zkušeností konstruktéra, u složitějších se využívá simulační software. Odvzdušnění musí být provedeno tak, aby účinně odvádělo vzduch či zplodiny, ale nesmí docházet k zatékání taveniny. [2]

Většina forem nevyžaduje speciální úpravy kvůli odvzdušnění, jelikož vzduchu je umožněno uniknout z dutiny podél vyhazovacích kolíků nebo vůlí v dělicí rovině. Tomu pomáhá, má-li povrch v těchto místech určitou drsnost. Umístění tvářecí dutiny, její orientace a umístění vtoků má významný vliv na význam odvzdušnění. Proto se často používají odvzdušňovací kanály. Jejich rozměry záleží na vstřikovaném materiálu, ale velikost mezery je nejčastěji mezi 10 až 20 μm . Často se odvzdušnění dosahuje zvětšením díry pro vyhazovací kolíky.

Dalším způsobem, jak umožnit odvzdušnění formy je pomocí odvzdušňovacích drážkovaných vložek či ventilů. [24]



Obr. 24 Odvzdušňovací ventil [27]

3.9 Materiály pro výrobu vstříkovacích forem

Technologie vstříkování plastů se potýká s rostoucími nároky na kvalitu výrobku. Forma musí fungovat spolehlivě a opakovaně i při extrémních zatíženích během procesu vstříkování, a to s dostatečnou životností, aby se vyplatily vysoké náklady na pořízení formy. Spolehlivost formy a její životnost je kromě samotného návrhu formy a její pravidelné údržby určena použitým materiálem, tepelným zpracováním a způsobem výroby. [24]

Vstříkovací forma je sestavena z mnoha komponentů, jejichž funkce ve formě vyžaduje specifické vlastnosti, respektive volbu vhodného materiálu. Na výběr materiálu mají vliv tzv. provozní podmínky. Ty zohledňují, jaký polymer bude vstříkován, jaké jsou podmínky vstříkování, jaký vstříkovací stroj byl vybrán či jaká přesnost a jakost výrobku je požadována. [18]

Široké portfolio dostupných materiálů se při výrobě forem zužuje na malou skupinu materiálů. Nejvíce používanými materiály při výrobě forem jsou kovy, nejčastěji ocel. Kromě oceli jsou využívány i neželezné kovy, mezi ně patří slitiny mědi, hliníku, zinku či bismut-cínové slitiny. Kromě kovů jsou používány v menší míře i jiné materiály, a to kvůli jejich výhodným fyzikálním vlastnostem např. schopnost tepelné vodivosti nebo izolace. [24]

3.9.1 Oceli

Na oceli jsou kladený následující požadavky:

- musí být dobře obrobitelné,
- musí umožňovat tepelné zpracování,
- musí mít dostatečnou pevnost a tuhost,
- musí odolat zahřívání, opotřebení a korozi,
- musí dobře vést teplo,
- musí mít stálé rozměry. [24]

Tyto požadavky jsou kladené zejména na oceli na tvárníky a tvárnice. Z velkého množství ocelí se v dnešní době používají tyto skupiny:

Konstrukční oceli:

Většinu oceli, která je použita při výrobě formy, je ocel konstrukční. Používá se pro výrobu desek, dorazů či šroubů. U součástí méně namáhaných se používají oceli třídy 11. Nejčastěji oceli 11 373 (1.0036), 11 523 (1.0553) či 11 600 (1.0060).

Konstrukční ocel uhlíkově ušlechtilá je využita pro díly, u kterých je požadována vyšší pevnost. Jedná se hlavně o oceli 12 050 (1.1191), 12 060 (1.0535) či 12 061 (1.0601). [18]

Cementační oceli

Tyto oceli mají nižší pevnost v žíhaném stavu, proto jsou dobře obrobitelné a tvářitelné. Pomocí povrchového zušlechtní procesem cementování a následného kalení u nich vzniká tenká velmi tvrdá a otěruodolná povrchová vrstva a jádro oceli zůstává houževnaté. Z těchto ocelí se vyrábí funkční díly forem, pouzdra či kolíky. Mezi používané oceli patří chrommanganová ocel 19 487 (1.2162). Pro výrobu například pouzder se používá cementační ocel 14 220 (1.3521). [18]

Oceli k nitridování

Procesem nitridování se na povrchu oceli vytvoří vrstva o tvrdosti až 800 HB. Podstatou nitridování je nasycení povrchu oceli dusíkem z jeho okolí. Podmínkou je, že ocel obsahuje legující prvky, optimálně hliník. Používají se oceli řady 14 a 19. [18]

Kalitelné oceli

Podstatou kalení je prudké zchlazení zahřívané součásti, které má za následek vytvoření martenzitu. Kalením se dosahuje zvýšení tvrdosti a odolnosti proti opotřebení součásti, zároveň ale dochází ke ztrátě houževnatosti. Do této skupiny patří například manganové oceli jako 19 312 (1.2842), 19 550 (1.2355) či 19 663 (1.2714). Používají se například k výrobě vyhazovačů. [18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V této bakalářské práci byly stanoveny následující cíle:

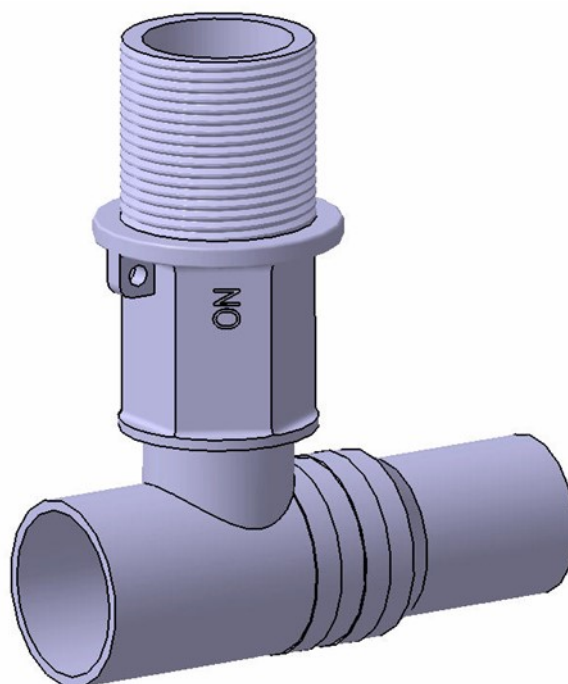
- Vypracovat literární studii na dané téma
- Nakreslit 3D model zadaného dílu
- Provést konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy pro výrobu plastového ventilu
- Nakreslit 2D výkres sestavy vstřikovací formy včetně příslušných řezů

Literární studie, respektive teoretická část bakalářské práce se věnuje polymerům, jejich rozdělení a vlastnostem. Dalšími tématy je technologie vstřikování, která popisuje proces vstřikování, vstřikovací cyklus a vstřikovací stroje. Dále se teoretická část věnuje vstřikovacím formám. Jsou popsány jednotlivé části a systémy tvořící formu a také aspekty a pravidla, kterými je nutné se řídit při navrhování vstřikovací formy.

V praktické části bude vymodelován zadaný díl, následně bude navrhována a vymodelována vstřikovací forma. Na závěr bude vytvořena výkresová dokumentace formy. Modely i výkresy budou vytvořeny v programu CATIA V5R19, což je systém počítačového návrhu, konstruování a výroby vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes. Ke konstrukci formy bude využíváno normálií od německé firmy HASCO.

5 VÝROBEK

Vstříkovaným dílem je plastový ventil. Často nachází využití v zemědělství instalovaný například do menších zásobníků na vodu, nádrží postřikovačů apod. Rozměry výrobku jsou 87 x 77 x 35 mm, jeho nejsilnější stěna má 3 mm a z jedné strany je opatřen vnějším závitem. Hmotnost dílu je 22,2 g. Výrobek je staticky namáhán tlakem vody a také je od něj vyžadována odolnost proti působení UV záření, jelikož se zpravidla užívá venku.



Obr. 25 3D model výrobku

5.1 Materiál výrobku

Pro vstříkovaný díl byl zvolen materiál polypropylen plněný z 20 % skleněnými vlákny od firmy Plastcom s obchodním názvem SLOVALEN® PH 49 GF 20. Jde o homopolymer polypropylenu s vlastnostmi optimálními pro vstříkování využívaný ve všech odvětvích průmyslu. Je odolný proti působení většiny chemikálií, proti působení UV záření a je téměř nenásávkavý. Dodává se ve všech barvách. Základní vlastnosti zvoleného materiálu jsou uvedeny v následující tabulce č.1.

Tab. 1 Vlastnosti polypropylenu PH 49 GF 20 [30]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,05	g/cm ³
Index toku taveniny (230 °C/2,16 kg)	10	g/min
Pevnost v tahu	80	MPa
Modul pružnosti v tahu	4 700	MPa
Pevnost v ohybu	85	MPa
Modul pružnosti v ohybu	2 900	MPa
Tažnost	3,8	%
Vrubová houževnatost Charpy (při 23 °C)	13	kJ/m ²
Vrubová houževnatost Charpy (při -20 °C)	2	kJ/m ²
Teplota tání	160	°C
Teplota taveniny	200-250	°C
Teplota formy	40-70	°C
Vstřikovací tlak	70-120	MPa
Smrštění rovnoběžné	1,78	%
Smrštění kolmé	1,93	%

6 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Na základě technických požadavků byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION od firmy ARBURG. Kritériem výběru byla vzdálenost mezi vodícími sloupky uzavírací jednotky a maximální vstřikovaný objem. Základní parametry stroje jsou uvedeny v následující tabulce č.2.

Tab. 2 Parametry stroje ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION [31]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Maximální uzavírací síla	kN	3 000
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	mm	720 x 720
Velikost upínací desky	mm	1 040 x 1 040
Minimální výška formy	mm	400
Maximální světlost upínacích desek	mm	1 250
Maximální zdvih vyhazovačů	mm	250
Maximální vyhazovací síla	kN	76
Vstřikovací jednotka	-	1 300
Průměr šneku	mm	55
Maximální vstřikovaný objem	cm ³	558
Vstřikovací tlak	bar	2 380

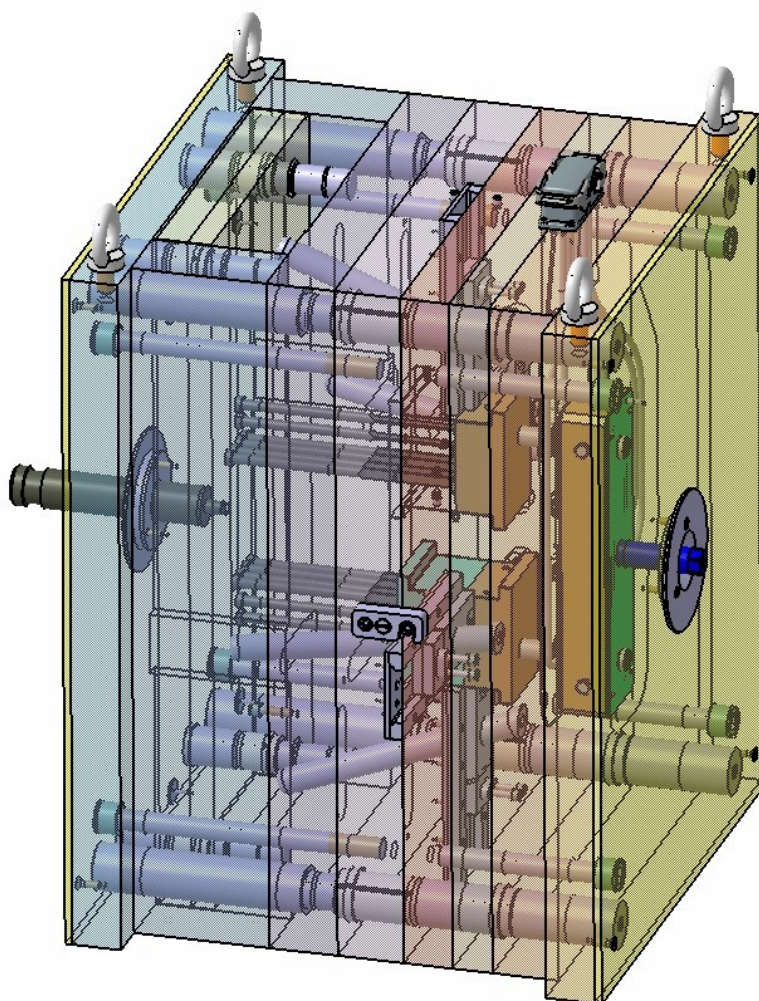
Forma má rozměry 796 x 646 x 630 v uzavřeném stavu a pro bezpečné vyhození je třeba ji otevřít o cca 220 mm. Stoj splňuje požadavek na vzdálenost mezi vodícími sloupky i požadavek maximální světlosti (vzdálenosti) upínacích desek. Taktéž maximální vstřikovací objem je vyšší než objem dvou výstřiků i se započítanou rezervou.

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrh vstříkací formy vychází ze vstříkovaného dílu tzn. jeho tvaru a rozměrů. Pro usnadnění a urychlení konstrukce bylo používáno normálií, konkrétně od firmy HASCO. Forma byla navržena a sestavena v programu CATIA V5R19, a to v modulech Mold Tooling design, Assembly design. Nenormalizované díly byly vytvořeny v modulu Part design. Hlavní rozměry formy jsou 796 x 646 x 615 mm (výška x šířka x délka).

7.1 Násobnost formy

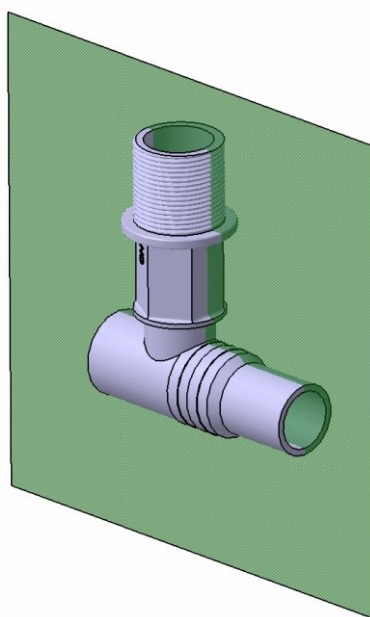
Násobnost udává, kolik výstřiků je zaformováno v hlavní dělicí rovině neboli také kolik výstřiků se vyrobí za jeden vstříkací cyklus. Volba násobnosti musí zohledňovat efektivitu, která radí zvolit násobnost co nejvyšší a zároveň požadovanou přesnost dílů která se s rostoucí násobností zmenšuje. Vstříkací forma byla zvolena jako dvojnásobná.



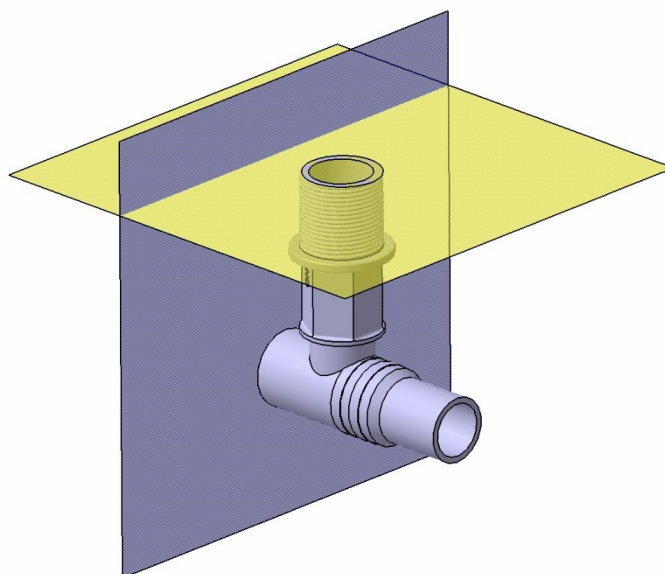
Obr. 26 Vstříkací forma

7.2 Zaformování výrobku

Konstrukce formy začíná určením dělicích rovin, tedy zaformováním výrobku. Od polohy výrobku ve formě se odvíjí další systémy formy, jako je vtokový systém či vyhazování. U zadaného výrobku byla zvolena hlavní dělicí rovina a dvě roviny vedlejší. Hlavní dělicí rovina je kolmá na směr vyhazování. Vedlejší dělicí roviny bylo nutno použít pro vytvoření dutin, které by nešly jinak zaformovat. Se zvětšujícím se počtem dělicích rovin roste počet rozměrů nevázaných formou a také složitost a cena formy. Dělicí roviny jsou zobrazeny na obr. 27 a 28.



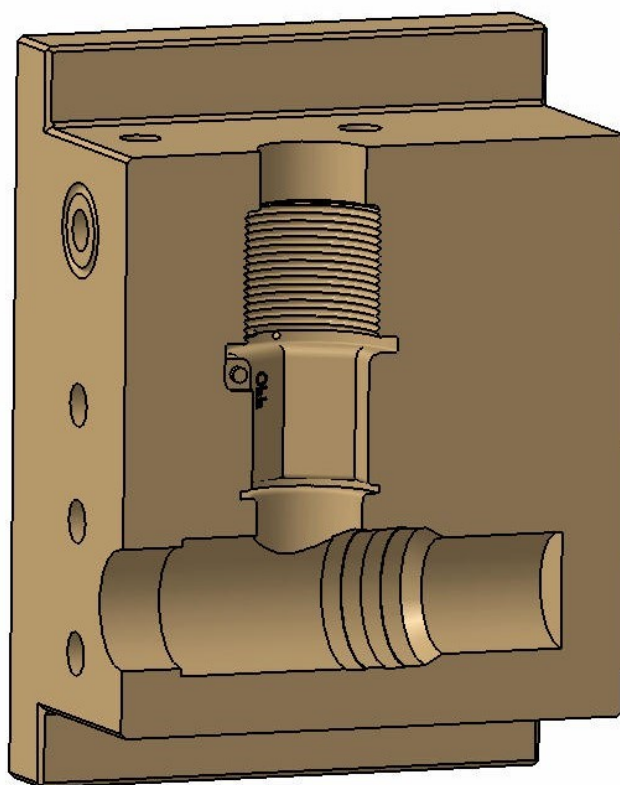
Obr. 27 Hlavní dělicí rovina



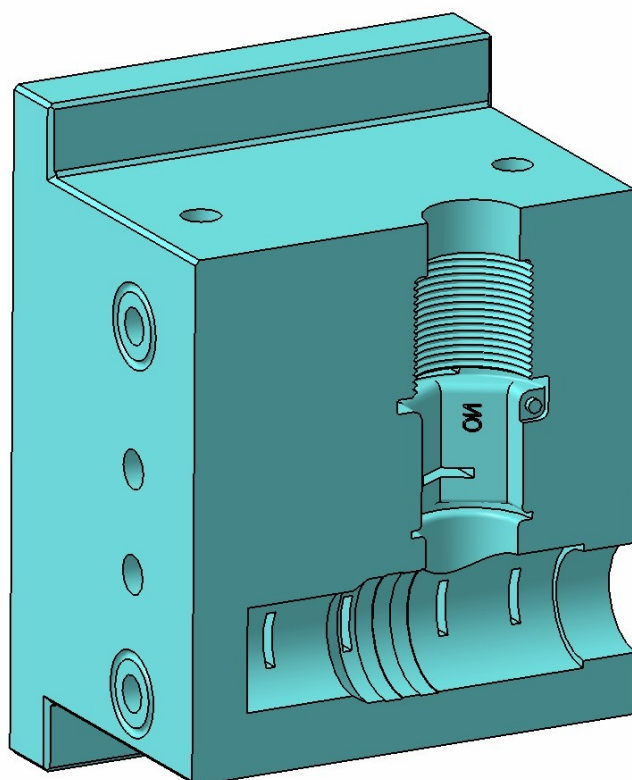
Obr. 28 Vedlejší dělicí roviny

7.3 Tvarové části formy

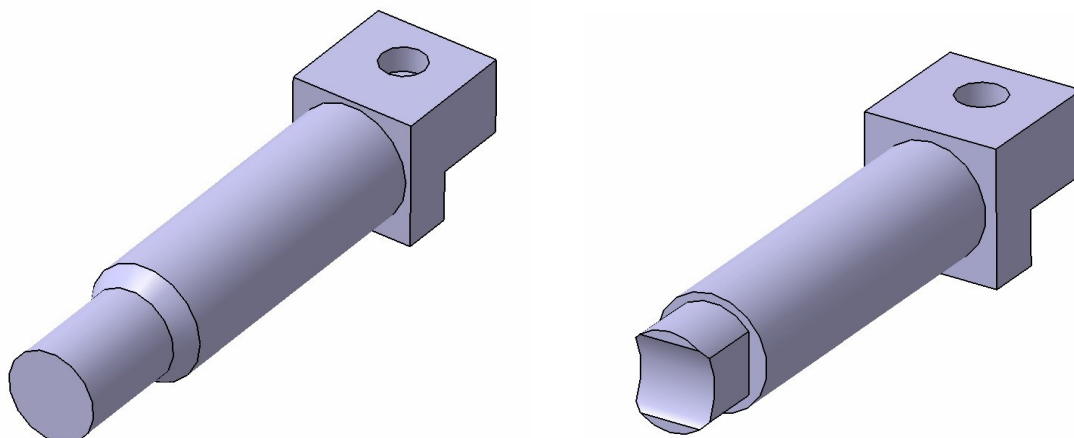
Vstřikovaný výrobek získává svůj tvar ve tvarové dutině, která je zde tvořena tvárnicí, tvárníkem a dvěma posuvnými čelistmi s jádry. Dutina musí být zvětšena o hodnotu smrštění polymeru. U zvoleného polymeru má smrštění hodnotu 1,78 - 1,93 %. Tvárnice je uložena v nepohyblivé části formy a je v ní dutina pro uložení vyhřívané trysky a také jsou v ní vyvrtané kanálky pro temperaci. Tvárník je na levé, tedy pohyblivé straně formy a jsou v něm temperační kanálky a otvory pro vyhazovače. Tvárník a tvárnice jsou řešeny jako vložky, které jsou uloženy v kotevních deskách a ze zadní strany jsou drženy deskami opěrnými. To umožňuje v případě poškození vyměnit pouze vložku a není nutné měnit celou desku. Tvarové části jsou vyrobené z nástrojové oceli 1.2343 (19 552) a kalené na HRC 55, jelikož musí být odolné vůči opotřebení od polymerní taveniny.



Obr. 29 Tvárnice



Obr. 31 Tvárník

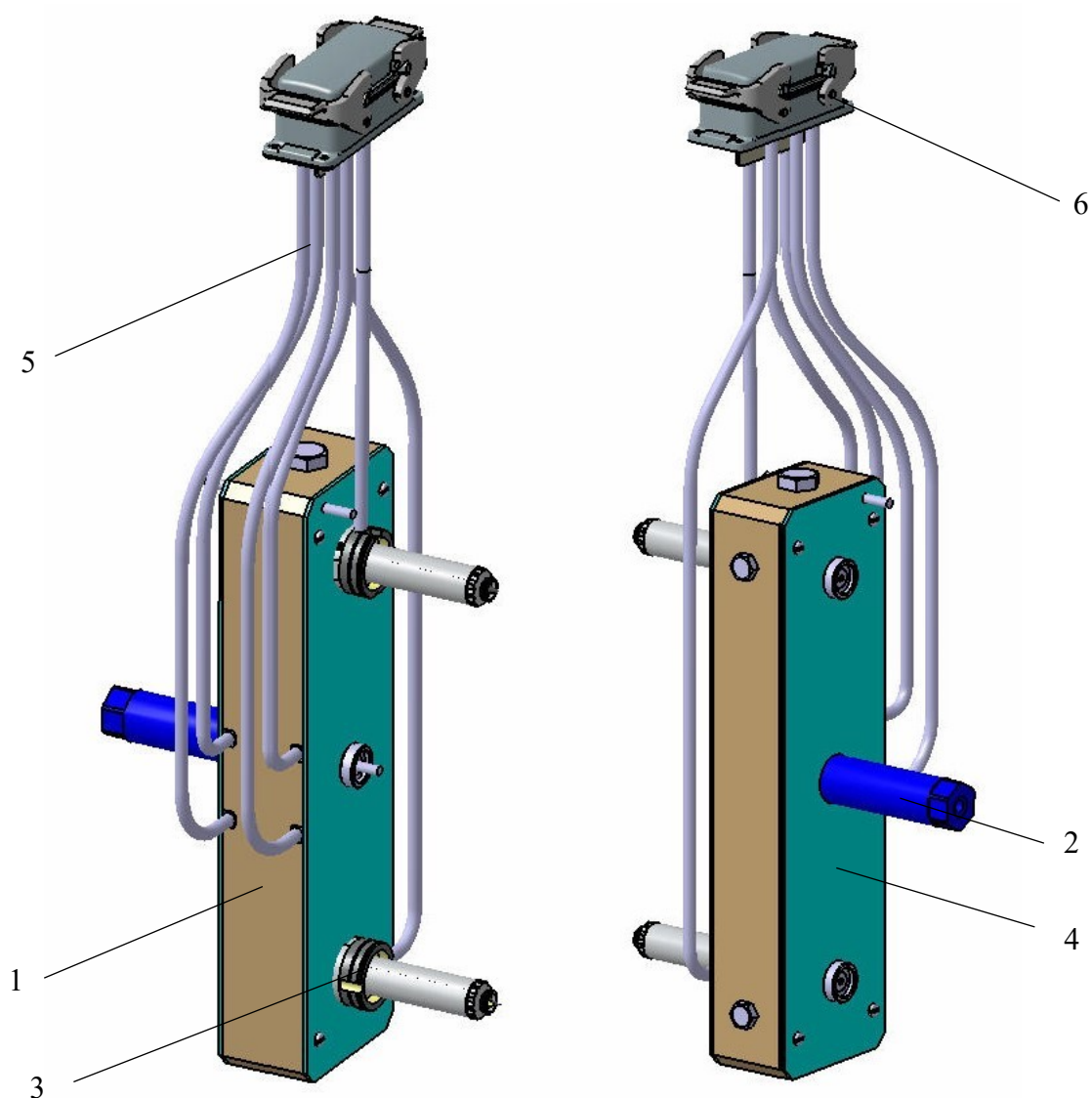


Obr. 30 Boční (vlevo) a horní posuvné jádro

7.4 Vtokový systém

Vtokový systém slouží k dopravě taveniny polymeru ze vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Musí dojít k naplnění všech tvarových dutin současně. U této konkrétní formy byl zvolen horký vtokový systém. Výhodou tohoto řešení je úspora

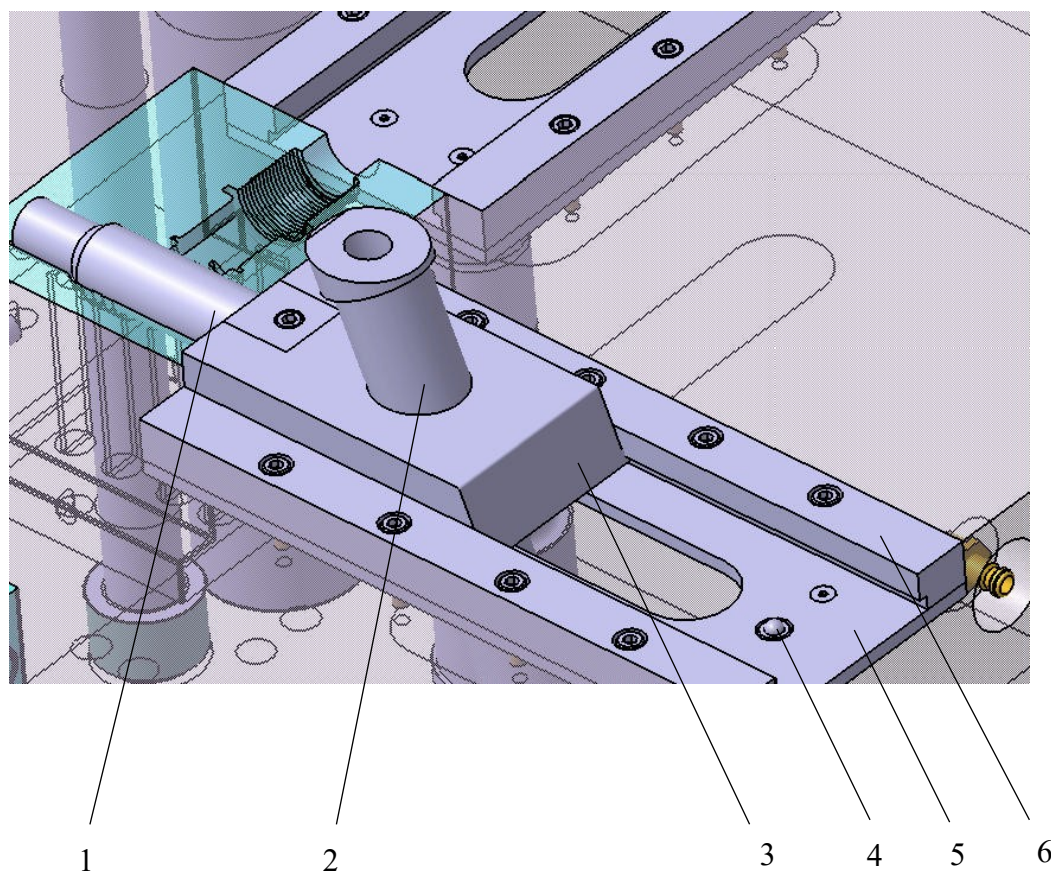
materiálu, protože nevzniká vtokový zbytek jako u studených vtokových soustav. Nevýhodou naopak je zvětšení rozměrů formy, větší náklady na vtokovou soustavu a spotřebu elektrické energie. Systém se skládá z centrální vtokové vložky, vyhřívaného rozvodného bloku a dvou vyhřívaných trysek. Rozvodný blok je vyhříván topnými hady a je zajištěn kolíky pro zamezení otáčení. K bloku jsou z obou stran připevněny reflexní desky a distanční podložky, aby se co nejvíce omezil přenos tepla z rozvodného bloku do zbytku formy.



Obr. 32 Sestava vyhřívaného rozvodného bloku 1 - rozvodný blok, 2 - centrální vtoková vložka, 3 - vyhřívaná tryska, 4 - reflexní deska, 5 - kabeláž, 6 - zásuvka

7.5 Odformování bočních děr

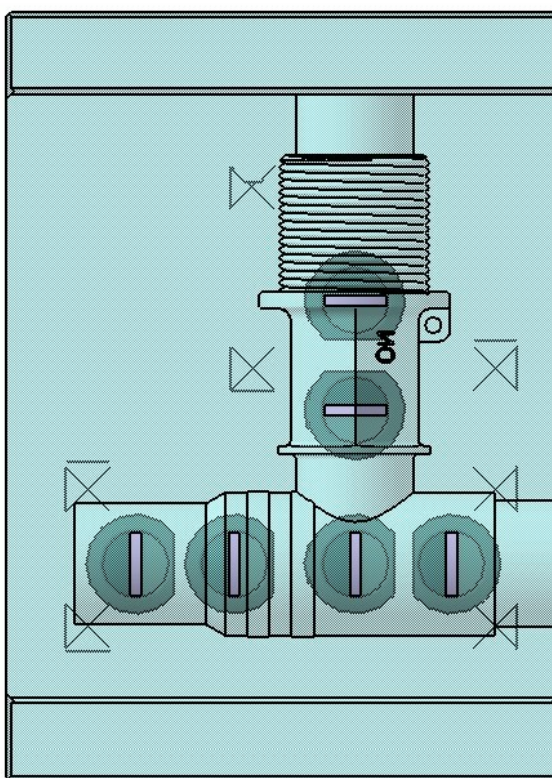
K odformování bočních děr, které leží kolmo ke směru zdvihu vyhazovačů, bylo využito posuvných čelistí. K nim jsou přišroubované jádra vytvářející dutiny ve výrobku. Čelisti jsou ovládány mechanicky, a to šikmými válcovými kolíky uloženými v pravé kotevní desce pod úhlem 21°. Čelisti jsou uloženy v levé kotevní desce, pohybují se po kluzné desce a jsou vedeny vodícími lištami. Během otvírání formy dochází k vysouvání jádra z dutiny, jelikož se čelist posouvá po šikmém kolíku. V této formě byly použity pro každou tvarovou dutinu dvě různá jádra. V průběhu vstřikování taveniny jsou čelisti zajištěné proti pohybu pomocí zámků s tlakovými destičkami. Při otvírání je čelist zajištěná proti úplnému vysunutí pomocí pružinky s kuličkou, která v určitém momentu při vysouvání zapadne do jamky v čelisti.



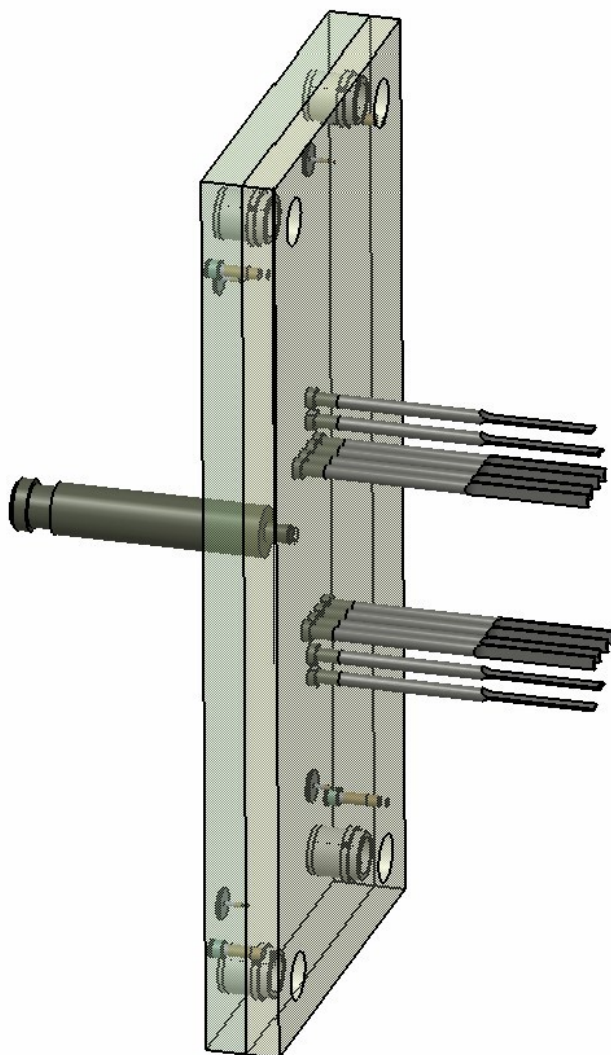
Obr. 33 Systém odformování bočních děr 1 - jádro, 2 - šikmý kolík, 3 - posuvná čelist, 4 - stavěcí šroub s pružinkou a kuličkou, 5 - kluzná deska, 6 - vodící lišta

7.6 Vyhazovací systém

Po otevření formy musí dojít k vyhození výstřiku z tvarové dutiny. To zajišťuje vyhazovací systém. Je uložen v pohyblivé části formy, skládá se z vyhazovací desky kotevní, v níž jsou uloženy vyhazovací kolík a vyhazovací desky opěrné. V deskách jsou vodící pouzdra a desky se pohybují po vodících čepch ukotvených v levé upínací desce. Pohyb vyhazovacího systému zajišťuje táhlo, které je přišroubované k opěrné vyhazovací desce, na níž jsou přišroubovány tzv. dosedky sloužící ke zmírnění nárazu vyhazovacích desek do desky upínací. Vyhození provádí celkem dvanáct prismatických vyhazovačů s obdélníkovým průřezem o rozměru 11,5 x 2 mm, přičemž snahou bylo dosáhnout co největší styčné plochy, aby stopa po vyhazovačích byla co nejmenší. Vyhazovače jsou z nástrojové oceli a jsou kalené, aby odolávaly opotřebení. Válcové hlavy vyhazovačů jsou tvarově upravené, aby se zamezilo rotaci vyhazovacích kolíků. Obrázek č. 34 zobrazuje rozmístění vyhazovačů ve tvárníku a na obrázku č. 35 je zobrazen celý vyhazovací systém.



Obr. 34 Rozmístění vyhazovačů

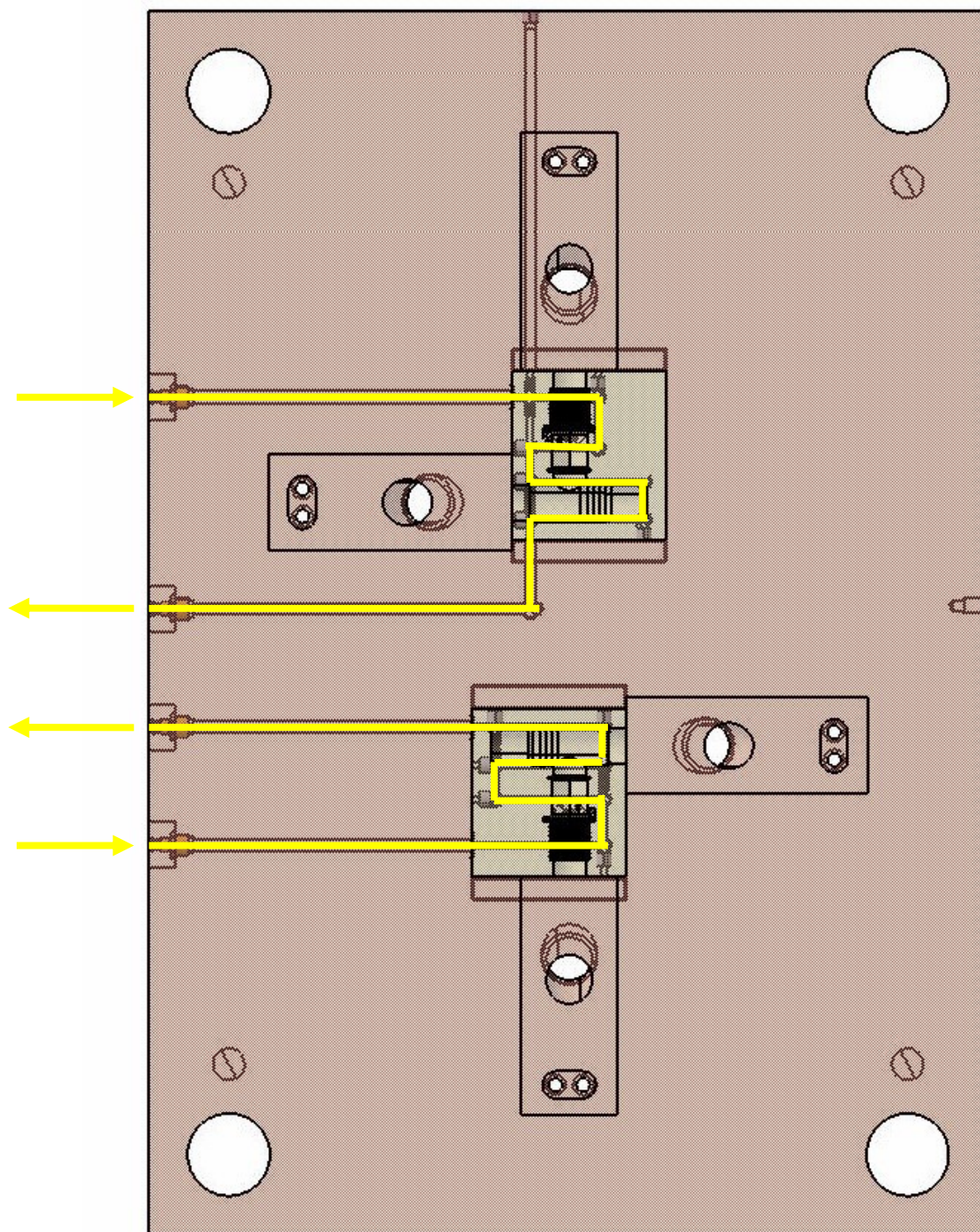


Obr. 35 Vyhazovací systém

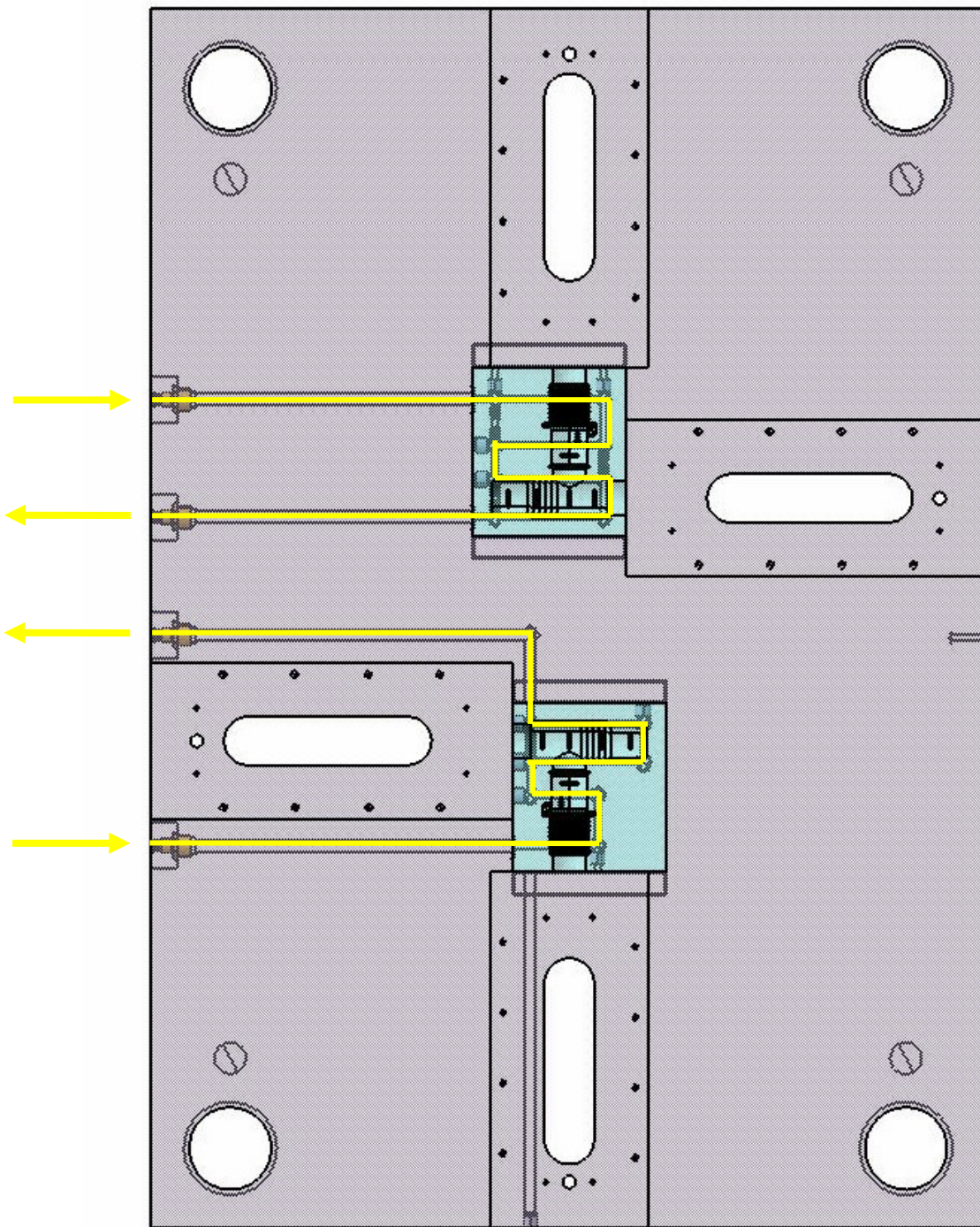
7.7 Temperační systém

Vzhledem k tomu, že teplota formy během vstřikovacího cyklu kolísá, používáme temperační systémy za účelem udržení co nejvíce stabilního teplotního pole ve formě. Ten je v tomto případě tvořen systémem temperačních kanálů, kudy proudí temperační médium voda. Dráha proudícího média je vymezena ucpávkami. Přívod a odvod média je umožněn rychlospojkami, které jsou umístěny na opačné straně, než stojí obsluha stroje. V místech, kde vrtaný kanál prochází mezi deskami, jsou použity těsnící O-kroužky. Jak ucpávky, tak rychlospojky a O-kroužky, jsou normálně firmy HASCO. Jsou vidět na obr. 38.

Byl zvolen průměr kanálu 8 mm. Ke každé tvárnici a tvárníku přísluší samostatný temperační okruh. U tvárnice začíná okruh kanálků nejbližší ústí vyhřívané trysky, aby byla splněna zásada, že chladicí médium má proudit od nejteplejší části k nejchladnější.



Obr. 36 Temperace pravé kotevní desky



Obr. 37 Temperace levé kotevní desky



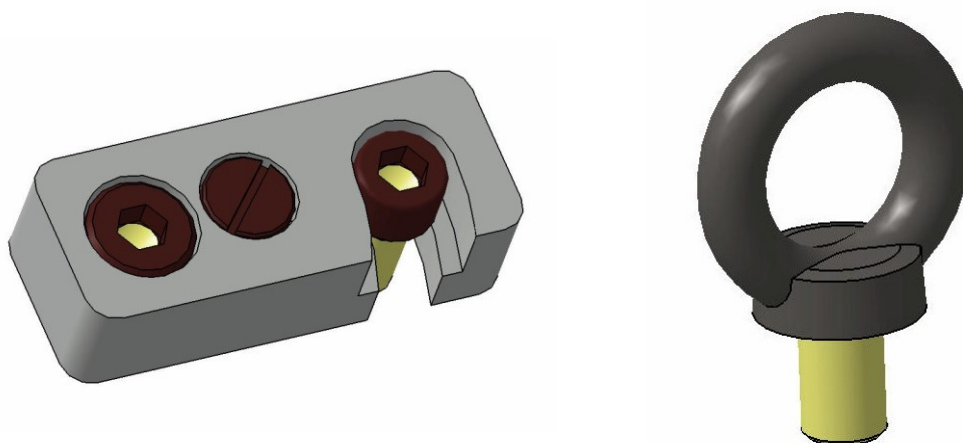
Obr. 38 Prvky temperačního systému zleva: rychlospojka Z81, vnější ucpávka Z940, vnitřní ucpávka Z942 [28]

7.8 Odvzdušnění

Ve tvarové dutině je před naplněním taveninou vzduch. Je nutné, aby mohl vzduch a případné zplodiny z dutiny uniknout, aby nevznikaly různé vady výstřiku. V této formě se předpokládá únik vzduchu vůlemi mezi vyhazovačem a také vůlí dělicí roviny. Pokud by tohle řešení nezabezpečovalo únik vzduchu, je možné vytvořit v dutině odvzdušňovací kanálky nebo použít různé odvzdušňovací ventily. Také je třeba mít na paměti, že s postupným používáním formy se odvzdušnění zlepšuje, jelikož se vůle zvětšují.

7.9 Transportní a bezpečnostní systém

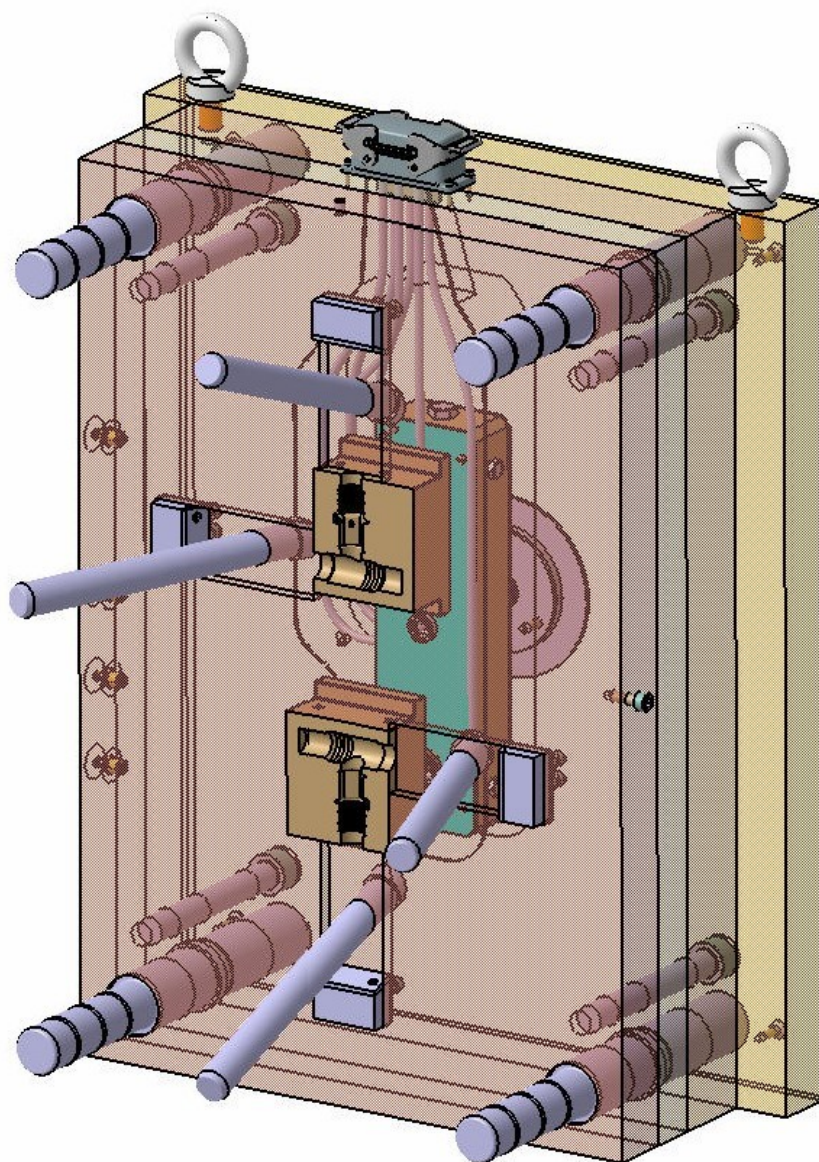
Pro manipulaci s formou slouží čtyři závěsná oka Z710/20 zašroubovaná do formy. Aby se během transportu forma nerozevřela je opatřena transportní pojistkou Z73/20 x 32 x 80. Obě součásti jsou normálie firmy HASCO.



Obr. 39 Transportní pojistka Z73 a závěsné oko Z710

7.10 Pravá strana vstříkovací formy

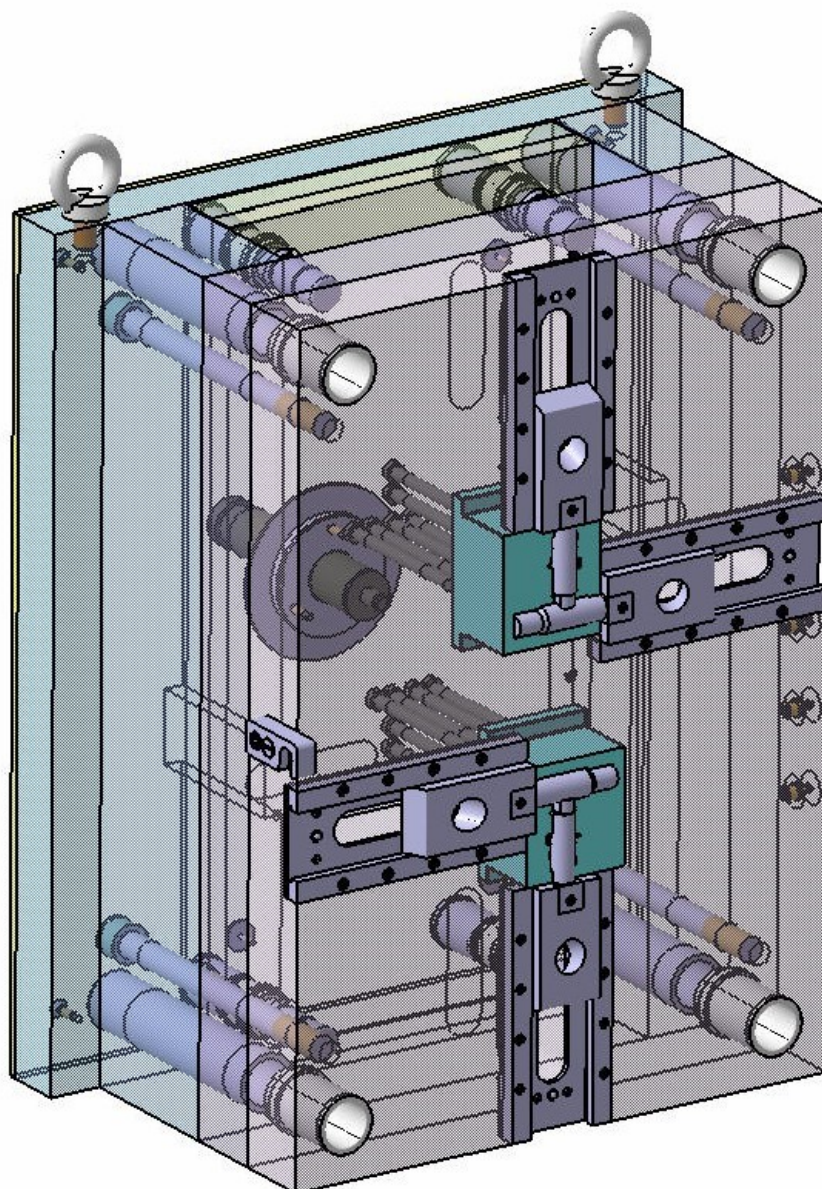
Pravá strana vstříkovací formy je nepohyblivá, nazývá se také vstříkovací. Pravá strana této konkrétní formy je složena z pěti desek, a to z pravé kotevní desky, pravé opěrné desky, desky pro horký blok, pravé upínací desky a konečně pravé izolační desky. K upínací desce je přišroubován středící kroužek, kterým se forma centruje v upínací jednotce vstříkovacího stroje. V desce pro horký blok je uložen vtokový systém i s kabeláží a zásuvkou. V kotevní desce jsou uloženy vložky tvárnic a jsou zde přišroubovány čtyři zámky pro zajištění pohyblivých čelistí během vstříkování. Desky jsou středěny středícími trubkami a vodícími čepy a jsou spojeny šrouby.



Obr. 40 Pravá strana vstříkovací formy

7.11 Levá strana vstřikovací formy

Levá strana vstřikovací formy je pohyblivá. Skládá se z levé desky kotevní, levé desky opěrné, rozpěrných desek, levé desky upínací a levé desky izolační. Desky jsou středěny středícími trubkami a vodícím pouzdem a jsou spojeny šrouby. V levé kotevní desce jsou umístěny tvárníky a pohyblivé čelisti. Součástí levé strany je i vyhazovací systém.



Obr. 41 Levá strana vstřikovací formy

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh a konstrukce vstříkovací formy pro výrobu plastového ventilu. Práce je rozdělena na dvě části, a to teoretickou a praktickou.

V teoretické části je pojednáváno o polymerech a jejich rozdělení a vlastnostech. Dále jsou tématy technologie vstříkování a vstříkovací formy, tzn. systémy tvořící formy a pravidla konstrukce vstříkovací formy.

Pro díl byl vybrán materiál polypropylen obsahující ze 20 % skelná vlákna od firmy Plastcom s obchodním názvem SLOVALEN® PH 49 GF 20. Materiál je vhodný díky své odolnosti vůči působení většiny chemikálií a UV záření. Je také takřka nenasákavý a má skvělé mechanické vlastnosti.

Dle rozměrů vstříkovací formy byl vybrán vstříkovací stroj ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION od firmy AURBURG.

Praktická část práce spočívající ve vymodelování 3D modelu výrobku, navrhnutí formy a vytvoření její výkresové dokumentace byla provedena v programu CATIA V5R19. Při konstrukci bylo využíváno normálií firmy HASCO.

S ohledem na složitost výrobku byla zvolena dvojnásobná forma. Pro správné zaformování byla zvolena jedna hlavní a dvě vedlejší dělicí roviny.

Vtokovou soustavu tvořil vyhřívaný rozvodný blok se dvěma vyhřívanými tryskami.

Temperace byla řešena jakožto systém vrtaných kanálků a průměru 8 mm. Tvárnice i tvárník mají vlastní temperační obvod.

Vyhazování zajišťuje 12 plochých vyhazovačů.

Na závěr byly zhotoveny výkresy sestavy formy, levý a pravý pohled do hlavní dělicí roviny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, [2016], xvi, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 9781569905920.
- [2] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 9788073002503.
- [3] BOBEK, Jiří. VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ TERMOPLASTŮ [online]. 2015 [cit. 2020-02-26]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [4] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.
- [5] LENFELD, Petr. Část II – Zpracování plastů. Katedra strojírenské technologie: Oddělení tváření kovů a plastů [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [6] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 9781569904206.
- [7] BEAUMONT, John P., R. L. NAGEL a R. SHERMAN. Successful injection molding: process, design, and simulation. Munich: Hanser Publishers, c2002, xiii, 362 s. ISBN 1569902917.
- [8] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití [online]. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. [cit. 2020-02-26]. ISBN 9788070807880. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-788-0/anotace/
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. 2015. [cit. 2020-02-26]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Uvod.html>
- [10] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. 2015. [cit. 2020-02-26]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>

- [11] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. I. díl, Vstřikování termoplastů. 2. vydání. Brno: Uniplast Brno, 1999, 133 s.
- [12] SEIDL, Martin. STROJE PRO ZPRACOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ [online]. 2015 [cit. 2020-02-26]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
- [13] ARBURG: Hydraulic machines [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/en/products-and-services/injection-moulding/injection-moulding-machines/hydraulic-machines/#!/prettyPhoto>
- [14] TOMIS, František. Základy gumárenské a plastikářské technologie. 2. nezměn. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická, 1980, 278 s. ISBN (brož.).
- [15] KAMAL, Musa R., Avraam I. ISAYEV a Shih-Jung LIU, ed. Injection molding: technology and fundamentals. Munich: Hanser, c2009, xxviii, 926 s. Progress in polymer processing. ISBN 9781569904343.
- [16] BĚLAŠKA, Karel. VÝROBA UZÁVĚŘŮ LAHVÍ. Brno, 2018. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
- [17] BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 9781569904213.
- [18] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. II. díl, Vstřikování termoplastů. Brno: Uniplast Brno, 1999, 214 s.
- [19] HYNEK, Martin. KA 05 - PLASTOVÉ DÍLY: STUDENÉ A ŽIVÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [20] Gate [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.beaumontinc.com/injection-molding-glossary/gate/>
- [21] Tváření plastů a výroba forem II. In: 14220 [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/>

- [22] HOT RUNNER NOZZLES. In: HASCO hot runner [online]. [cit. 2020-02-26].
Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/hotrunner/duesen>
- [23] Hot runner systems: Manifold. In: Meusburger [online]. [cit. 2020-02-26].
Dostupné z: <https://www.psg-online.de/EN/GB/products/hot-runner-systems/manifolds>
- [24] MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to make injection molds. 3rd ed. Munich: Hanser, c2001, xvii, 612 s. ISBN 3446212566. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMIME006/how-make-injection-molds>
- [25] VYHAZOVAČE A TVAROVÁ JÁDRA. MEUSBURGER [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/vyroba-nastroju-a-forem/e-dily/vyhazovaci-a-tvarova-jadra>
- [26] Z45/d1xd2x11: Trubkový vyhazovač, hardened and nitrided. In: HASCO [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.hasco.com/cs/Z/Vyhazov%C3%A1n%C3%AD/Vyhazova%C4%8D/Trubkov%C3%A9-vyhazova%C4%8De/p/Z45_d1xd2x11
- [27] DYNAMIC MOLD VENTING VALVE SGD. In: Mold making technology [online]. 2016 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.moldmakingtechnology.com/articles/a-different-approach-to-mold-venting>
- [28] Chladicí systém. HASCO [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/Z/Chlad%C3%ADc%C3%AD-syst%C3%A9m/c/PIM0308>
- [29] STANĚK, Michal. Postup – Jak na seminární práci Vstříkovací forma. UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství
- [30] Materiálový list: SLOVALEN® PH 49 GF 20. In: Plastcom [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://plastcom.sk/wp-content/uploads/2014/02/Materialovy-list-206000-SLOVALEN-PH-49-GF-20.pdf>
- [31] ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION. In: ARBURG [online]. 2014 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z:

https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_720S_GOLDEN_EDITION_TD_528997_en_GB.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2 D	dvourozměrný
3 D	trojrozměrný
%	procento
T _g	teplota skelného přechodu
T _f	teplota tečení
PS	polystyren
SAN	styrén akrylonitril
SBS	styrén – butadien – styrén
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PMMA	polymethylmetakrylát
PC	polykarbonát
PES	polyester PES
PP	polypropylen
PE	polyethylen
PTFE	polytetrafluoretylen
POM	polyoxymethylen
PA	polyamid
°C	stupeň Celsia
MPa	megapascal
IT	toleranční stupeň
R	rádus
Ra	hodnota drsnosti
t	teplota
D	průměr
μm	mikrometr

mm milimetr

g gram

UV ultrafialové

kg kilogram

HRC tvrdost podle Rockwella

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Rozdělení polymerních materiálů.....	11
Obr. 2 Nadmolekulární struktura termoplastů: a) amorfní polymer b) semikrystalický polymer [8]	13
Obr. 3 Vstřikovací stroj: 1) uzavírací jednotka, 2) pohyblivá upínací deska, 3) pohyblivá část vstřikovací formy, 4) vodící sloupky, 5) pevná upínací deska, 6) čelo špičky vstřikovací trysky, 7) tavící komora, 8) šnek, 9) násypka, 10) pohonná jednotka šneku [12]	15
Obr. 4 Schéma vstřikovací jednotky [12]	16
Obr. 5 Uzavírací jednotka [13]	17
Obr. 6 Schéma vstřikovacího cyklu [14]	19
Obr. 7 Řez vstřikovací formou; 1 - izolační deska, 2 - upínací deska, 3 - kotevní deska pravá, 4 - kotevní deska levá, 5 - opěrná deska, 6 - rozpěrná deska, 7 - vyhazovací deska kotevní, 8 - vyhazovací deska opěrná, 9 - vodící čep, 10 - vodící pouzdro, 11 - středící trubka, 12 - vtoková vložka, 13 - středící kroužek, 14 - tvárnice, 15 - tvárník, 16 - vyhazovač, 17 - přidržovač vtoku, 18 - táhlo vyhazovacích desek, 19 - šroub [29].....	22
Obr. 8 Schéma studeného vtokového systému [19].....	24
Obr. 9 Možnosti uspořádání vtoků [21].....	25
Obr. 10 Průřezy rozvodných kanálů [3].....	25
Obr. 11 Plný kuželový vtok [19]	26
Obr. 12 Bodový vtok [19].....	26
Obr. 13 Tunelový vtok [19]	27
Obr. 14 Srpkovitý vtok [19].....	27
Obr. 15 Boční vtok [20].....	27
Obr. 16 Deštníkový (vlevo) a prstencový vtok [19]	28
Obr. 17 Filmový vtok [19].....	28
Obr. 18 Vyhřívaná tryska [22].....	29
Obr. 19 Různé tvary vyhříváných rozvodných bloků [23]	30
Obr. 20 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy [18].....	31
Obr. 21 Válcový vyhazovací kolík [25].....	33
Obr. 22 Plochý vyhazovací kolík [25]	34
Obr. 23 Trubkový vyhazovač [26].....	34
Obr. 24 Odvzdušňovací ventil [27].....	36
Obr. 25 3D model výrobku	41
Obr. 26 Vstřikovací forma	44
Obr. 27 Hlavní dělicí rovina	45
Obr. 28 Vedlejší dělicí roviny.....	45
Obr. 29 Tvárnice	46

Obr. 30 Boční (vlevo) a horní posuvné jádro	47
Obr. 31 Tvárník.....	47
Obr. 32 Sestava vyhřívaného rozvodného bloku 1 - rozvodný blok, 2 - centrální vtoková vložka, 3 - vyhřívaná tryska, 4 - reflexní deska, 5 - kabeláž, 6 - zásuvka	48
Obr. 33 Systém odformování bočních děr 1 - jádro, 2 - šikmý kolík, 3 - posuvná čelist, 4 - stavěcí šroub s pružinkou a kuličkou, 5 - kluzná deska, 6 - vodící lišta.....	49
Obr. 34 Rozmístění vyhazovačů	50
Obr. 35 Vyhazovací systém	51
Obr. 36 Temperace pravé kotevní desky	52
Obr. 37 Temperace levé kotevní desky	53
Obr. 38 Prvky temperačního systému zleva: rychlospojka Z81, vnější ucpávka Z940, vnitřní ucpávka Z942 [28]	54
Obr. 39 Transportní pojistka Z73 a závěsné oko Z710.....	54
Obr. 40 Pravá strana vstřikovací formy	55
Obr. 41 Levá strana vstřikovací formy	56

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti polypropylenu PH 49 GF 20 [30].....	42
Tab. 2 Parametry stroje ALLROUNDER 720 S GOLDEN EDITION [31]	43

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Výkresová dokumentace formy:

- Sestavy formy a boční pohled s vyznačenými řezy
- Pravý pohled do dělicí roviny
- Levý pohled do dělicí roviny
- Kusovník

P II: CD DISK