

# Návrh vstřikovací formy

Bc. Petr Kolář

---

Diplomová práce  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

\*\*\*nascannované zadání s. 1\*\*\*

\*\*\*nascannované zadání s. 2\*\*\*

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu. Tento díl je kryt na zásuvku pro třífázový proud.

V teoretické části byla shrnuta problematika vstřikování ve třech samostatných kapitolách. První kapitola je věnována přehledu základních typů vstřikovacích strojů a jejich základních částí. Následující kapitoly popisují konstrukci vstřikovaných výrobků a forem na jejich výrobu.

V praktické části byla navržena vstřikovací forma pro zadaný díl. Ke konstrukci bylo využito normálí firmy Hasco. Pro výrobu dílu byl určen odpovídající vstřikovací stroj. V poslední části je provedena analýza vstřikovacího procesu.

Klíčová slova: vstřikovací forma, vstřikování, polymer

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the construction of injection mould to process a plastic component part. This part is canopy on drawers for three phase current.

In theoretical part was summary problems injection in frictional independent chaps. First chapter is presentation survey standard type injection machine and their body. Following chaps describe construction inject produce and forms on their production.

On practically parts was designed injection valve form for engaged part. To construction was utilize standards company Hasco. For production part was identified corresponding injection machine. At last parts is fulfilment analysis injection valve of the process.

Keywords: injection, injection mold, polymer

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Štěpánu Šandovi za odborné vedení, rady a připomínky, věnované mé diplomové práci.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>10</b>
1.1 PRINCIP VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....	10
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	11
1.2.1 Vstřikovací jednotka .....	11
1.2.2 Uzavírací jednotka .....	13
<b>2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ</b> .....	<b>15</b>
2.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU .....	15
2.2 TLOUŠŤKA STĚN .....	15
2.3 VÝSTUŽNÁ ŽEBRA .....	15
2.4 ZAOBLENÍ HRAN, ROHŮ A KOUTŮ .....	16
2.5 ÚKOSY A PODKOSY.....	16
2.6 SMRŠTĚNÍ MATERIÁLU VÝSTŘIKU.....	16
2.6.1 Výrobní smrštění .....	16
2.6.2 Dodatečné smrštění .....	17
2.6.3 Fyzikální příčiny smrštění.....	17
2.6.4 Vliv technologie na smrštění.....	20
2.6.5 Vliv tvaru výrobku na smrštění.....	22
<b>3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM</b> .....	<b>23</b>
3.1 ZPŮSOB ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU .....	23
3.2 NÁSOBNOST FORMY .....	23
3.3 ROZMĚRY A POVRCH TVAROVÉ DUTINY .....	24
3.4 ŘEŠENÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY .....	25
3.4.1 Studený vtokový systém .....	26
3.4.2 Horký vtokový systém .....	31
3.5 ZPŮSOB TEMPERACE.....	33
3.5.1 Zásady pro určení systému temperančních kanálů.....	34
3.5.2 Temperační prostředky.....	34
3.5.3 Chlazení desek a tvárnic.....	35
3.5.4 Chlazení tvárnků .....	35
3.6 ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY .....	37
3.7 VOLBA VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU .....	38
3.7.1 Mechanické vyhazování.....	38
3.7.2 Pneumatické vyhazování.....	40
3.7.3 Hydraulické vyhazování.....	40
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>41</b>
<b>4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>42</b>

<b>5</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO KRYT ZÁSUVKY .....</b>	<b>43</b>
5.1	PROGRAMY VYUŽITÉ PRO NÁVRH A KONSTRUKCI FORMY .....	43
5.2	CHARAKTERISTIKA VÝROBKU A JEHO MATERIÁLU .....	43
5.3	VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	45
5.3.1	Násobnost formy .....	45
5.3.2	Zaformování výstřiku .....	45
5.3.3	Vtokový systém .....	46
5.3.4	Tvarové části formy .....	46
5.3.5	Odvzdušnění .....	47
5.3.6	Temperační systém .....	48
5.3.7	Odformování .....	49
5.3.8	Vyhazovací systém .....	50
5.3.9	Vodící a upínací elementy .....	51
5.3.10	Sestava formy .....	51
5.4	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	53
<b>6</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>	<b>55</b>
6.1	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	55
6.2	UMÍSTĚNÍ VTOKU .....	56
6.3	ČAS PLNĚNÍ .....	57
6.4	UZAVÍRACÍ SÍLA .....	57
6.5	TLAK V MÍSTĚ VSTŘIKU .....	58
6.6	VZDUCHOVÉ KAPSY .....	59
6.7	STUDENÉ SPOJE .....	60
6.8	CELKOVÁ DEFORMACE VÝSTŘIKU .....	60
6.9	TEPLOTA NA ČELE TAVENINY .....	61
6.10	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE A SMYKOVÉ NAPĚTÍ NA STĚNĚ .....	62
6.11	INDEX PROPADLIN .....	62
6.12	ČAS ZCHLAZENÍ VÝROBKU A ZATUHLÁ VRSTVA .....	63
6.13	TEPLOTA CHLADÍCÍHO MÉDIA V CHLADÍCÍM OBVODU .....	64
6.14	EFEKTIVITA ODVODU TEPLA Z CHLADÍCÍHO OBVODU .....	65
6.15	OBJEMOVÝ PRŮTOK A REYNOLDSOVO ČÍSLO V CHLADÍCÍM OBVODU .....	65
	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>67</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>76</b>

## ÚVOD

Výroba a zpracování polymerních materiálů začíná již na přelomu devatenáctého a dvacátého století. Rozmach nejrůznějších zpracovatelských technologií můžeme zaznamenat až v druhé polovině století dvacátého.

S požadavky na design nových výrobků jsou rovněž svázány i jejich fyzikální i chemické vlastnosti. Pro vstříkované výrobky, které nemají uplatnění v technických aplikacích se využívají neplněné amorfní a semikrystalické polymery. V současné době, díky vývoji nových polymerů, je snaha nahrazovat jimi tradiční materiály v nejrůznějších průmyslových odvětvích. Nejvýznamnějšími zástupcem je automobilní a elektrotechnický průmysl. Na tyto materiály jsou kladeny mnohem větší požadavky. Zejména na jejich mechanické vlastnosti. Tyto požadavky ve značné míře uspokojují materiály plněné. Plněné materiály mají heterogenní strukturu v jejichž polymerní matici jsou volně rozptýleny částice z jiných materiálů jako např. krátká skleněná vlákna. Plniva u těchto kompozitů zvyšují tuhost, částečně pevnost, tvarovou stálost za tepla aj. Naopak snižují např. houževnatost nebo smrštění ve směru orientace vláken.

Polymerní materiály se zpracovávají různými zpracovatelskými postupy. Jednou z nejvíce využívaných technologií je vstříkování. Velké nároky na přesnost plastových výrobků vyžaduje věnovat zvýšenou pozornost výrobě nástrojů pro jejich zpracování. U technologie vstříkování je nástrojem vstříkovací forma. Dalším neméně důležitým hlediskem je volba vstříkovacího stroje a nastavení procesních podmínek. Vstříkovací stroje jsou vyráběny v několika konstrukčních provedeních, které umožňují nastavení velkých uzavíracích sil i rychlostí plastikace polymerních materiálů.

Konstrukce a samotná výroba jsou velmi finančně i časově náročné. Jednou z možností jak oba tyto prvky optimalizovat je použití normálí od firem, které se jejich výrobou zabývají. Návrh a výroba vstříkovaného výrobku a nástroje (vstříkovací formy) 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.



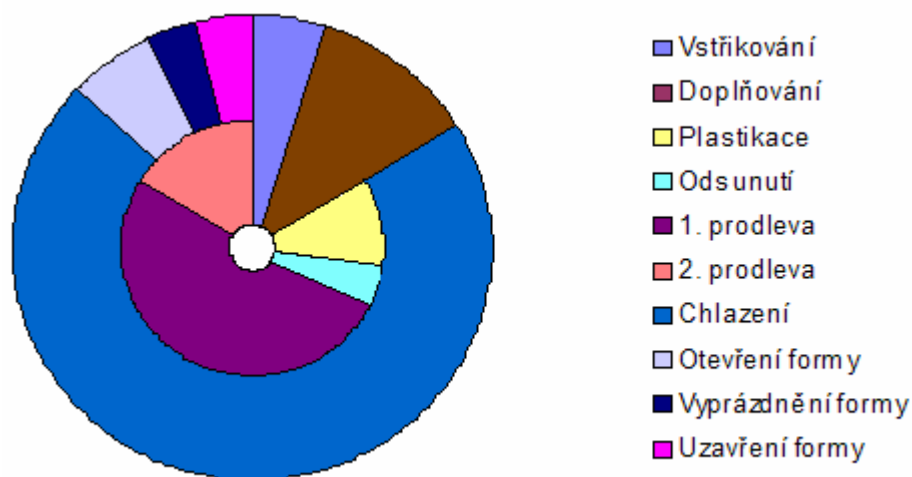
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Je jeden ze způsobů tváření polymerů, při kterém je potřebná dávka zpracovávaného materiálu zplastikována v plastikační jednotce stroje a následně pod tlakem vstříknuta do dutiny uzavřené formy, kde za daných procesních podmínek zchladne. Po otevření formy je vzniklý výrobek odformován, následuje uzavření formy. Vstřikování je tedy diskontinuální tvářecí proces, který se automaticky opakuje dle zadaných procesních podmínek. [5]

## 1.1 Princip vstřikovacího procesu

Vstřikovací cyklus se skládá ze dvou hlavních oblastí. Jedna se vztahuje k plastikační jednotce, druhá k formě. Forma se uzavře pomocí uzavírací jednotky. K uzavřené formě se přisune plastikační jednotka, ze které se vstříkne zplastikovaný materiál do dutiny formy. Doba, po kterou se dutina formy plní, se nazývá doba plnění. Po zaplnění dutiny formy působí na materiál tlak, který označujeme jako dotlak. Dotlak bývá stejný nebo nižší než vstřikovací tlak a doba působení se nazývá doplňování. Doba doplňování je omezena zatuhnutím vtokového systému. Po zatuhnutí vtokového systému se odsune plastikační jednotka do původní polohy a plastikuje se nová dávka polymeru. Cyklus pokračuje chlazením, které zpravidla končí ochlazením výrobku na vyhazovací teplotu, kdy se forma otevře a výrobek se vyjme. Cyklus se opakuje. Vstřikovací cyklus a je zobrazen na obrázku (obr.1).[3], [4]



Obr.1 Princip vstřikovacího procesu

## 1.2 Vstříkovací stroj

Základní parametry vstříkovacího stroje:

- *maximální vstříkovaný objem výstřiku*, je objem včetně vtokových zbytků, který lze vyrobit na jeden pracovní cyklus
- *plastikační kapacita*, udává množství plastu v kilogramech, které lze na daném stroji převézt do taveniny vyhovující kvality za hodinu
- *vstříkovací tlak*, je tlak, který dokáže stroj vyvinout
- *uzavírací síla*, je síla potřebná k uzavření formy a následnému udržení v uzavřeném stavu při vstříkování

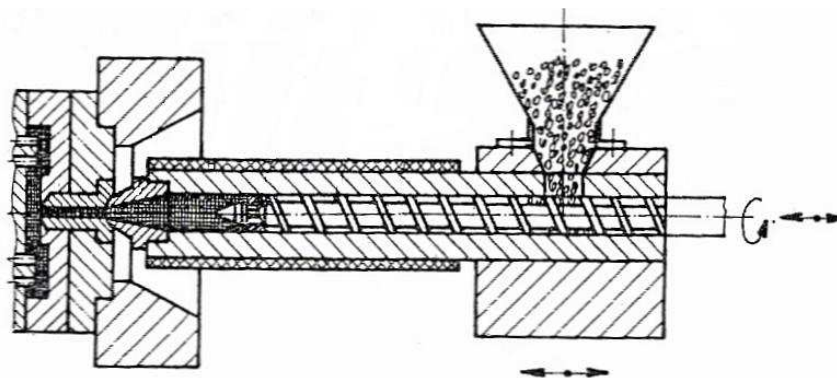
Vstříkovací stroje mají nosnou konstrukci obvykle sloupovou. Menší stroje pak dvousloupovou, větší čtyřsloupovou. Nosné sloupky spojují jednotlivé části stroje a zároveň slouží jako vedení jeho pohyblivých částí. Stroj se skládá ze dvou základních konstrukčních celků; a to vstříkovací a plastikační jednotky. [5]

### 1.2.1 Vstříkovací jednotka

Jejich funkce spočívá v dokonalé plastikaci a homogenizaci taveniny a vyvinutí vstříkovacího tlaku.

#### *Vstříkovací jednotka bez předplastikace*

Ve vstříkovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavící komoře nebo v pracovním válci. Podle toho rozlišujeme pístovou nebo šnekovou plastikaci. [5]



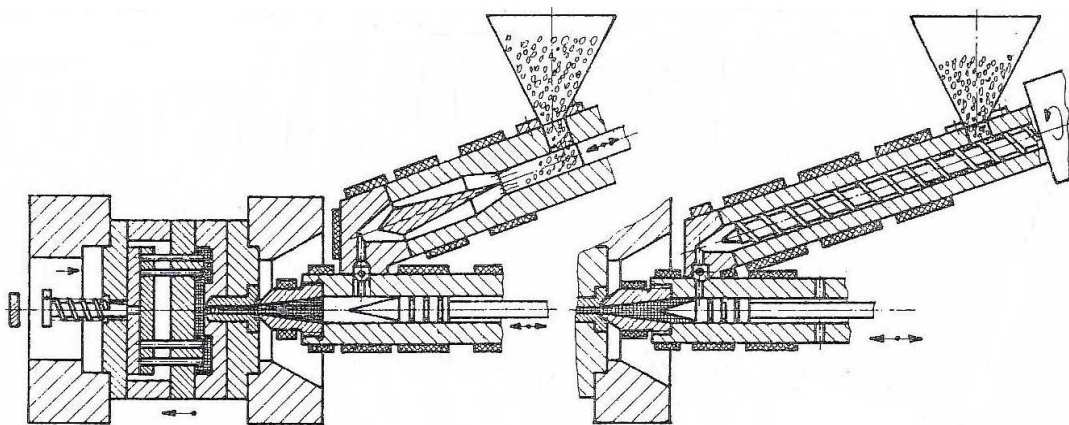
Obr.2 Jednotka bez předplastikace [5]

Při pístové plastikaci se dávkuje zpracováváný materiál dávkovacím zařízením do tavicí komory, kde se roztaví a tavenina se vstříkne pomocí pístu do komory. Výhodou vstřikovacích jednotek s pístovou plastikací je jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstřikovacích tlaků. Nevýhodou je horší homogenizace taveniny. [5]

U vstřikovací jednotky se šnekovou plastikací vstupuje zpracováváný materiál z násypky do pracovního válce. V pracovním válci se šnekem plastikuje, homogenizuje a dopravuje před čelo šneku. Šnek se otáčí a zároveň posouvá směrem dozadu, čímž vytváří prostor pro taveninu. Jakmile je v pracovním válci dostatečné množství taveniny, je tato tavenina následně vstříknuta do dutiny formy. [5]

Hlavní výhodou tohoto konstrukčního provedení je mnohem lepší homogenizace taveniny. Nevýhodou je, že tímto způsobem nelze zpracovávat materiály, které mají při namáhání na smyk sklon degradaci. [5]

### *Vstřikovací jednotka s předplastikací*



*Obr.3 Jednotka s předplastikací [5]*

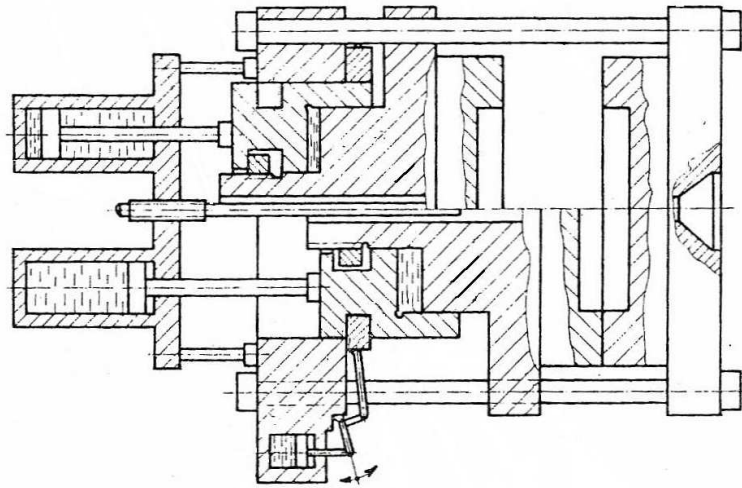
Rozdělení vstřikovací jednotky na část vstřikovací a část plastikační umožňuje zajistit dostatečný plastikační výkon a také dokonalou homogenitu taveniny. Polymer se plastikuje v oddělené plastikační jednotce a takto připravená tavenina se dopravuje do vstřikovacího válce, odkud se pak vstříkne pístem do dutiny formy. Na obrázku (*obr.3*) můžeme vidět, že předplastikace může probíhat jak v plastikační komoře, tak v pracovním válci. Jedná se o tzv. pístovou respektive šnekovou plastikaci. Vstřikování naopak zajišťuje vždy vstřikovací píst, protože je v porovnání se šnekem efektivnější. [5]

### 1.2.2 Uzavírací jednotka

Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotky na hydraulické, hydraulickomechanické a elektromechanické.

#### *Hydraulická uzavírací jednotka*

Konstrukce této jednotky spočívá v přenášení sil tlakového média na píst, jenž se pohybuje ve válci. Výhodou hydraulického uzavíracího ústrojí je jeho konstrukční jednoduchost a snadná regulace velikosti uzavírací síly. Nevýhodou je obtížnější těsnění hlavních pístů. [5]

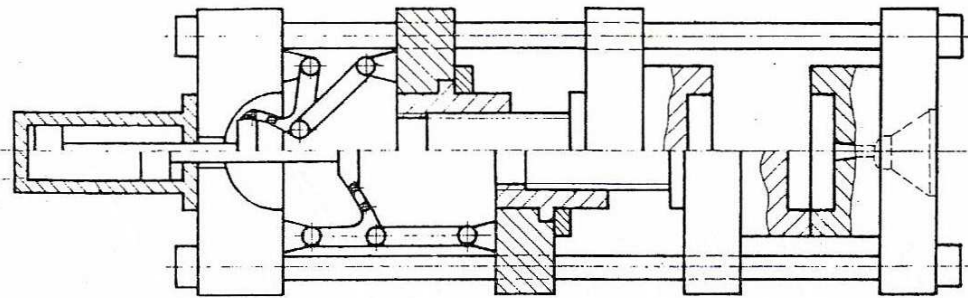


*Obr.4 Hydraulická uzavírací jednotka [5]*

Další variantou je hydraulická jednotka s mechanickým závorováním. Tato jednotka odstraňuje nevýhody klasického hydraulického systému. Jak je vidět na obrázku (*obr.4*), vzniká mezi pohyblivou částí a základovým rámem při uzavření formy tuhé spojení, což v danou chvíli nahradí uzavírací sílu tlakového válce. Výhody tohoto uspořádání vyniknou u velkých vstřikovacích strojů, kde je potřeba vyvinout velkých uzavíracích sil. [5]

#### *Hydraulickomechanická uzavírací jednotka*

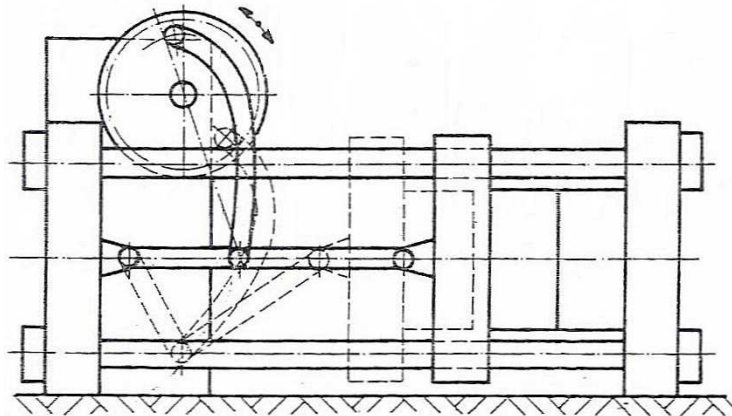
K vyvození velkých uzavíracích sil je zapotřebí, aby hydraulické válce měli dostatečně velký průměr, což je v mnoha případech obtížně řešitelné. Proto byl vyvinut systém, kde uzavírací sílu vyvozuje malý hydraulický válec přes systém pákových převodů. Princip je vidět na obrázku (*obr.5*). [5]



Obr.5 Hydraulickomechanická uzavírací jednotka [5]

### **Elektromechanická uzavírací jednotka**

Hydraulické jednotky jsou velmi energeticky náročné. To vede ke snaze nahradit hydraulickou jednotku elektrickým pohonem, který ovládá klikový mechanismus. [5]



Obr.6 Elektromechanická uzavírací jednotka [5]

Účinnost elektromotoru je dána jeho konstrukcí a způsobem provozu (pohybuje se v rozmezí 0,85-0,95). K výhodám elektromechanických uzavíracích ústrojí patří jejich konstrukční jednoduchost, vysoká uzavírací rychlost a snadná automatizace celého vstřikovacího cyklu. [5]

## 2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Konstrukce vstřikovaného výrobku je důležitým předpokladem nejen pro ekonomičnost výroby, ale i pro dosažení optimální rozměrové přesnosti a správnou funkci výrobku v provozních podmínkách.

### 2.1 Zaformování výstřiku

Správné zaformování vstřikovaného výrobku má usnadnit jeho vyhazení z dutiny formy. Dělicí plochy jsou většinou kolmé na směr uzavírání formy. Nedovření, případně pootevření (dýchání) formy v dělicí rovině během fáze plnění a dotlaku má za následek narůstání rozměrů ve směru uzavírání formy nebo vznik nežádoucích přetoků. [3]

### 2.2 Tloušťka stěn

Při určování tloušťky stěny výstřiků se musí vedle funkčního hlediska přihlížet i k zatékavosti plastu a k délce dráhy toku. Vyhovují-li z konstrukčních a funkčních důvodů tenčí stěny, je nutno provést úpravu technologických podmínek např. použít typ plastu s vyšším ITT, zvýšit teplotu formy nebo taveniny, použít vícenásobných vtoků. [3]

Velké rozdíly v průřezu výstřiků mají za následek rozdíly ve smrštění. To vyvolává především u pružných plastů deformace. Kromě toho musíme počítat při rozdílech v tloušťce stěn s propadlinami a lunkry. Stejně potíže vznikají i v místech, kde se nahromadí polymer. Tam je nutno provést vybrání. Dojde-li přitom ke snížení tuhosti, je nutno v těchto místech navrhnout výstužná žebra. [3], [4]

### 2.3 Výstužná žebra

Výstužná žebra by měla být navrhována ve směru toku taveniny. Žebra mohou plnit funkci konstrukční nebo technologickou. Konstrukční mají vliv zejména na tuhost a pevnost výrobku. Technologická napomáhají toku taveniny. Příliš masivní žebra způsobují propadání materiálu na protilehlém povrchu, vznik vzduchových bublin nebo deformace vzniklé vlivem vnitřního pnutí. Případné povrchové vady vzniklé v důsledku umístění žeber lze eliminovat změnou povrchu na výrobku, např. vytvoření dezénu. Je lépe vytvářet více menších žeber než několik masivních. [3], [4]

## 2.4 Zaoblení hran, rohů a koutů

V místech, kde se stýká několik ploch nebo kde dochází ke změně toku taveniny, je nutné hrany, rohy a kouty zaoblit. Tím se podstatně sníží odpor proti tečení polymeru v dutině formy a zvýší se působení vstřikovacího tlaku. V praxi to znamená, že se zaoblením nepřímo ovlivňuje smrštění. Rázová houževnatost vstřikovaného výrobku se tím zvýší až o padesát procent. Mimo to se také usnadní vyhození výstřiku z formy a tím se sníží nebezpečí vnesení dalších nežádoucích deformací a napětí při vyhazování. [3], [4]

## 2.5 Úkosy a podkosy

Jedná se hlavně o úkosy stěn ve směru vyjímání výstřiku z formy nebo vysouvání jader, vyšroubování závitových trnů apod. Technologické úkosy se nedělají jen u hlavních ploch, ale i u nálitků, žeber, v otvorech atd. [3]

Míra zkosení, tedy rozdíl mezi rozměrem, kde úkos začíná a rozměrem, kde úkos končí, je ve skutečnosti součástí tolerance daného rozměru a je třeba s ním vždy počítat. Velikost zkosení je závislá především na druhu polymeru, velikosti a tvaru výrobku a na řešení vstřikovací formy. Běžně jsou předepisovány úkosy  $30' - 2^\circ$ . Na výkresu výrobku musí být také jednoznačně stanoveno, kterým směrem bude úkos proveden ve vztahu ke kótě rozměru, tzn. zda se míra zkosení musí přičíst nebo odečíst od jmenovitého rozměru. [3], [4]

## 2.6 Smrštění materiálu výstřiku

Smrštění plastu proti formě je objemová změna vyvolaná fyzikálními nebo chemickými ději, které probíhají při procesu vstřikování. Projevuje se hlavně v průběhu tuhnutí taveniny polymeru a v čase bezprostředně následujícím po vyjmutí výrobku z formy. [3], [4]

### 2.6.1 Výrobní smrštění

Výrobní smrštění je rozdíl mezi rozměrem tvarové dutiny formy a odpovídajícím rozměrem výrobku, vyjádřený v procentech z rozměru formy. [3], [4]



### 2.6.2 Dodatečné smrštění

Dodatečné smrštění bývá několikanásobně menší, než výrobní smrštění vznikající při ochlazování ve formě. Probíhá delší dobu, zpravidla týdny až měsíce. Příčina tohoto jevu je pozvolné uvolňování vnitřního pnutí vznikajícího ve výrobku při vstřikování. [3], [4]

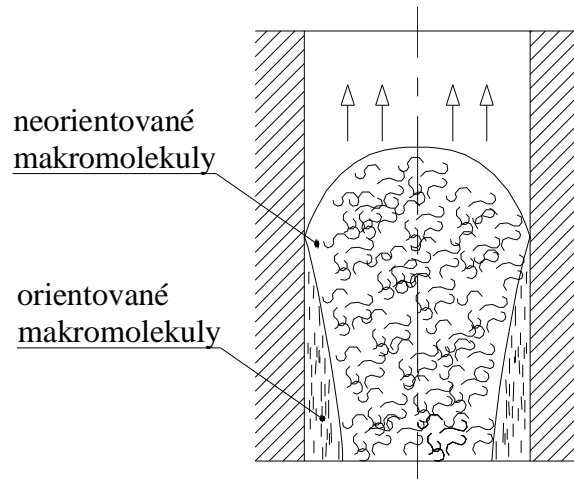
### 2.6.3 Fyzikální příčiny smrštění

Velikost měrného objemu taveniny polymeru je v důsledku relativně vysoké teplotní roztažnosti plastů vždy podstatně větší než velikost měrného objemu polymeru, v pevném skupenství. Teplotní roztažnost plastů se vyjadřuje pomocí středního součinitele délkové teplotní roztažnosti  $\alpha$ , který udává změnu délkové jednotky zkoušené látky při změně teploty o 1°C. Tento součinitel však není konstantou, ale je funkcí teploty. V oblasti teploty skelného přechodu  $T_g$  dochází k výrazné změně hodnoty  $\alpha$ , a tím i k větším změnám rozměrů. Pod teplotou  $T_g$  mají makromolekuly polymeru omezenou pohyblivost a nižší teplotní roztažnost než nad touto teplotou, kdy v důsledku tzv. Brownova mikropohybu dochází k zvýšené pohyblivosti segmentů makromolekul. U semikrystalických termoplastů klesá teplotní roztažnost s rostoucím krystalickým podílem ve struktuře, ale zároveň se zvětšují hodnoty smrštění. Výsledný rozptyl rozměrů výstřiku je tudíž větší. Teplotní roztažnost a tím i smrštění je ovlivňováno strukturou plastu, která je charakterizovaná několika základními vlastnostmi (orientace, vnitřní pnutí, krystalinitou). [3], [4]

#### ***Orientace***

Nachází-li se polymer ve viskózně tekutém stavu, mohou se jednotlivé makromolekuly relativně volně pohybovat a zaujímat tak energeticky nejvýhodnější polohu. Účinkem vnějších sil, např. smykovým namáháním taveniny při vstřikování, dochází k rozvinutí původně neuspořádaných makromolekulárních řetězců a k jejich vyrovnání v jednom směru. Ochladí-li se takto deformovaná molekulová struktura, znemožní se jejich navrácení do původního stavu a v příslušné části výrobku vznikne energeticky nestabilní orientovaná struktura. [3], [4]

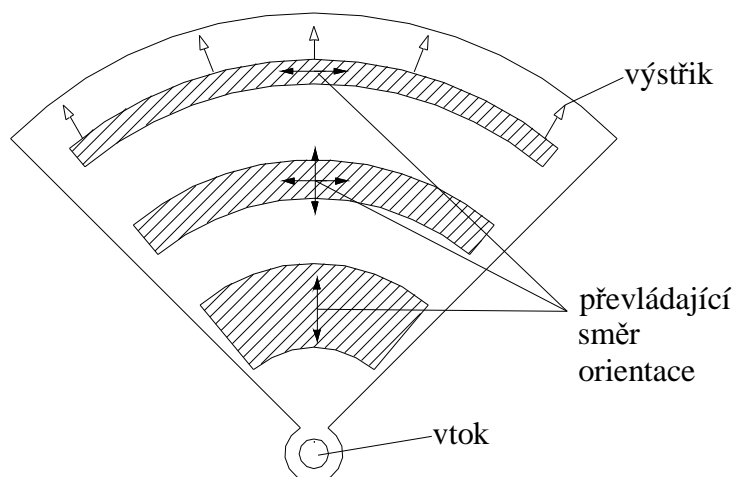
Důsledkem orientace je vznik anizotropie vlastností výrobku mj. anizotropie teplotní roztažnosti a anizotropie smrštění. Anizotropie je charakterizována rozdílem smrštění ve směru toku a smrštění ve směru kolmém na tok taveniny. [3], [4]



Obr.7 Tok polymerní taveniny [3]

K největší orientaci dochází v místě největšího gradientu smykových rychlostí, tzn. na rozhraní mezi povrchovou vrstvou a sousedící vrstvou, která je od chladné stěny formy ztuhlou vrstvou polymeru izolována (obr.7). Nejmenší orientace je ve středu výstřiku, kde měly makromolekuly vzhledem k pomalému ochlazení možnost návratu do původního neuspořádaného stavu. Po naplnění dutiny následuje doplňování taveniny, čímž vzniká další podélná orientace. Tato orientace však už nemá možnost relaxace vlivem vysoké viskozity. Vzniká tím druhé orientační maximum, které je blízko ústí vtoku a ve středu výstřiku. [3]

Při náhlém zvětšení průřezu dochází k roztažení čela taveniny i ve směru kolmém na směr toku. Ochladíme-li protažené částičky pod teplotu vzniku viskózního toku, dojde k zmrazení deformovaného stavu a ve výstřiku vznikne v příslušné oblasti dvouosá orientace. Směr orientace v různých místech výstřiku znázorňuje obrázek (obr.8). [3], [4]



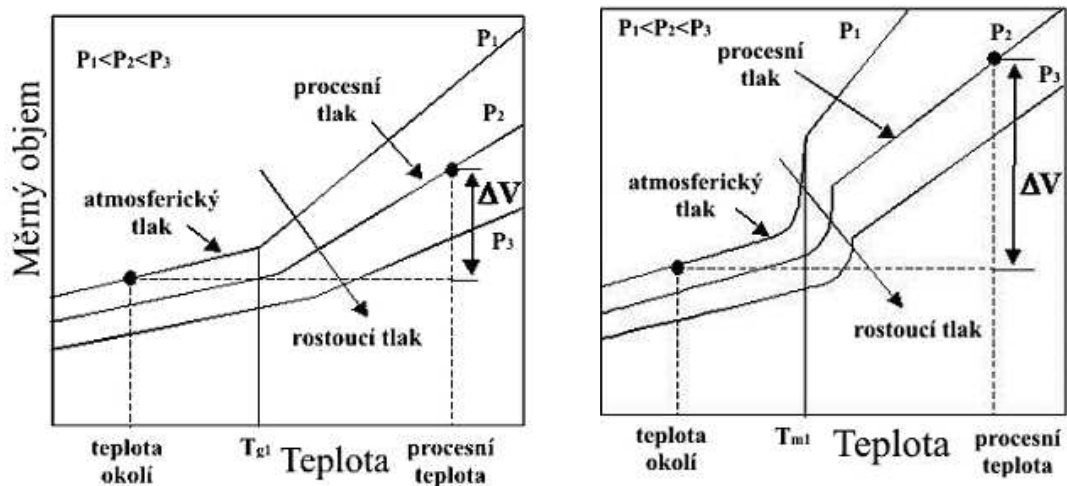
Obr.8 Orientace makromolekul [3]

### **Vnitřní pnutí**

Vnitřní pnutí je stav napjatosti ve výstřiku, který je vyvolán deformacemi makromolekul polymeru vlivem nerovnoměrných objemových změn. Tyto změny vznikají vždy při tuhnutí taveniny. Vnitřní pnutí vzniká např. nerovnoměrným ochlazováním jednotlivých částí výstřiku. Povrch výstřiku tuhne dříve a jeho smrštění je v podstatě ukončeno v čase, kdy se střed nachází ve viskózně tekutém stavu. Tekuté jádro tudíž tuhne a smršťuje se v pevné „slupce“, která může podléhat jen elastickým deformacím. Ve středu výstřiku vzniká tahové pnutí, zevně pak tlakové. Pokud je tuhost výrobku menší než je silový účinek vnitřního pnutí, dochází k rozměrovým a tvarovým změnám ihned po vyjmutí z formy. Je-li tuhost výrobku větší, dochází k uvedeným změnám až po tepelné úpravě, která se provádí většinou pod teplotou skelného přechodu  $T_g$ . Při temperování na teplotu  $T_g$  se relaxace pnutí značně urychlí, ale současně v orientovaných výstřicích z amorfních termoplastů dochází k značným tvarovým změnám v důsledku relaxace orientace. Výstřiky ze semikrystalických materiálů zachovávají svůj tvar díky krystalické mřížce i při teplotách relativně vysoko nad  $T_g$ , přesto se však díky přítomnému vnitřnímu pnutí také často deformují. [3], [4]

### **Krystalinita**

Semikrystalické polymery se od amorfních liší rozdílným chováním při změnách teploty za působení tlaku, mění se také jejich měrný objem. Toto popisuje pvT digram (obr.9).

Obr.9  $p-vT$  diagram [6]

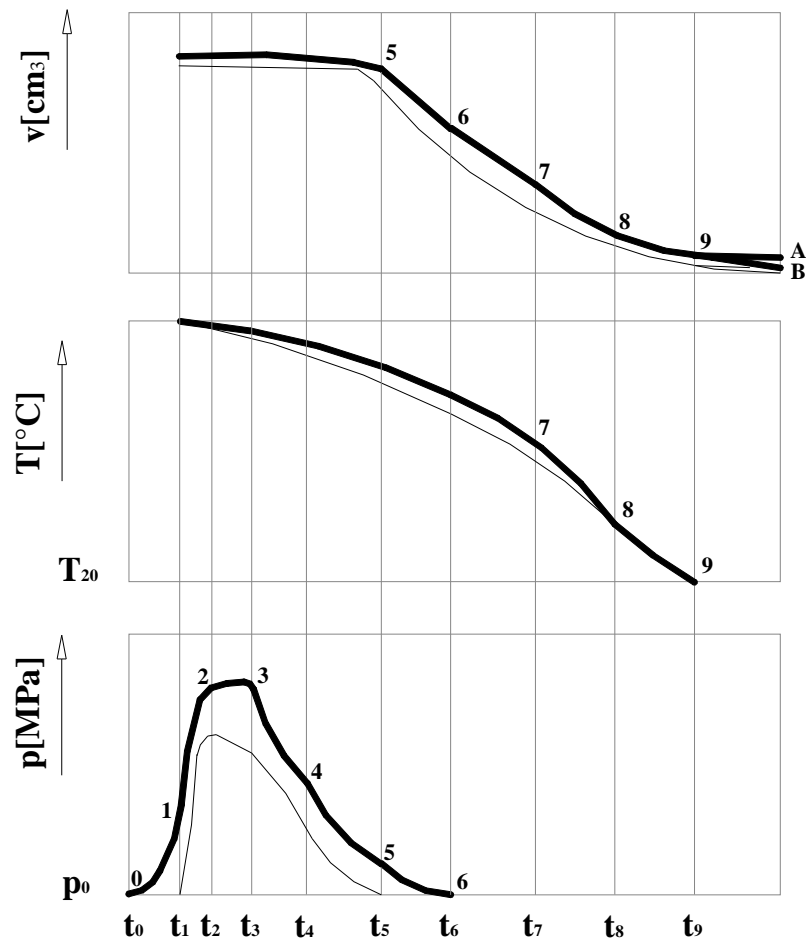
Při zahřívání výrobku ze semikrystalického termoplastu dochází ve dvou oblastech k náhlému zvětšení měrného objemu a změnám fyzikálních vlastností. Jsou to:

- Teplota skelného přechodu  $T_g$ , kdy amorfni fáze semikrystalického polymeru přechází ze sklovitého do kaučkovitého stavu, krystalická struktura a tím i tvarová stálost plastu však zůstává zachována. [3]
- Zahřátím až na teplotu tání  $T_m$  dochází k zániku krystalické struktury a tvarové stálosti výrobku. Polymer tak přechází z tuhého stavu do amorfni taveniny, což je doprovázeno dalším zvětšením měrného objemu. [3]

Smrštění semikrystalických termoplastů je vzhledem k většímu rozdílu mezi měrnými objemy roztaveného a tuhého polymeru větší než smrštění amorfni termoplastů. [3], [4]

#### 2.6.4 Vliv technologie na smrštění

Při plnění formy taveninou dochází v její tvarové dutině vlivem odporu k vzestupu tlaku. Od okamžiku zaplnění dutiny formy ( $t_f$ ) dojde k dalšímu vzestupu tlaku. [3], [4]



Obr.10 Vliv technologie na smrštění [3]

Chlédnoudcí tavenina se zhušřřuje polymerem doplňovaným z tavicí komory vstřikovacío stroje. V řše ( $t_2$ ) dosáhne tlak taveniny maximální hodnoty, následuje řepnutí na dotlak ( $t_3$ ) a pokles tlaku na úroveň dotlaku ( $t_4$ ). V řše ( $t_5$ ) zamrzne ustí vtoku, římž se řeruší spojení mezi dutinou formy a tavicí komorou. Nastane řáze dalšího plynulého poklesu tlaku až do řasu ( $t_6$ ), kdy se tlak v dutině formy vyrovná s tlakem okolí. [3], [4]

Do řasu ( $t_5$ ) odpovídají rozměry výstřiku v blízkosti ustí vtoku zhruba rozměrům dutiny formy. Od řasu ( $t_5$ ) začíná zmenšování rozměru výstřiku, které je z větší řásti ukončeno, jakmile se teplota výstřiku vyrovná teplotě okolí ( $t_9$ ). Čas potřebný k ochlazení výstřiku na teplotu okolí závisí kromě tepelné vodivosti termoplastu zejména na tloušřce stěn. [3], [4]

Velikost smrštění je dána velikostí měrného objemu  $v$ , jenž má výstřik v řase, kdy došlo k zamrznutí ustí vtoku. Čím je větší měrný objem v daném řase, tím větší bude smrštění a naopak. V místech vzdálenějších od ustí vtoku (*obr.10 - tenká řřivka*) je za řředpokladu stejné rychlosti ochlazování vždy nižší tlak a tím větší měrný objem. Při zamrznutí ustí

vtoku je proto měrný objem ve vzdálenějším místě větší než měrný objem v místě bližší ústí vtoku. [3], [4]

### 2.6.5 Vliv tvaru výrobku na smrštění

Vliv tvaru výrobku na smrštění je dán převážně jedním parametrem a tím je tloušťka. Při volbě optimální tloušťky stěny musíme respektovat řadu hledisek. Nejdůležitější bývají hlediska:

- funkční (pevnost, tuhost)
- výrobní (zatékavost polymeru, nebezpečí deformací, orientace a vnitřní pnutí)
- ekonomické (doba chlazení, spotřeba materiálu)

Celková geometrie výrobku je rovněž důležitým faktorem ovlivňující smrštění. Jádra zabraňují volnému smršťování polymeru a jsou proto příčinou toho, že smrštění vnitřních průměrů je vždy menší než smrštění průměrů vnějších. Dodatečné smrštění rozměrů s omezeným smrštěním je v důsledku uvolňování vnesených pnutí proto větší. Také anizotropie smrštění je značně ovlivňována tvarovými faktory. S rostoucí tloušťkou stěn se rozdíl mezi smrštěním ve směru toku a ve směru kolmém na tok taveniny zmenšuje. [3], [4]

### 3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Dnes používané vstřikovací formy jsou technicky poměrně značně komplikovaná zařízení, na která se kladou nemalé nároky z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby. Při hodnocení vlivu vstřikovací formy na přesnost výstřiků z termoplastů je třeba zaměřit se zejména na několik základních faktorů popsanych dále v textu. [4]

#### 3.1 Způsob zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí plochy náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. [1], [4]

Dělicí plocha (rovina) bývá zpravidla rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní i vedlejší dělicí plochy. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí ploše může způsobit nedovězení formy během plnění. To má za následek zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. [1], [4]

Proto je třeba, aby dělicí plocha:

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná
- probíhala v hranách výrobku
- byla umístěna taky, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a souosost výstřiku
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad
- u více dělicích ploch volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet

#### 3.2 Násobnost formy

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, jako i velkorozměrové výstřiky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. [1], [4]

Optimální násobnost vstřikovací formy je ovlivněna zejména:

- rozměry a hmotností výstřiků

- kvalitou a přesností výstřiků
- typem vstřikovacího stroje
- rozsahem a ekonomičností výroby

Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší, protože se tím zjednoduší konstrukce formy, vyloučí se rozdíly v teplotách a tlacích mezi jednotlivými dutinami formy. Je-li forma vícenásobná, pak má být násobnost volena tak, aby dráha toku taveniny ve vtokové soustavě a v dutinách formy byla u všech výstřiků stejně dlouhá. Nemůžeme-li z konstrukčního hlediska tuto podmínku dodržet, jsme nuceni provést korekci velikosti ústí vtoku, abychom docílili stejných tlakových poměrů v různých tvarových dutinách. Jinak v nich klesá se vzdáleností od vtoku tlak taveniny, což způsobuje vzestup smrštění a rozptylu rozměrů. [1], [4]

### 3.3 Rozměry a povrch tvarové dutiny

Důležitým úkolem při konstrukci vstřikovací formy je stanovit správné rozměry a tolerance tvářecích částí, tj. tvárníku, tvárnice, jader, tvarových vložek. Nejvyšší pozornost je ovšem kladena na rozměry jejich obrysů, které dávají výrobku tvar, a které tvoří po uzavření formy její tvarovou dutinu. [1], [4]

Pro výpočet těchto rozměrů a pro stanovení jejich tolerancí musíme respektovat faktory, které je ovlivňují. Jsou to zejména:

- výrobní smrštění polymeru a jeho rozptyl
- tolerance a mezní úchytky jednotlivých rozměrů tvářeného výrobku
- opotřebení činných částí formy

Přesnost výroby tvarových dutin tvářecích forem se pohybuje nejčastěji v rozmezí IT 8 - IT 10. Opotřebení formy se odhaduje na (0,03 – 0,06)mm podle druhu vstřikovaného plastu a materiálu formy. Ve vztahu k toleranci výrobku je nutno mít na paměti, že opotřebení formy nestejně ovlivňuje vnější a vnitřní rozměry. Sečtením obou hodnot (přesnost výroby a opotřebení formy) dostaneme zhruba IT 9 – IT 11, jako podíl formy na celkové toleranci výrobku. Tento podíl bývá odhadován přibližně na (10 – 40)% z celkové tolerance výrobku. U malých rozměrů je tento podíl větší než u výrobků velkých rozměrů. Dutina formy je určena nejen tvarem s příslušnými rozměry, ale také jakostí jejího povrchu. Zhotoví se



podle požadavku na povrch vyráběné součásti, protože její povrch je obrazem povrchu dutiny formy. [2], [4]

Povrch bývá vyráběn nejčastěji:

- *matný*, který je technologicky nejjednodušší. Běžně je výchozí plochou po elektroerozivním obrábění. Může se však vyrobit i jinými technologiemi (ruční úpravou, otryskáváním apod.). Podle požadované jakosti se obvykle stanoví i způsob jejího dokončení. [1]
- *lesklý*, vyžaduje poměrně nákladnou a náročnou operaci. Forma musí být vyrobena z kvalitní oceli a také technologie vstřikování musí být na vysoké úrovni. Dutina se leští různými mechanickými pomůckami, nebo elektrickými jednotkami s rotačním, přímočarým i planetovým pohybem, za pomoci správného brusného tělíska nebo brusné pasty. Stupeň lesku je třeba definovat (zrcadlový, vysoký lesk, atd.). [1]
- *dezénovaný* povrch nachází stále větší uplatnění. Nemá pouze estetický význam, ale zakrývá i některé drobné povrchové vady na výstřiku apod. Dezénovat se mohou všechny plochy rovinné i zakřivené, které jsou přístupné. Pro výběr vzorů jsou k dispozici vzorové destičky od různých technologií, podle kterých se dezén vyrábí. [1]

Nejčastější výrobní technologií dutiny formy je elektroerozivní obrábění. Hrubost obrobeného povrchu je nastavitelná elektrickými veličinami. Nejširší výběr dezénovaných vzorů umožňuje fotochemický způsob v leptací lázni. Nejjednodušší technologií výroby dezénu je otryskávání. Je však omezena tvarem povrchu i přesnější definicí vzoru. Čím jemněji je povrch opracován, tím se dosáhne kvalitnějšího dezénu. Široký rozsah výrobních možností úpravy povrchu formy, obvykle splňují požadavky na jakost povrchu výstřiku. Různé způsoby se mohou vzájemně kombinovat a tak dosáhnout požadovaného účelu. [1]

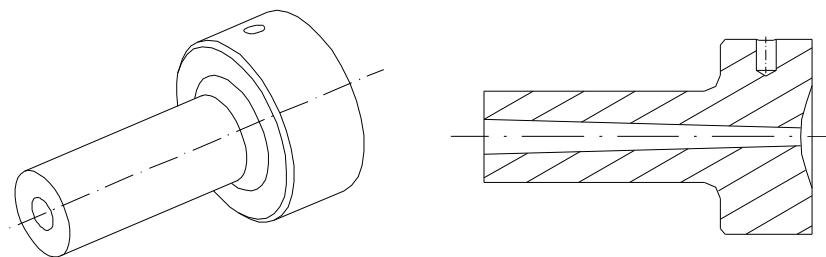
### 3.4 Řešení vtokové soustavy

Polymer roztavený v plastikační jednotce proudí tryskou do vtokové soustavy vstřikovací formy, jenž tvoří systém vtokových kanálů. Tyto kanály vedou k dutinám formy. Rozdíly v uspořádání vtokové soustavy jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. [3]

Při návrhu vtokové soustavy musíme respektovat některé pravidla, jež vycházejí z technologických požadavků při samotném vstřikování:

- dráha toku od vstřikovací trysky k dutinám formy má být co nejkratší, aby mohla být tavenina vstřikována co největší rychlostí,
- dráha toku ke všem dutinám formy má být stejně dlouhá,
- průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký, aby po naplnění formy zůstalo jádro vtokového kanálu dostatečně dlouho v plastickém stavu, to umožní efektivnost dotlaku jako kompenzaci při smršťování výstřiku,
- ústí vtoku má být umístěno tak, aby tavenina vtékala do nejtlustšího průřezu výstřiku a tekla k nejužšímu místu,
- pro přesné výstřiky jsou výhodnější plné vtoky, protože na rozdíl od bodových vtokových ústí nezamrzne předčasně (neznemožní efektivní průběh dotlaku),
- ústí vtoku má být rovněž co nejkratší, vhodná je délka (0,5 - 1,2)mm,
- dosedací plochy trysky a vtokové vložky spolu musí lícovat; jsou-li kulovité, musí být poloměr koule na trysce o (0,4 – 0,6)mm menší než na vtokové vložce. Dále průměr otvoru v trysce musí být rovněž menší (přibližně o 0,5 mm) než průměr otvoru ve vtokové vložce. Pokud to není dodrženo hrozí zatékání taveniny do dosedací plochy.

### 3.4.1 Studený vtokový systém



Obr.11 Vtoková vložka

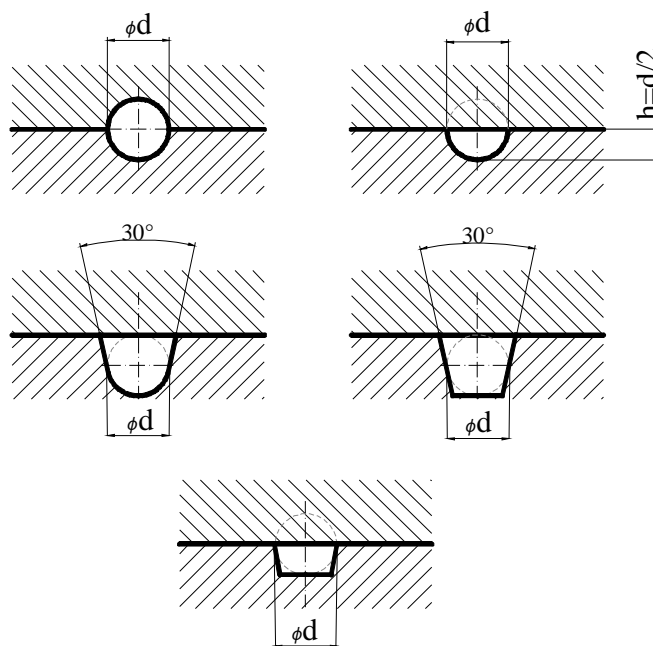
Studený vtokový systém vstřikovacích forem se skládá ze 3 hlavních částí: vtokový kanál, rozváděcí kanál, vtokové ústí.

Vtokový kanál je prvním článkem vtokového systému vstřikovací formy. Nejčastěji bývá kuželový, vytvořený uvnitř vtokové vložky (obr.11). Ústí přímo do dutiny formy nebo

navazuje na soustavu rozváděcích kanálů. V případě návaznosti na rozváděcí kanály musí být vložka zajištěna proti pootočení. Vtoková vložky se vyrábí z houževnaté oteřuvzdorné oceli a bývá tepelně zpracovaná.

### ***Rozváděcí kanál***

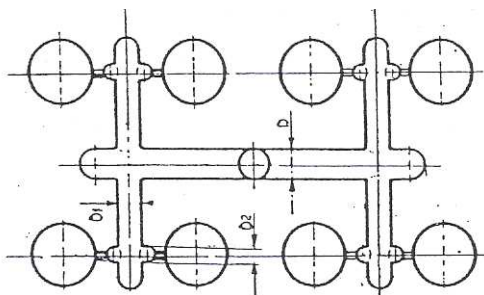
Jak již bylo uvedeno výše, musí být kvůli uplatnění dotlaku kanál dostatečně velký. Přitom však je třeba přihlížet ke spotřebě plastu. Kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez. Tím budou ztráty ochlazováním minimální. Této podmínce odpovídá kruhový průřez. [1], [4]



*Obr.12 Průřezy vtokových kanálů [1]*

Z výrobních důvodů se volí i jemu podobný tvar lichoběžníkový. Existuje několik základních typů průřezů (*obr.12*).

U vícenásobných forem je vhodné odstupňování velikosti průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny (*obr.13*). Tzv. vybalancování vtokového systému. [1]



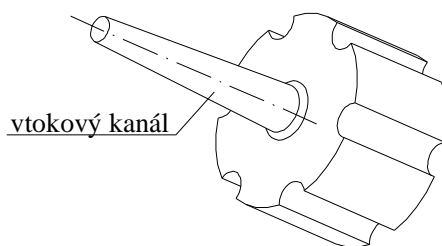
Obr.13 Odstupňování průřezů [1]

### Vtoková 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 vtoku a tím i vytváření povrchových defektů. [1], [4]

Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu, ale za předpokladu splnění identických podmínek kladených na rozváděcí kanál (tj. spotřeba polymeru, působení dotlaku). Délka ústí se volí co nejkratší. Při určování nejvhodnějšího vtokového ústí máme možnost volit z několika standardních typů:

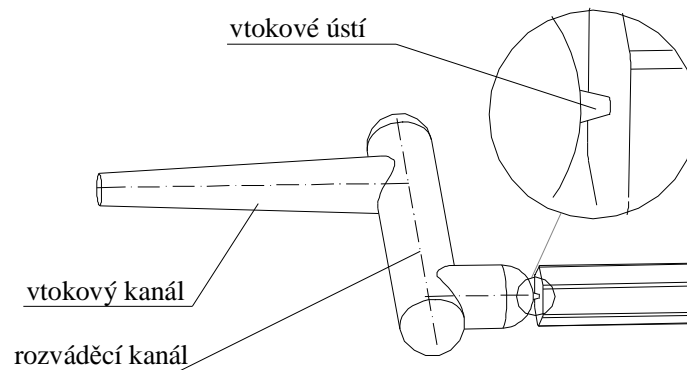
*Plný kuželový vtok* přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Je vhodný především pro tlustostěnné výstřiky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě poslední. Jeho odstranění je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku. Pro určení jeho průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny výstřiku. Pro menší tloušťky stěn výstřiku je vhodné vytvořit proti ústí čokovité zahloubení. [1]



Obr.14 Plný kuželový vtok

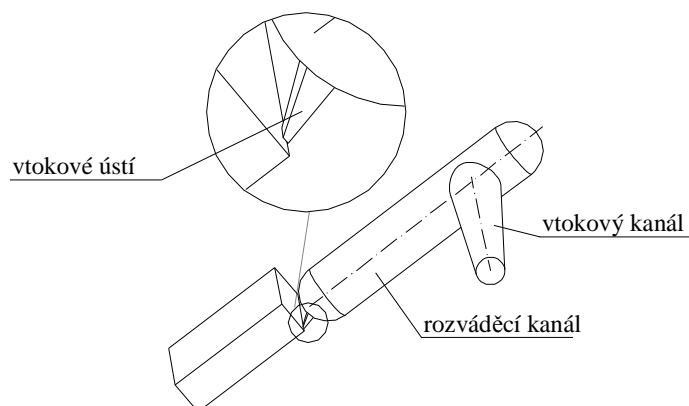
*Bodový vtok* je nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem. U tohoto

typu musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou. Ve zúženém místě dochází při odformování k odtržení vtokového zbytku od výstřiku. Utrhne se podle způsobu provedení vtokového ústí. [1]



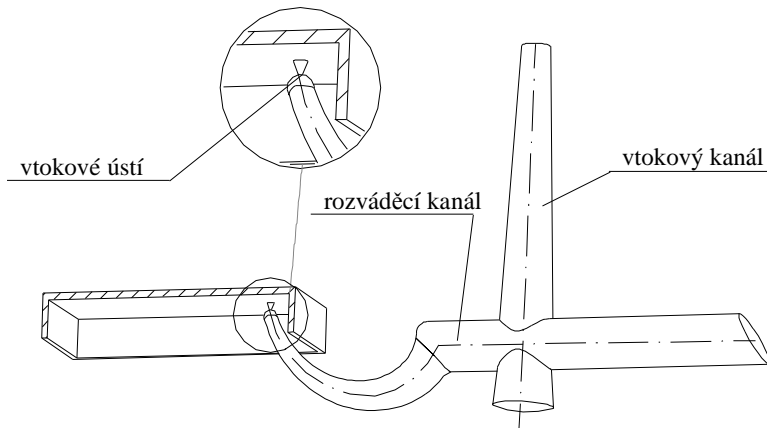
Obr.15 Bodový vtok

Tunelový vtok je zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výstřík. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části formy. Není proto nutné konstruovat formu s více dělicími rovinami. Předpokladem dobré funkce tunelových vtoků je existence ostré hrany, která odděluje při odformování vtokový zbytek od výstřiku. Oddělení vtokového zbytku se provádí buď při otvírání formy nebo při vyhazování výstřiku. Při konstrukci tunelového vtoku se nesmí zapomínat na přídržovač vtokového kanálu, obvykle kombinovaný s vyhazovačem. Jeho vzdálenost od ústí má být dostatečná (12 – 15)mm. Ostré hrany, které by mohly způsobit zalomení vtokového zbytku ve vtokovém ústí, je třeba zaoblit.



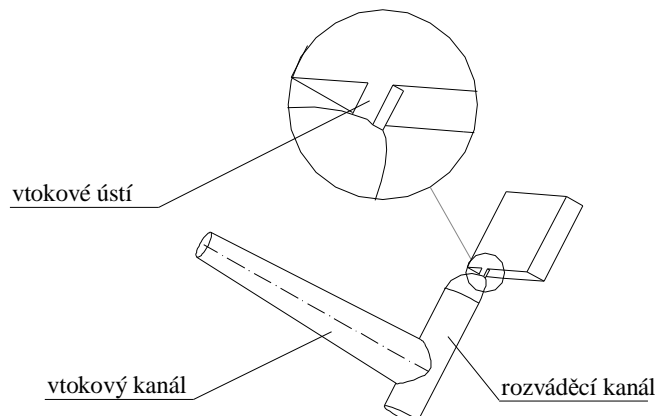
Obr.16 Tunelový vtok

Zvláštním typem tunelového vtoku je banánový vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve kterém nezpůsobuje pohledovou vadu. Nevýhodou je, že způsob odformování tohoto vtoku neumožňuje jeho použití pro křehké materiály.



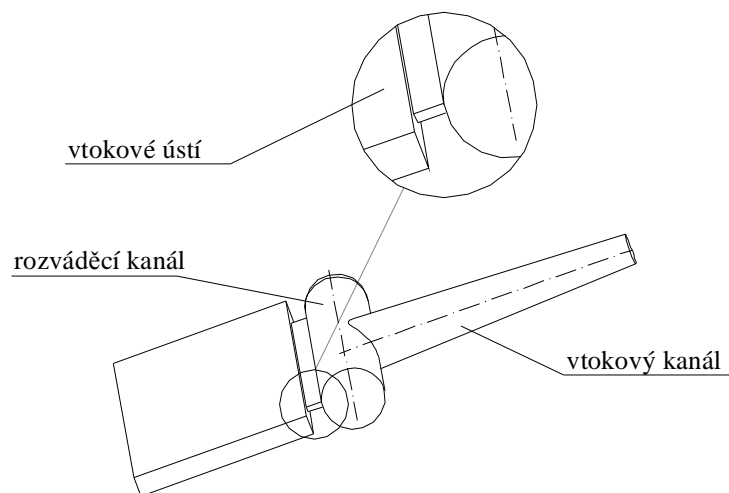
Obr.17 Banánový vtok

Boční vtok je také typem se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený, jeho oddělování se řeší zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. [1]

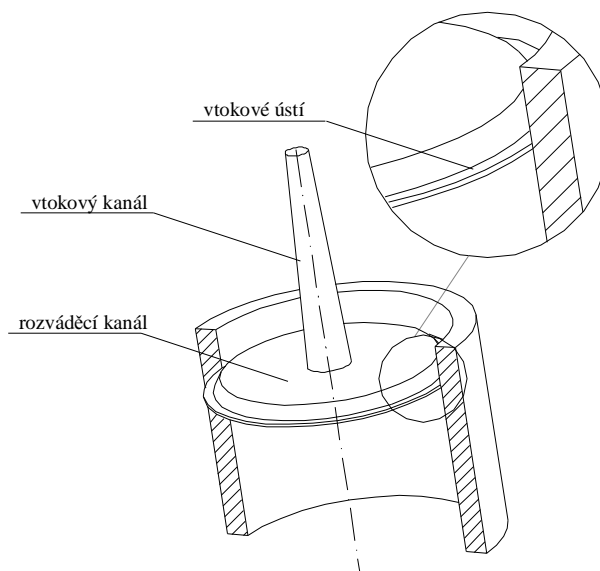


Obr.18 Boční vtok

Filmový vtok je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se ještě řadí vtoky diskové (obr.20), prstencové, deštníkové a další. [1]



*Obr.19 Filmový vtok*



*Obr.20 Diskový vtok*

### 3.4.2 Horký vtokový systém

Snaha po úsporách materiálu i práce vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se pomocí vyhřívaných vtokových soustav. Dříve než se došlo k současným typům, předcházela jim řada jednodušších systémů. Se zesílenými vtoky, izolovanými vtokovými soustavami s předkomůrkami a jinými druhy. [4]

### *Vyhřívání trysky*

Jejich konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný člunek i s regulací nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Výrazně umožňuje zlepšit technologické podmínky vstřikování.

Z hlediska konstrukce existují dva základní typy:

#### *Nepřímo vyhřívání trysky*

Vytápění je možné realizovat pomocí vyústění izolovaného rozvodu vtoku, které je charakterizováno miniaturním topným tělesem, jenž je zabudováno do ocelového pouzdra, jehož špička zasahuje do vyústění vtoku. U tohoto způsobu je nutné dodržovat poměrně rychlý pracovní cyklus. [1], [3]

Druhou možností realizace je přenos tepla z vyhřívání rozvodného bloku. Vyznačuje se přenosem tepla z vyhřívání rozvodů vtoků na trysku. Je dokonalejší oproti výše popisovaným systémům. Používá se pro vícenásobné formy. [1], [3]

#### *Přímo vyhřívání trysky*

V tryskách s vnějším topením tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je z tepelně vodivého materiálu. Při vstřikování abrazivních plastů je ocelový materiál legován molybdenem. Z vnějšku je kolem tělesa trysky umístěno topení. [1], [3]

V tryskách s vnitřním topením tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpédo), zhotovenou také z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. [1], [3]

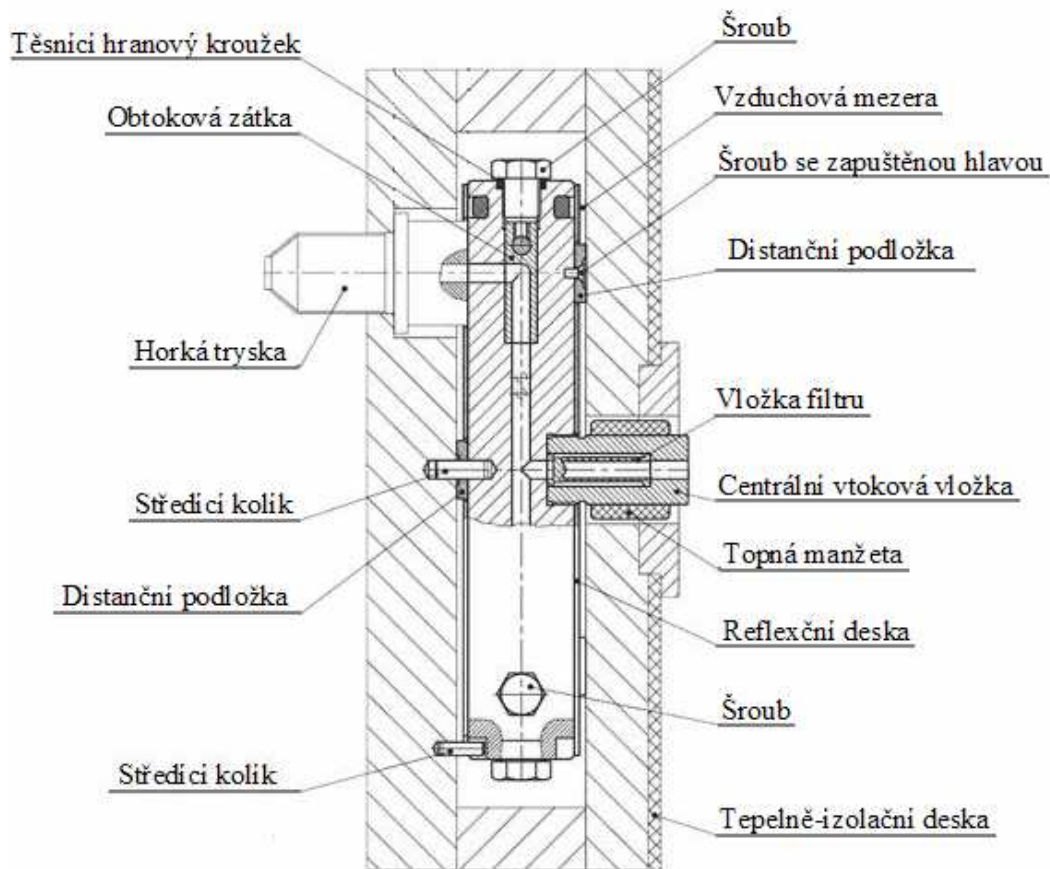
### *Vytápění rozvodové bloky*

Rozváděcí blok je vložen v mezidesce umístěné mezi tvarovou a upínací desku formy. Jsou v něm vyvrtány rozváděcí kanály, kterými proudí tavenina. Teplo přiváděné do bloku topnými elementy, vstupuje do taveniny stěnami rozváděcího kanálu. Mluvíme tedy o externím ohřevu (*obr.21*). V interním ohřevu je rozvodný blok vytápěn zevnitř topnými patronami nebo tavenina obtéká ohřívanou trysku a to buď vnějším nebo vnitřním topením. [4]

Nevýhodou tohoto vtokového systému je nutnost výpočtu délkové roztažnosti rozváděcího bloku, aby po zahřátí na provozní teplotu byly trysky přesně proti vtoku. To umožňuje použít jen bodové ústí malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných vý-



stříků. Součástí systému je regulace teploty vtokového systému i formy. Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu. [1]



Obr.21 Vytápěný rozvodný blok [8]

### 3.5 Způsob temperace

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. 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. Při každém vstřiku se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit opět při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu. Jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiku. [2], [4]

### 3.5.1 Zásady pro určení systému temperačních kanálů

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se předává nebo odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin se volí s ohledem na celkové řešení formy. 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 nebo opačně. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi než naopak.

### 3.5.2 Temperační prostředky

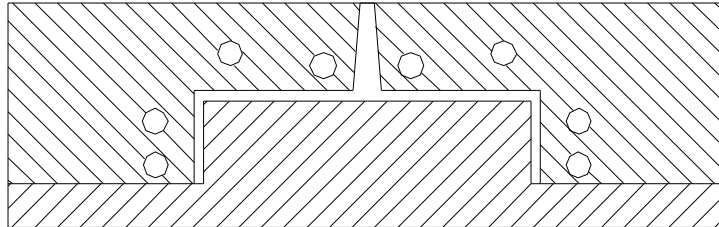
Jejich volba je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby výstřiků. Používají se obvykle ve vzájemné vazbě. [2], [4]

Tato média rozdělujeme na:

- *Aktivní*: působí přímo ve formě. Teplo do formy přivádí nebo naopak odvádí.
  - *kapaliny*: proudí nuceným oběhem temperačními kanály vytvořenými uvnitř formy. Dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. [2], [3]
  - *vzduch*: užívá se buď volného proudění (při odvodu tepla z povrchu formy a při chlazení tvarových částí po čas otevření formy) nebo nuceného proudění působením přetlaku či podtlaku. Vzhledem k malé účinnosti je opodstatněné pouze v případech, kdy použití kapaliny není pro nedostatek prostoru možné (chlazení tenkých tvárnků, jader a vyhazovačů). [2], [3]
  - *topné elektrické články*: využívají se především k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou v případě, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodané vstřikovaným plastem. Používají se většinou topné patrony a prstencová topná tělesa. [2], [3]
- *Pasivní*: svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy.
  - *tepelně izolační materiály*: používají se především k omezení přestupu tepla do upínacích desek a to v případě, kdy požadujeme vysokou teplotu formy, např.: Sklotextil ARV, Sklotextil SI, azbestocementové desky.
  - *tepelně vodivé materiály* se využívají k odvodu nebo přívodu tepla do míst, které můžeme jiným způsobem jen obtížně temperovat (tenké tvárnky, vtokové trysky). Používá se měď a její slitiny nebo hliník a jeho slitiny. Nejúčinnějším prostředkem jsou tzv. tepelné trubice. [2], [3]

### 3.5.3 Chlazení desek a tvárnic

Chlazení desek soustavou kanálů, kterými proudí chladicí médium, závisí především na jejich vhodném umístění a vzájemném propojení. Pomocí analýz, které nám ukáží ve kterých místech desky je třeba chladit, můžeme navrhnout efektivní způsob chlazení.



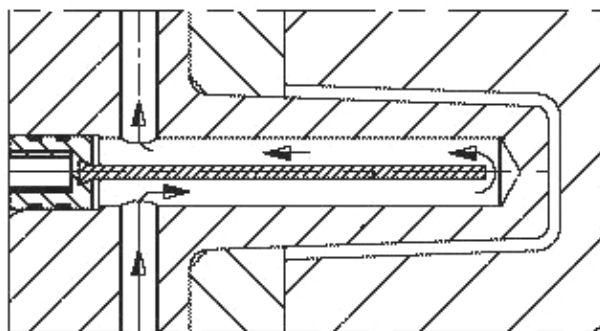
Obr.22 Chlazení tvárnic

Snahou je vytvořit rovnoměrné teplotní pole. Kanály se neumísťují v blízkosti hran výstřiku. Jejich minimální vzdálenost je dána pevností a tuhostí materiálu formy, a také konstrukčními možnostmi formy pro navrhovaný výrobek.

### 3.5.4 Chlazení tvárnků

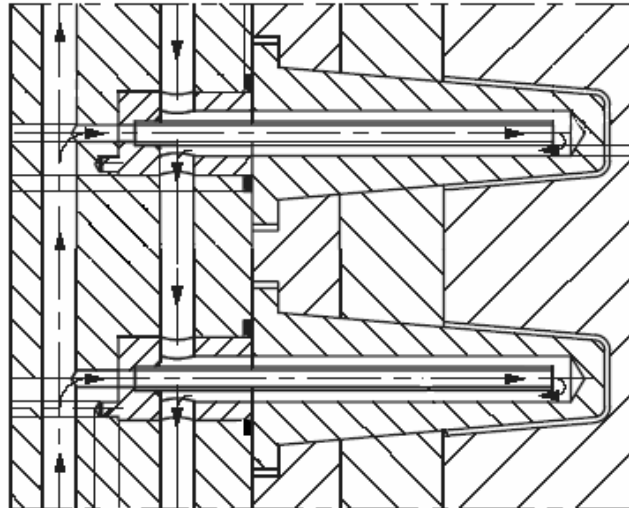
Temperance tvárnků a to především s malým průřezem lze zajistit pomocí temperančních vložek. Ty se obvykle vyrábí z materiálu s velkou tepelnou vodivostí, které snadněji odvádí teplo z nepřístupných míst přímo do temperančního média. V současné době se používá několik základních konstrukčních variant těchto vložek. [2], [4]

Chlazení pomocí *přepážky* je vhodné zejména pro dlouhé tvárnky s menším průměrem. Přepážka usměrní tok chladicího média dovnitř tvárníku.



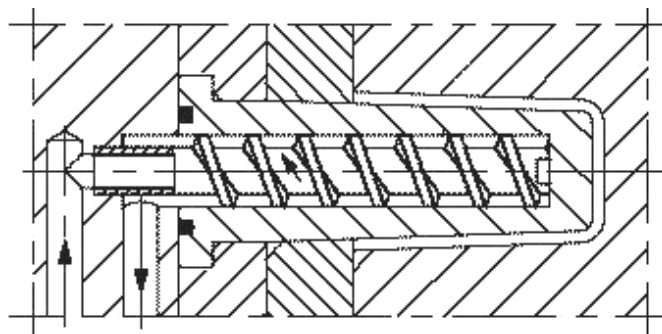
Obr.23 Chladicí přepážky [10]

U *otevřených chladicích trnů* je médium přivedeno vstupním kanálem a vstupuje do vnitřní části trnu odkud postupuje na vnější část. Zde dochází k výměně tepla a odvodu média do výstupního kanálu (*obr.23*).



*Obr.24 Otevřené chladicí trny [10]*

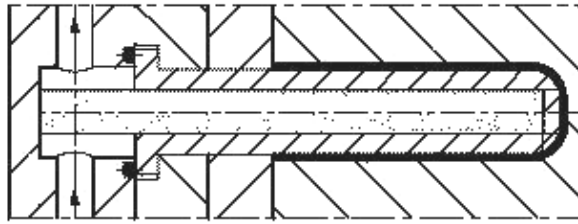
Princip *spirálového trnu* je totožný jako u otevřených trnů s tím rozdílem, že chladicí médium teče ve spirálové drážce.



*Obr.25 Spirálové trny [10]*

Velkou předností *tepelných trubíc* jsou malé průměry, které umožňují použití u dlouhých a velmi tenkých tvárnků.

Princip: Tepelná trubice je po obou stranách uzavřena a je částečně naplněna teplonosnou látkou. Při ohřevu jedné části trubice se teplonosné médium vypařuje a přitom odebírá značné množství tepla. Vzniklé páry proudí vnitřním evakuovaným prostorem trubice do opačné (chlazené) části, kde kondenzují. Při kondenzaci předávají páry výparné teplo chladnějšímu prostředí. [2]



Obr.26 Tepelná trubice [10]

### 3.6 Odvzdušnění dutiny formy

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. Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (spálené místo na výstřiku). To obvykle není ze vzhledových nebo pevnostních důvodů přípustné. Proto odvzdušnění musí být účinné. [2], [4]

Naopak 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 výstřiků (rozměrovou stabilitu, ...). 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 plastů. [2], [4]

V průběhu plnění tvářecí dutiny je tavenina dopravována do dutiny formy vstřikovacím tlakem, který na konci zdvihu dosahuje maxima. Přitom je tavenina podrobena protitlaku stlačeného vzduchu. Jeho velikost je závislá na odvzdušnění. Je-li nutné zvyšovat vstřikovací tlak vlivem nedokonalého odvzdušnění, vnáší se tím zbytečně do výstřiku vnitřní pnutí. Při nižších teplotách taveniny (vyšší viskozitě) a nedostatečném tlaku a rychlosti plnění u výstřiku s tenčími stěnami se soustřeďuje vzduch na protilehlou stranu od vtoku. Nemůže-li vzduch uniknout vlivem protitlaku, vznikne nedotečený výstřik. Podobný jev může vyvolat odděleně každý technologický faktor při vstřikování, včetně nízké teploty formy i malého dávkování. Vzduch, který nemá možnost být z formy vytlačen, může vniknout do taveniny a po zchladnutí v ní zůstává ve formě bublin. [2], [4]

### 3.7 Volba vyhazovacího systému

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřík. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které je součástí vstřikovací formy a svou funkcí má napomáhat automatizaci výrobního cyklu. [2], [4]

Vyhazování výrobku z dutiny formy má dvě fáze:

- dopředný pohyb: vlastní vyhazování
- zpětný pohyb: návrat vyhazovacího systému do původní polohy

Základní podmínkou bezproblémového vyhození výstřiku je hladký povrch a úkosovitost stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než  $1,5^\circ$ . Vyhazovací systém musí výstřík vysouvat rovnoměrně aby nedošlo k jeho zpříčení a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. [2], [4]

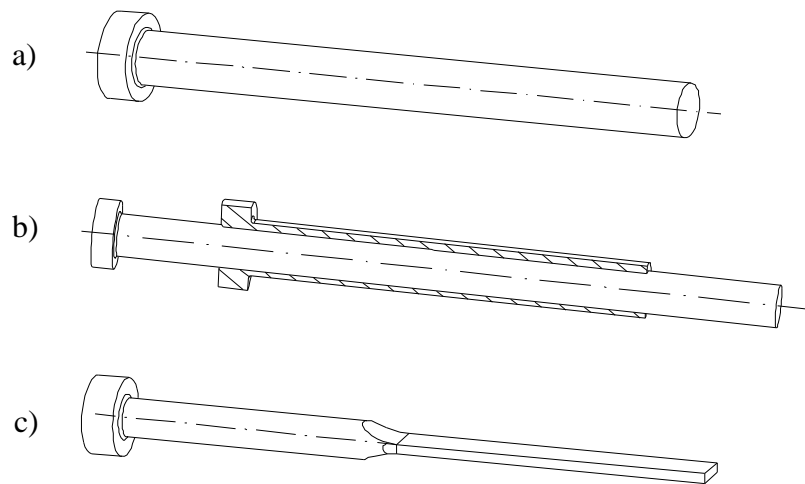
#### 3.7.1 Mechanické vyhazování

Je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Konstrukční řešení takových systémů jsou velmi rozmanitá. Princip je však u všech typů podobný; pohybem (posuvem, či otáčením) mechanického prvku dojde k odformování daného výstřiku. [2], [4]

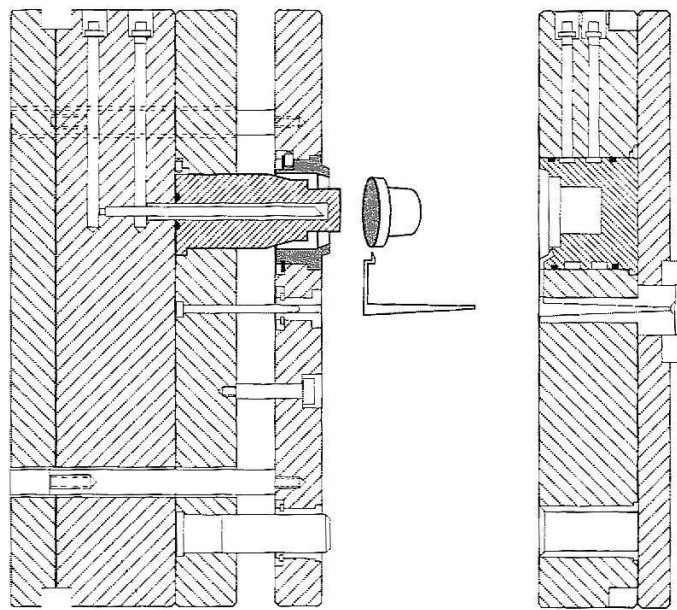
##### *Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků*

Správná volba vyhazovacího kolíků je rozhodujícím předpokladem pro správné odformování. Kolík se má opírat o stěnu nebo žebro výstřiku a nesmí ho při vyhazování bortit. Jinak by mohla nastat jeho trvalá deformace. Pokud je systém vybaven větším počtem vyhazovacích kolíků, je obtížnější zhotovit temperační kanály. [2], [4]

Mezi základní typy vyhazovačů patří válcové (*obr.27a*) jenž jsou nejpoužívanějším typem. Trubkové vyhazovače (*obr.27b*) se používají k odformování jader, která jsou ukotvena za vyhazovací deskou a prochází těmito vyhazovači. Prizmatické vyhazovače (*obr.27c*) mají tvar kde přechází kruhový průřez v obdélníkový. Slouží pro odformování výstřiků s hlubokými žebry. Další typy vyhazovačů jsou speciální. Patří mezi ně například vyhazovače se šikmým vedením nebo odpružené vyhazovače.



Obr.27 Typy vyhazovačů

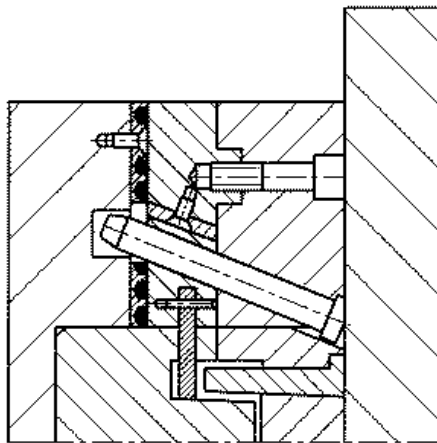
**Vyhazování pomocí stírací desky**

Obr.28 Vyhazovací deska [8]

Představuje stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Nezanedbává na výstřiku stopy. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace nebo u rozměrných výrobků, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li výstřik na stírací desku v rovině nebo je plocha výstřiku mírně zakřivena. Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu. Působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou. Síla může být také vyvozena pružinami, hydraulickým nebo pneumatickým zařízením. [2], [4]

### *Odformování pomocí šikmých vyhazovačů*

Uzavírací pohyb čelisti je ukončen současně s uzavřením formy. Šikmý kolík provádí otvírací pohyb. Otevřená poloha se zajišťuje kuličkou nebo jinou západkou. Uzavírání je opět prováděno šikmým kolíkem, který je veden v čelisti a v otvoru s vůlí. Ten také musí zajistit zavedení kolíku do otvoru při uzavírání formy. Šikmé kolíky se používají tam, kde se nevyžaduje žádné nebo malé zpoždění vysouvání čelistí při otevírání hlavní dělicí roviny.



*Obr.29 Šikmý čep [8]*

### **3.7.2 Pneumatické vyhazování**

Tento systém je vhodný pro vyhazování tenkostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které při vyhazování vyžadují zavzdušnění, aby se nedeformovaly. Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím se umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Použití pneumatického vyhazování je omezeno jen na některé tvary výstřiků. Vzduch se do dutiny formy přivádí přes ventil talířový, jehlový nebo různé kolíky. Ventil se otvírá tlakem vzduchu a zavírá pružinou. [2]

### **3.7.3 Hydraulické vyhazování**

Zřídka se můžeme setkat s hydraulickým vyhazováním, které je zabudované přímo do formy. Více se používají k ovládní bočních posuvných čelistí. Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka s jejichž pomocí se ovládají kolíky stírací desky apod.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracovat literární rešerši na dané téma
- provést návrh vstřikovací formy
- návrh doložit výkresem sestavy a analýzou vstřikovacího procesu
- provést zhodnocení návrhu a rozbor řešení

Studijní a teoretická část byla tématicky rozdělena na tři samostatné kapitoly, ve kterých jsou detailněji popsány poznatky nutné pro správné vyhotovení praktické části. Úvodní kapitola se zabývá samotným procesem vstřikování a vstřikovacími stroji. V dalších kapitolách jsou věnovány konstrukci vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem.

Cílem praktické části je navrhnout vstřikovací formu na zadaný výrobek, kterým je kryt nízkonapěťové zásuvky. Při návrhu a konstrukci vstřikovací formy bylo využito programu CATIA V5R15 a normálí firmy HASCO.

V dalším bodě praktické části se analyzuje vstřikovací proces navržené formy a hodnotí správnost návrhu. Byla provedena analýza temperačního systému, toku a deformací výrobku.

Pro zkonstruovanou formu byl navržen vhodný vstřikovací stroj dle kritérií: velikost plastikační jednotky, velikosti uzavírací síly a velikosti upínacího prostoru pro vstřikovací formu.

Na závěr jsou diskutovány výsledky celého návrhu vstřikovací formy.

## 5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO KRYT ZÁSUVKY

### 5.1 Programy využitě pro návrh a konstrukci formy

#### CATIA V5R15

Při konstrukci plastového dílu byl použit program Catia V5R15. V tomto systému byla provedena též konstrukce 3D sestavy vstřikovací formy. Práci na konstrukci formy usnadnil modul moldtooling design, který obsahuje základní normalizované součásti.

#### HASCO 3D Universal Module V8.3

Knihovna normálí ve formátu 3D, obsahující komponenty a jejich rozměry potřebné ke konstrukci forem, usnadnila celou konstrukční část. Firma HASCO poskytuje na svých webových stránkách také katalog, který je nezbytnou součástí pro práci v této knihovně.

#### Moldflow Plastic Insight 6.0

Je konečně prvkový systém, jenž umožňuje provést celkovou analýzu vstřikovacího procesu pro daný výstřik. S pomocí tohoto programu můžeme provést analýzu temperačního systému, toku a deformací.

### 5.2 Charakteristika výrobku a jeho materiálu

Výrobek bude sloužit jako kryt třífázové nízkonapěťové zásuvky. Tyto zásuvky slouží pro napájení většiny výrobních strojů. Umístění ve výrobních provozech však nijak nesnižuje požadavky na pohledové vlastnosti krytu. Tuto skutečnost je třeba brát v potaz při samotné konstrukci vstřikovací formy. Jako vhodný výrobní materiál byl zvolen ABS (Akrilonitril-Butadien-Styren).

*Tab.1 Mechanické vlastnosti ABS*

Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu	ISO 527	40	MPa
Tažnost	ISO 527	25	%
Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2500	MPa
Tvrдость podle Brinella	ISO 2039-1	110	MPa

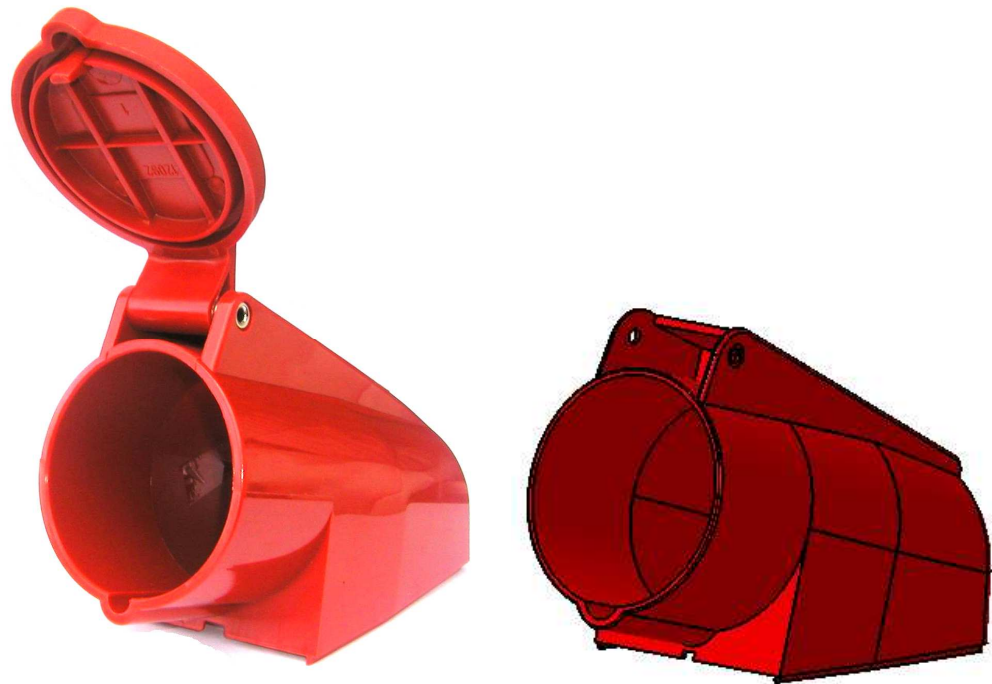
Tab.2 Teplotní vlastnosti ABS

Teplotní vlastnosti			
Tepelná vodivost	DIN 52 612	0,17	W/Km
Maximální teplota krátkodobá		100	°C
Maximální teplota dlouhodobá		80	°C
Minimální teplota použití		-40	°C

Jako konkrétní materiál pro výrobu byl zvolen materiál Terluran GP-35.

Tab. 3 Vlastnosti Terluran GP-35

Vlastnosti vstřikovaného materiálu Terluran GP-35		
Minimální teplota taveniny při vstřikování	220	°C
Maximální teplota taveniny při vstřikování	270	°C
Degradační teplota	280	°C
Teplota při vyhazování	83	°C
Maximální smykové napětí	0,3	Mpa
Maximální rychlost smykové deformace	50000	1/s
Smrštění v podélném směru	0,4306	%
Smrštění v příčném směru	0,4395	%
Modul pružnosti v tahu	2400	MPa
Poissonova konstanta	0,4	
Hustota taveniny polymeru	0,93386	g/cm <sup>3</sup>
Hustota polymeru při 20°C	1,0389	g/cm <sup>3</sup>



*Obr.30 Vstříkovaný díl*

### **5.3 Vstříkovací forma**

Správná konstrukce formy musí splňovat požadavky na rozměrovou přesnost výstřiků, ale i jejich mechanické a vzhledové vlastnosti. Tyto požadavky musíme uvažovat při návrhu všech funkčních částí formy.

#### **5.3.1 Násobnost formy**

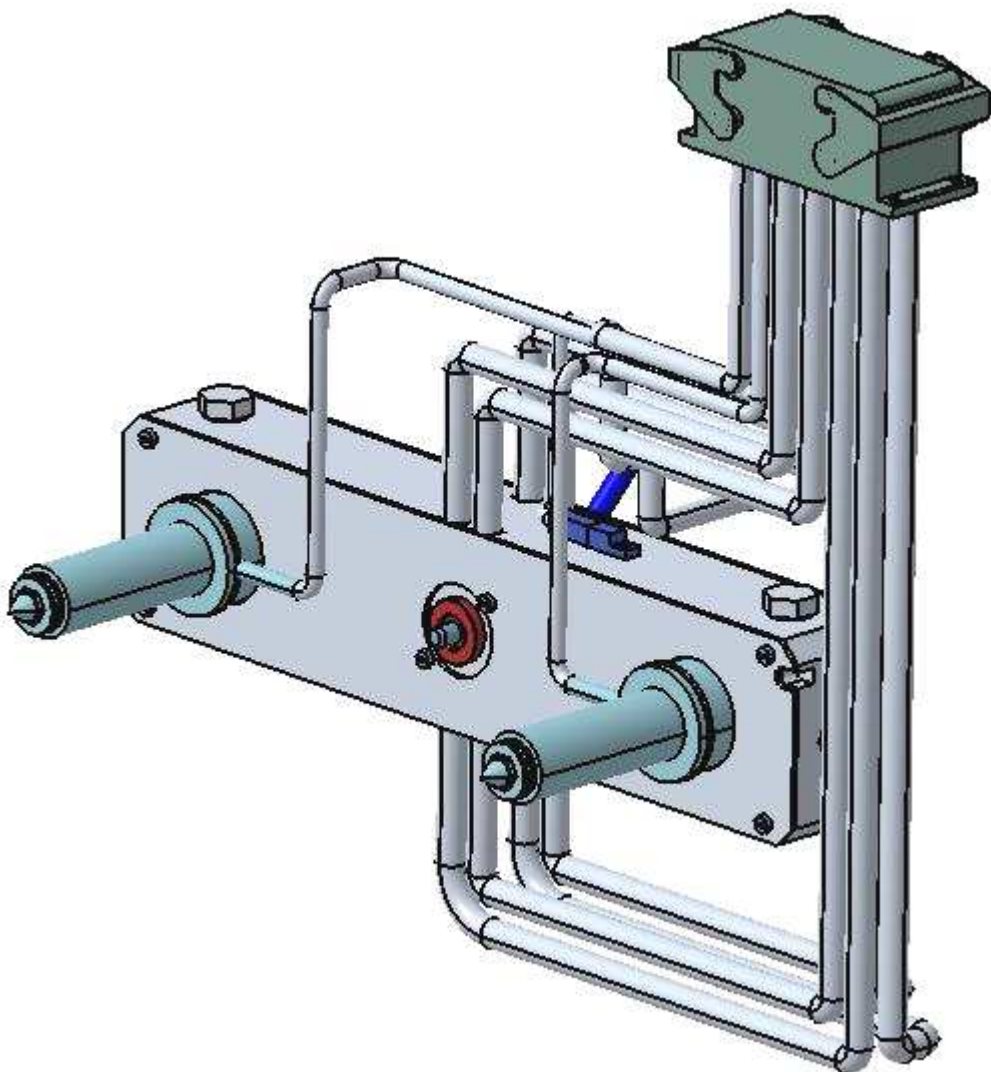
Po zvážení všech kritérií, které násobnost formy ovlivňují byla forma navržena jako dvojnásobná. Dalším důležitým činitelem byl způsob odformování vnitřního tvarového jádra. Tento způsob by formu při vyšší násobnosti neúměrně zvětšoval.

#### **5.3.2 Zaformování výstřiku**

Správné zaformování se odvíjí od konstrukčního řešení vyráběného dílu. Zaformování bylo provedeno tak, že při otevírání formy zůstává výstřik v pohyblivé části formy. Zároveň dochází k odformování axiálních děr pomocí šikmého čepu. Jako poslední je odformováno jádro, jež vytváří vnitřní válcovou dutinu.

### 5.3.3 Vtokový systém

Pro vstřikování daného dílu byl zvolen horký vtokový systém. Každá část horké vtokové soustavy má svoji topnou spirálu, popř. topný pás, který zajišťuje ohřátí na požadovanou teplotu. Velikost celého rozvodného bloku se odvíjela od rozteče trysek jež ústí do dutiny formy. Průměr trysek byl omezený, protože jsme byly limitováni velikostí tvárnice. Požadovaná délka trysky byla poměrně velká.

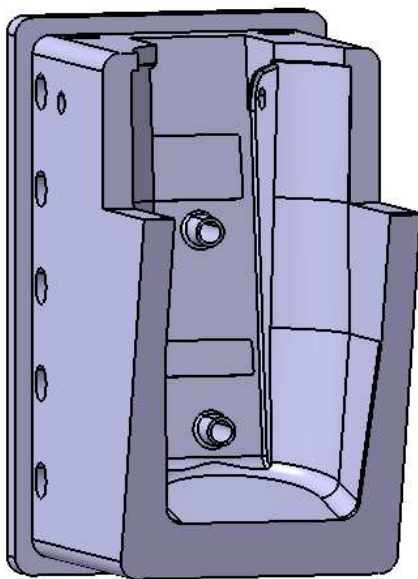


*Obr.31 Vtokový systém*

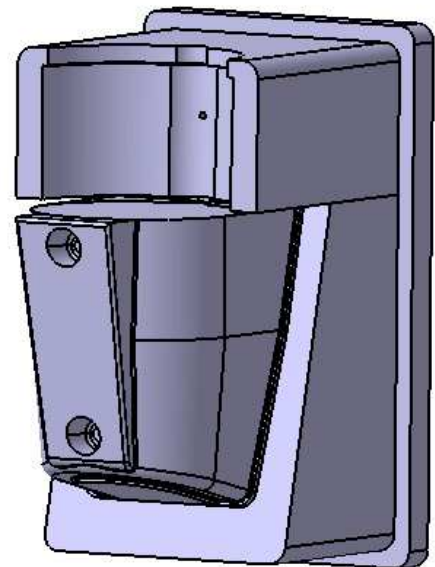
### 5.3.4 Tvarové části formy

Základ tvarové dutiny formy tvoří tvárník a tvárnice. Pro usnadnění následné výroby je tvárník navržen ze dvou částí. Jedna část tvaruje vnitřní skořepinu výstřiku a druhá vnější válcovou část výstřiku. Vnitřní tvarovou část formuje jádro, které je rovněž dvoudílné.

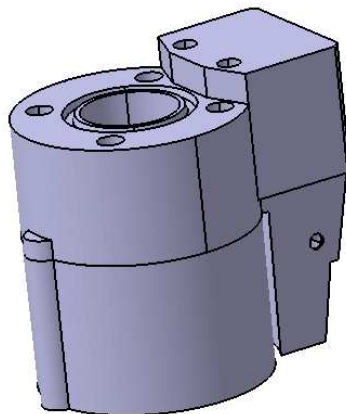
Radiální díry ve výstřiku na nichž je upevněno víčko celého krytu umožňují vyrobit šikmé čepy. Ty ovládají jezdce, na kterých je upevněn tvarový čep.



Tvárnice



Tvárník



Jádro

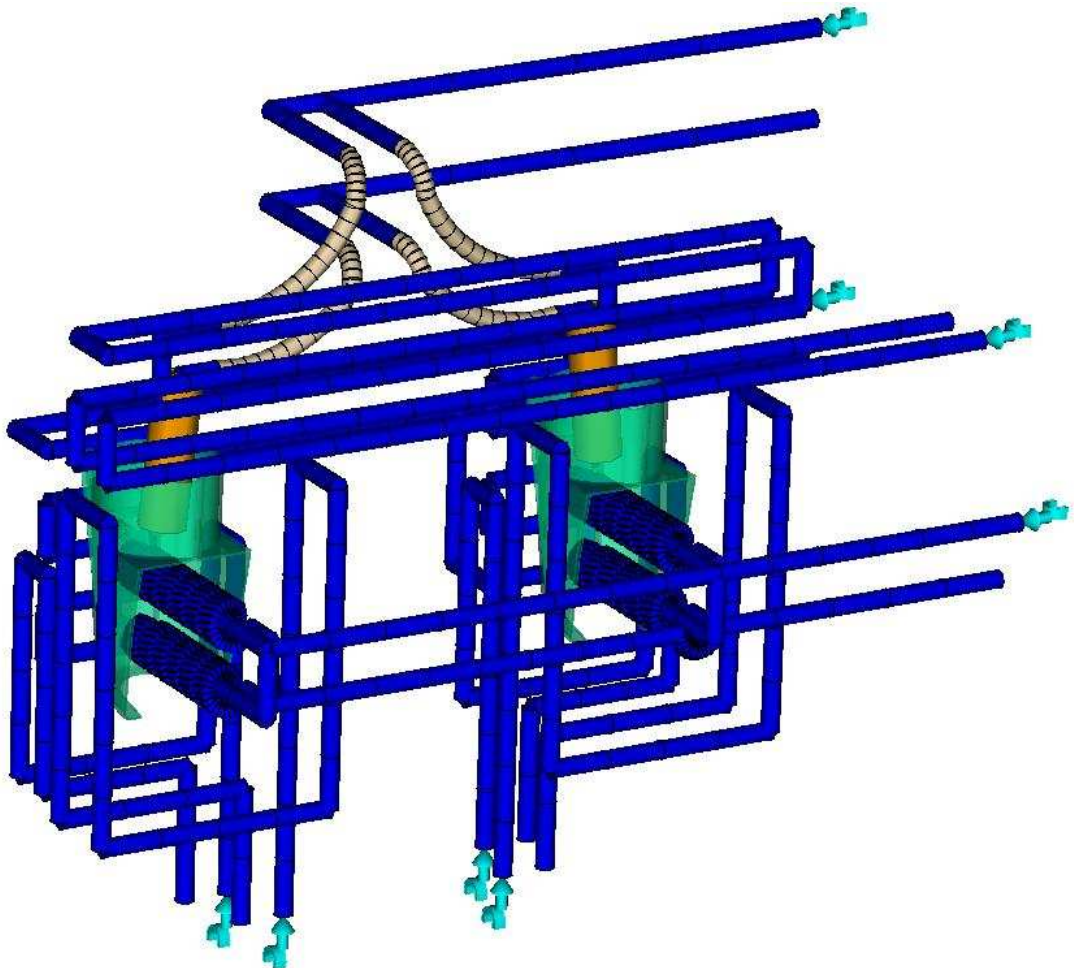
*Obr.32 Tvarové části*

### 5.3.5 Odvzdušnění

Při vstřikování plastu do formy dochází k stlačování vzduchu čelem taveniny a může dojít k tzv. Dieselovu efektu. Problematika odvzdušnění je blíže popsána v teoretické části této práce. Analýza označila jako choulostivá místa dělicí rovinu, místa, kde se setkávají čela taveniny (obzvláště místa kolem vyhazovačů). Odvzdušnění je v problematických místech realizováno drážkami širokými 10mm a hlubokými 0,02mm.

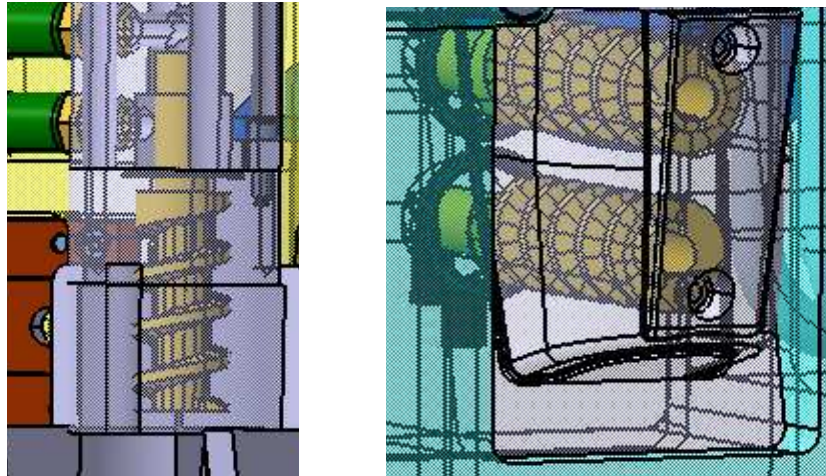
### 5.3.6 Temperační systém

Celá forma je temperována osmy samostatnými okruhy. Pravá strana formy vyžaduje velmi intenzivní chlazení, protože byla použita horká vtoková soustava. Ta neúměrně ohřívá celou formu, zejména tvárníky. Při nedokonalém ochlazení mohou nastat po vyhození nežádoucí deformace celého výstřiku. Tvárník je chlazen dvojicí spirálových trnů. Boční stěny tvárníku chladí kanály o průměru 10mm. Aby byl zajištěn co nejlepší odvod tepla je umístěn další chladicí okruh v desce, která je mezi tvarovou deskou a deskou v níž je umístěn horký rozvodný blok. Levá strana formy je chlazená čtyřmi okruhy. Boční stěny tvárnice jsou chlazeny obdobně jako tvárníky. Na čele tvárníku je umístěna další soustava kanálů jež tvoří samostatný okruh. Jádru je chlazené spirálovým trnem. Přívod chladicího média do trnu je realizováno pomocí teflonové hadice.



Obr.33 Temperační systém

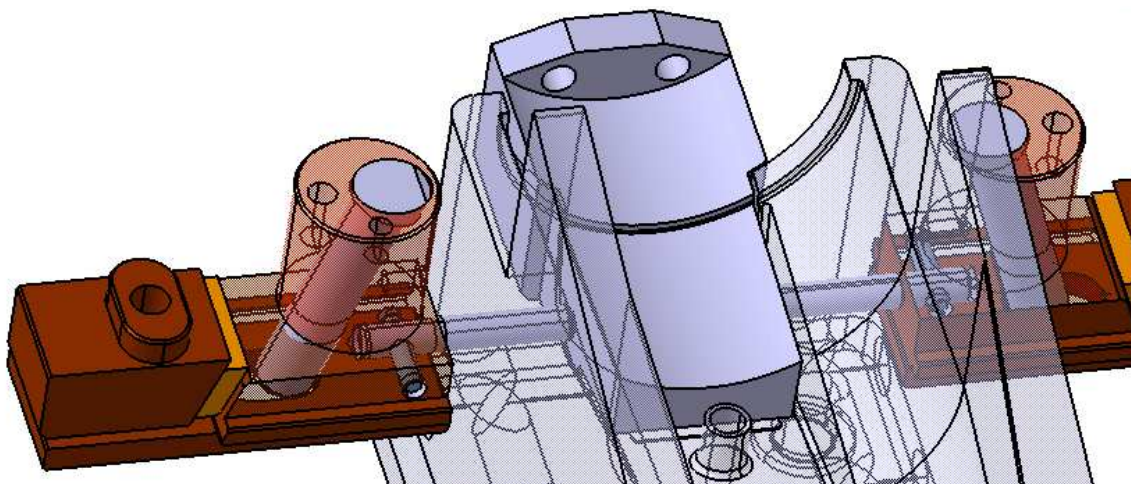




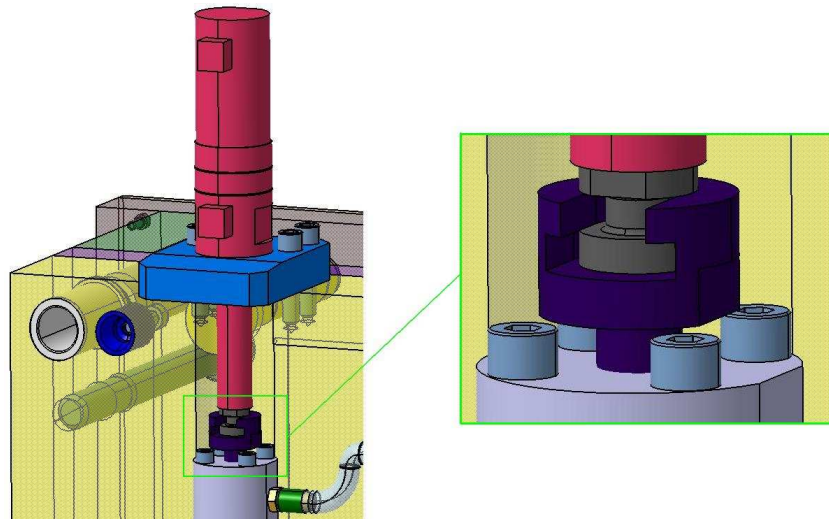
Obr.34 Chlazení spirálovými trny

### 5.3.7 Odformování

Při otvírání formy se posouvají pomocí šikmých čepů jezdcí na nichž je upevněn tvarový čep. Posunutí jezdcí je čtyři milimetry, což stačí pro následné bezpečné vyhození výstřiku z formy. Jezdce jsou v „otevřené“ poloze zajištěny kuličkou. Odformování válcové části zajišťuje hydraulický válec. Maximální zdvih válce je 70 mm. Určení vhodného typu válce se odvíjí od požadované síly, která je nutná pro bezpečné vysunutí jader.



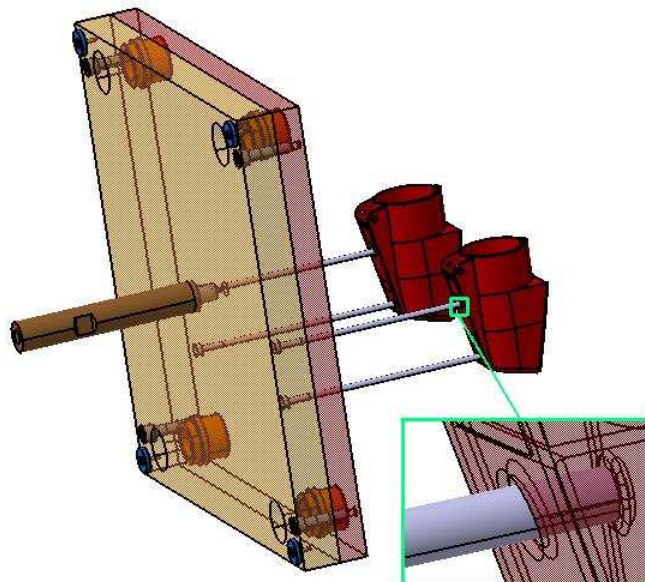
Obr.35 Šikmý čep



Obr.36 Hydraulický válec

### 5.3.8 Vyhazovací systém

Protože dutina tvárnice tvoří pohledovou stranu výstřiku, jsou stopy po vyhazovačích na této straně nežádoucí. Vyhození výstřiku musí být tedy zajištěno pomocí externího zařízení. Nejvhodnější by bylo použít robotického ramene pro vyjmutí výstřiku z tvárnice. Jediné místo na pohledové straně, kde lze použít vyhazovače jsou díry pro šrouby, které upevní při montáži kryt k zásuvce.



Obr.37 Vyhazovací systém

Tyto dva vyhazovače jsou pouze pomocné. Mají usnadnit robotu vyjmutí výstřiku. Vyhazovače mají průměr 6mm. Díra pro šroub ve výrobku je 4mm. Plocha, na kterou dosedají

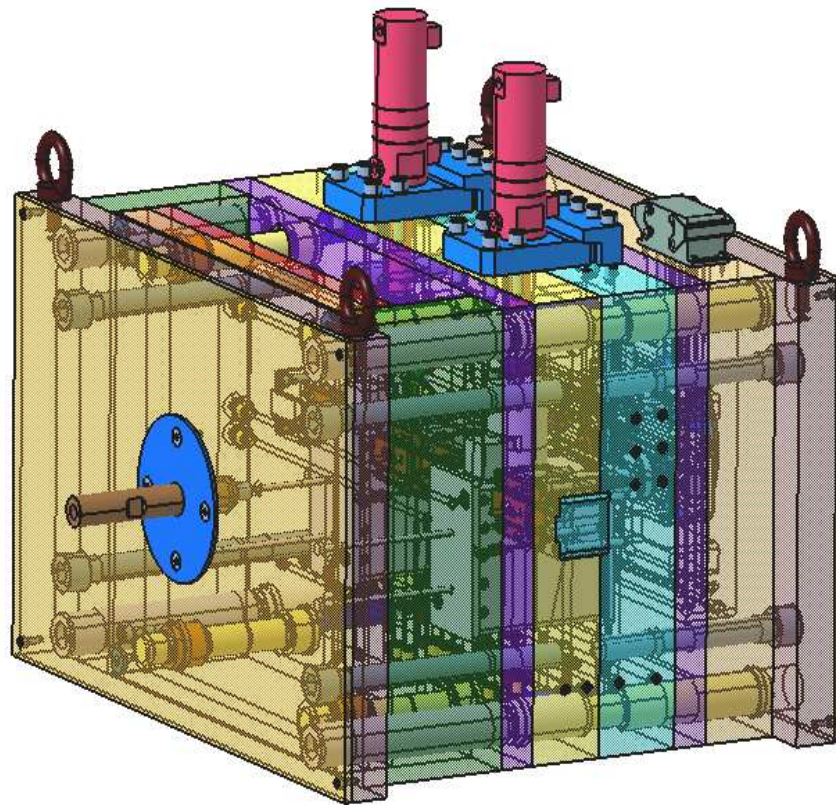
vyhazovače je nedostatečná a z tohoto důvodu byla díra navržena jako neprůchozí. Tloušťka pomocné plochy je 0,5mm. Při montáži je pomocná plocha snadno odstranitelná.

### **5.3.9 Vodící a upínací elementy**

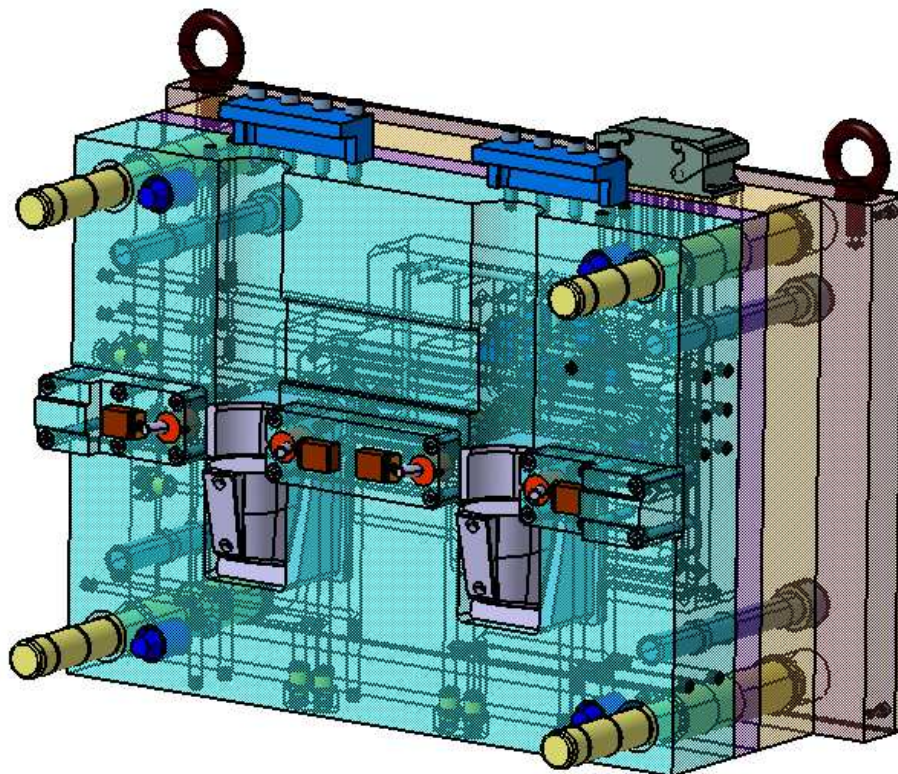
Konstrukce formy a volba rozměrů jednotlivých částí se odvíjela z velké části od knihovny normálíí firmy Hasco. Jako vodící a upínací elementy označujeme vodící pouzdra, středící kroužky, kolíky a šrouby. Forma je upnuta ke vstřikovacímu stroji za upínací desky pomocí upínek. Vzájemné středění formy a vstřikovacího stroje je realizováno pomocí středícího kroužku K100, umístěného v pravé upínací desce a středícím kroužkem K500 v levé upínací desce. Tyto kroužky také zajišťují formu proti případnému sklouznutí z desky stroje při manipulaci. Vzájemnou polohu ostatních desek zajišťují vodící pouzdra, vodící čepy.

### **5.3.10 Sestava formy**

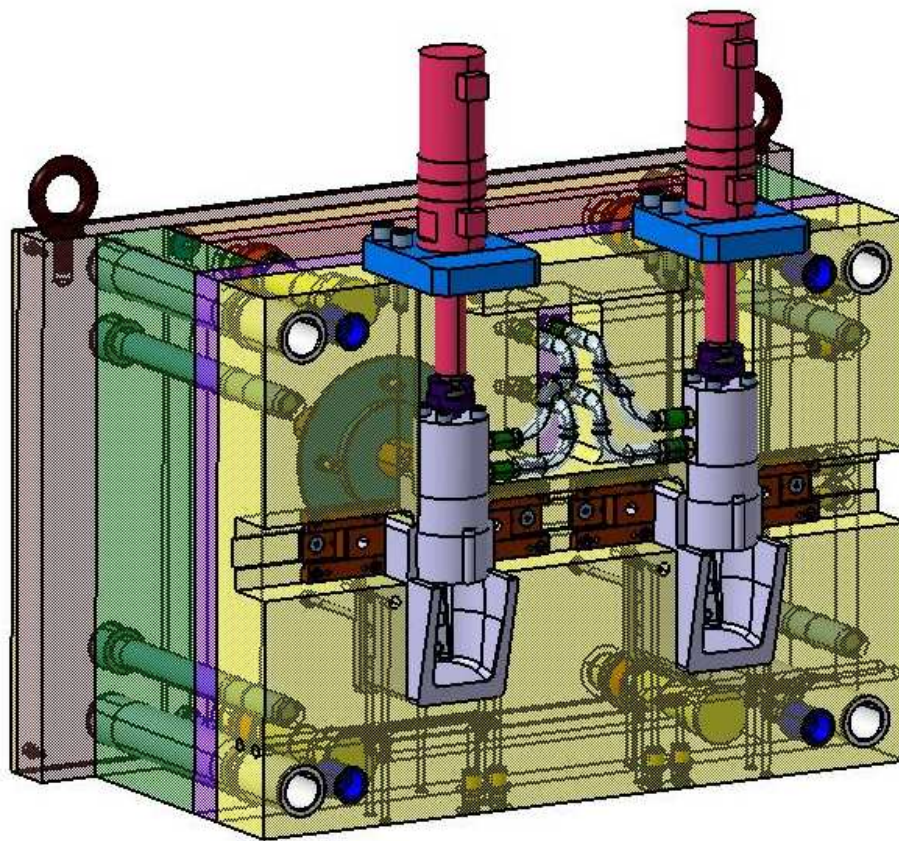
Pro větší přehlednost jednotlivých částí je sestava celé formy zobrazena ve 2D i s kusovníkem na přiloženém CD diplomové práce (příloha P VI). 3D sestava formy i s kusovníkem je zobrazena v přílohách P I, P II, P III, P IV, P V.



Obr.38 Sestava formy



Obr.39 Pravá část formy



Obr.40 Levá část formy

#### 5.4 Volba vstřikovacího stroje

Pro vstřikování byl zvolen vstřikovací stroj firmy Arburg typ Allrounder 630 S/630S ECO. Tento stroj plní všechny technické požadavky (Tab.3,4).



Obr.41 Allrounder 630 S/630S ECO

Tab.4 Parametry uzavírací jednotky

Uzavírací jednotka		
Uzavírací síla	max. kN	2500
Otevírací síla	max. kN	70/725
Výška formy	min. mm	300-700
Vzdálenost mezi rozpěrkama	mm	630x630
Síla vyhazovacích kolíků	max. kN	86
Akční dosah vyhazovacích kolíků	max. mm	225

Tab.5 Parametry vstřikovací jednotky

Vstřikovací jednotka		
Průměr šneku	mm	50
Účinná délka šneku	L/D	20
Tah šneku	max.mm	200
Objem vstřikované taveniny	max. cm	392
Vstřikovací tlak	max. Bar	2000
Rychlost toku taveniny	max. cm <sup>3</sup> /s	300
Kroutící moment šneku	max. Nm	880

## 6 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

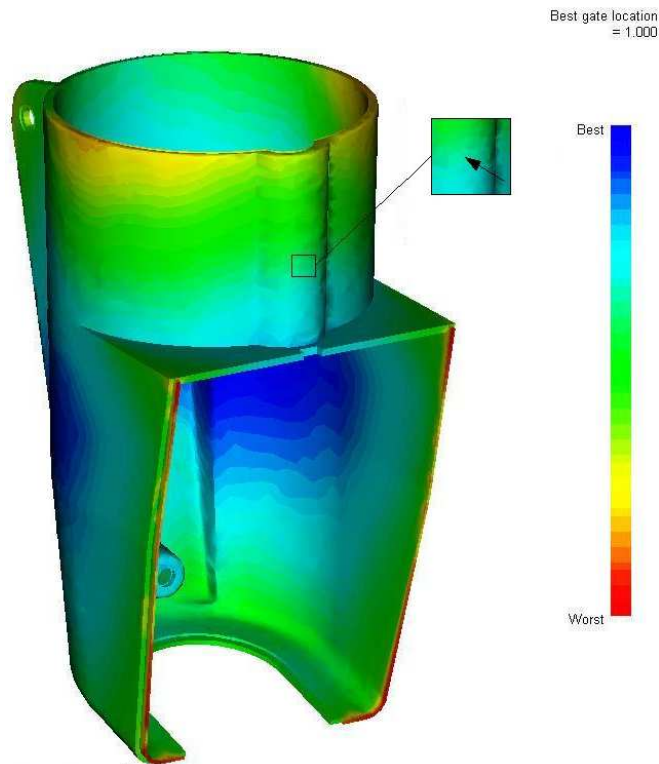
### 6.1 Procesní podmínky

Abychom mohli pomocí analýz docílit správné podmínky při vstřikování, je třeba zadat vstupní podmínky. Jsou to vlastnosti vstřikovaného materiálu. Spočítány byly 2 analýzy Gate location, a Cool-Flow-Warp. Mimo podmínek procesních musíme jako vstup použít již vytvořenou soustavu chladících kanálů a soustavu vtokovou. Tyto informace převedeme do programu Moldflow pomocí formátu stl a igs. Protože nastal problém z definováním spirálového trnu, byl nahrazen pro výpočet otevřeným trnem. Při výpočtu byla uvažována teplotní roztažnost formy a vliv rohů na modelu výrobku. U deformační analýzy byly izolovány příčiny vzniku deformace (smrštění, chlazení, orientace).

Tab.6 Procesní podmínky

Procesní podmínky	
Teplota formy	50°C
Teplota taveniny	250°C
Čas otevření formy	5s
Čas cyklu	30s
Čas vstřiku	1,5s
Bod přepnutí	automaticky
Dotlaková fáze - délka	10s
Dotlaková fáze - pokles tlaku na	80%
Teplota horkého vtoku	250°C
Teplota chladícího média	50°C
Tlak chladícího média v každém okruhu	3,5 bar

## 6.2 Umístění vtoku



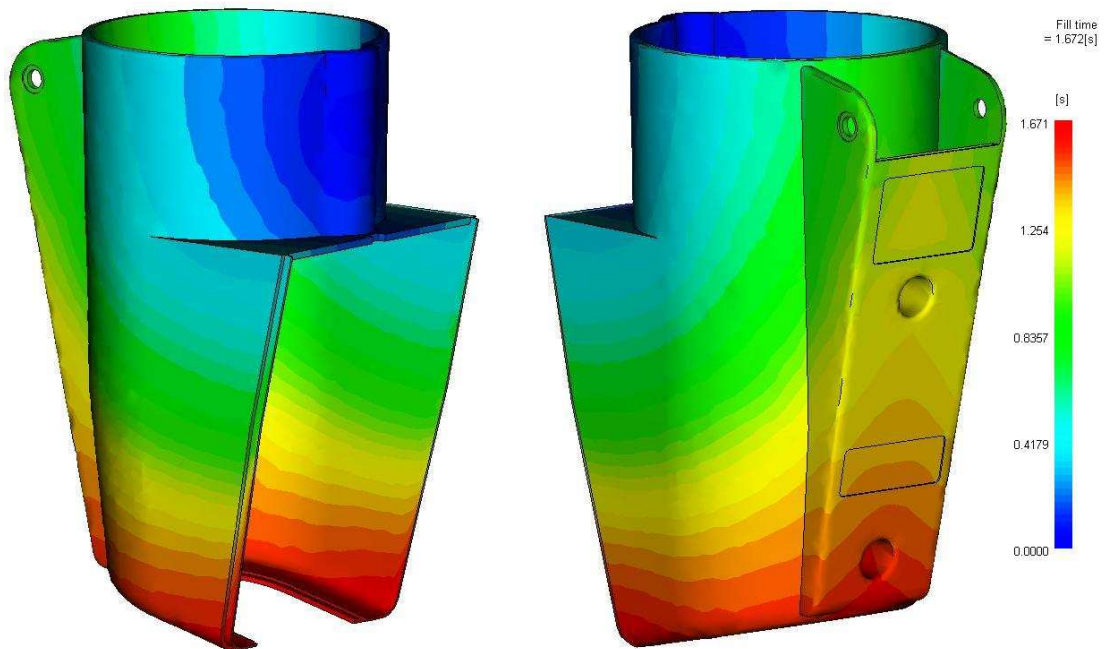
Obr.42 Umístění vtoku

Cílem této analýzy je určit na výrobku oblast, která je nejvhodnější pro umístění vtoku a ideální na zaplnění celé dutiny formy. Výsledek je spíše orientační, protože vybírá nejvhodnější místo na základě matematických výpočtů. Ty vypočítávají umístění podle materiálových dat zvoleného polymeru a tvaru dutiny. Je vysoce pravděpodobné, že oblast s nejideálnějším místem pro umístění vtoku je na méně vhodném místě výrobku, např. na vzhledové ploše, kde obvykle nechceme mít žádné stopy po vtoku. Modrá barva zobrazuje nejlepší oblast na výrobku pro umístění vtoku.

Jako nejvhodnější místo pro umístění vtoku jsem zvolil místo zobrazené na detailu šipkou. Tato část dílu není pohledová tzn. není vidět stopa po vtoku. Protože bude použit ve formě horký vtokový systém musíme dbát na to, aby umístění vtoku co nejméně limitovalo výběr vhodného rozměru trysky. Vhodnost umístění je v daném místě 60,15%.



### 6.3 Čas plnění



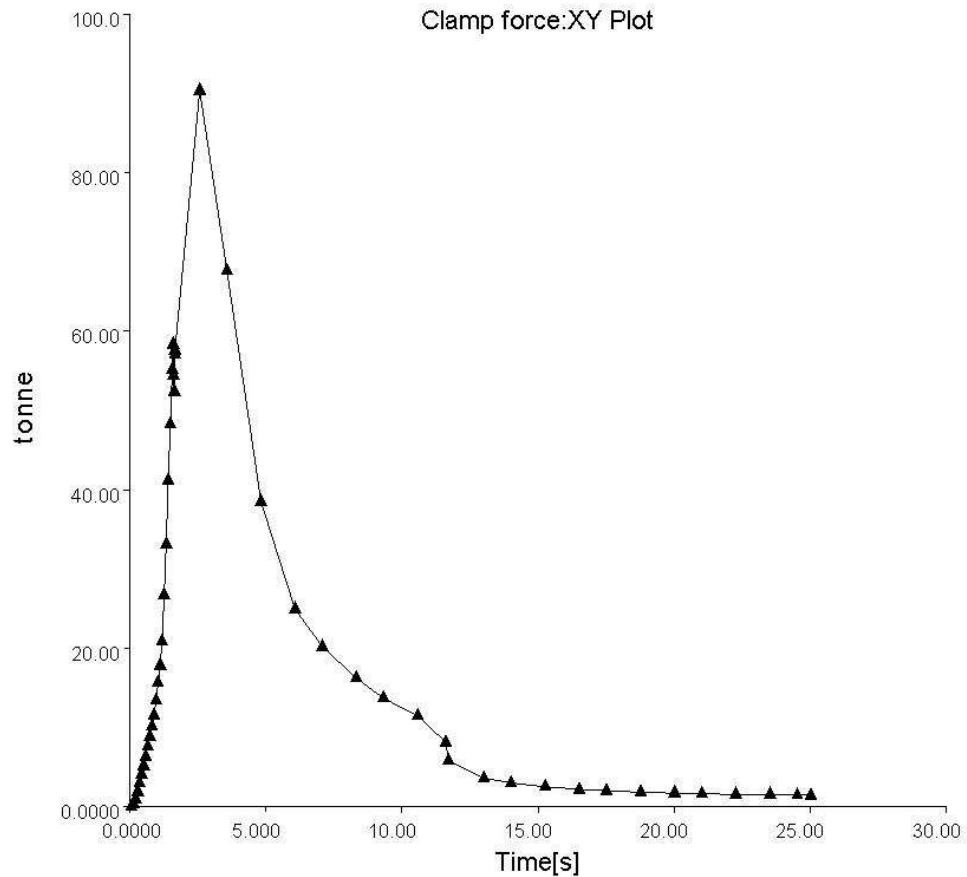
Obr.43 Čas plnění

Analýza nám ukazuje dobu plnění dutiny formy taveninou polymeru. Doba plnění je znázorněna barevnou škálou, kde červená oblast ukazuje poslední zaplněná místa dutiny formy. Čas zaplnění činí 1,671 s. Pokud by se stalo že některé oblasti výstřiku budou šedé, jedná se o nedotečená místa. Klíč k odstranění takového problému je skryt ve většině případů v typu polymeru a v procesních podmínkách. Pokud jsme nuceni použít určitý druh polymeru, musíme se pokusit o změnu podmínek při vstřikování. Většinou postačí zvýšit teplotu taveniny a tím snížit odpor proti tečení, což umožní zaplnění dutiny i v tvarově méně přístupných míst. Musíme však kontrolovat zda teplota nepřekročí kritickou mez pro polymer. Informace o polymeru si můžeme ověřit v materiálových listech.

### 6.4 Uzavírací síla

Uzavírací síla není v průběhu vstřikovacího procesu konstantní. Od počátku tato síla prudce roste. V čase 2,31s poklesne hodnota vstřikovacího tlaku, ale uzavírací síla se nadále zvyšuje, protože dutina formy je již naplněna taveninou a proto je zde odpor proti plnění stále větší. Po dosažení maximální uzavírací síly 90,32 [t] v čase 2,582 [s], její hodnota postupně klesá, protože převážná část taveniny je již v téměř tuhém stavu. Na konci fáze dotlaku uzavírací síla prudce klesá až na nulovou hodnotu, protože probíhá proces chlazení, a tedy nepůsobí na formu žádné síly, které by se ji snažily otevřít. Maximální hodnotě

uzavírací síly musíme podřídit výběr vstřikovacího stroje. Maximální hodnota uzavírací síly stroje by měla být minimálně o 20% (tzv. bezpečnostní faktor) vyšší, než hodnota potřebná k uzavření formy.



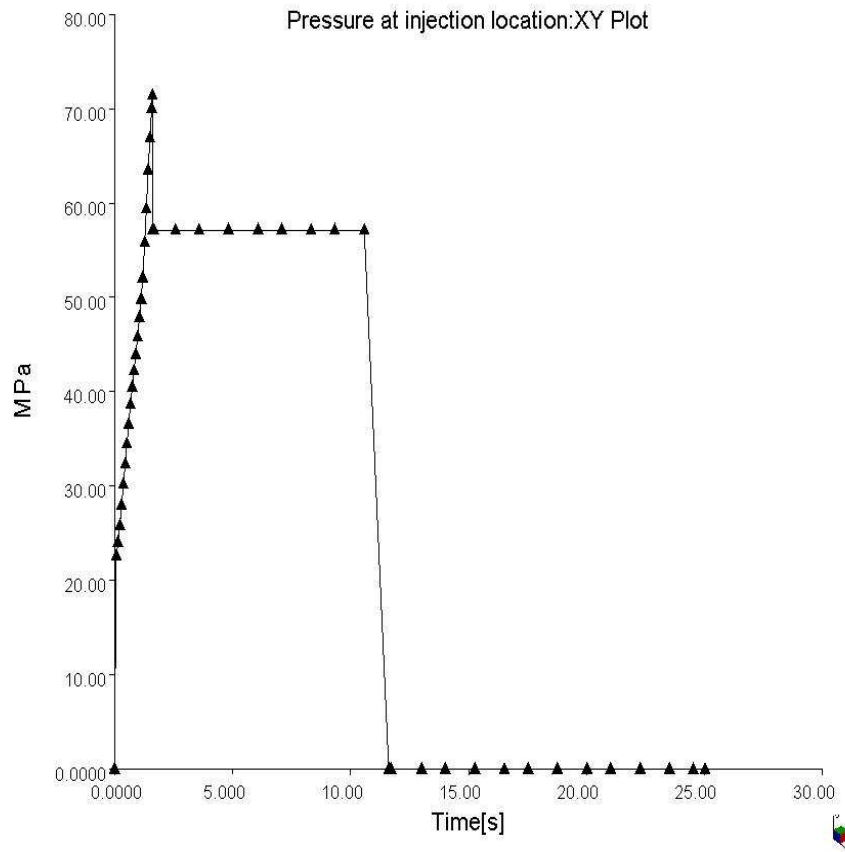
Obr.44 Průběh uzavírací síly

## 6.5 Tlak v místě vstříku

Tato analýza udává grafickou závislost tlakového pole v dutině formy v čase. Celkový průběh ukazuje jak vstřikovací tlak vzroste z nuly až na hodnotu 74,3 MPa v čase 2,31 s. To je maximální hodnota po celý průběh vstřikování. Za touto hodnotou již nastává okamžik označovaný jako bod přepnutí. Hodnota maximálního tlaku poklesne o 20%. Tato část vstřikování je označována jako fáze dotlaku.

Účelem dotlaku je doplňovat taveninu do dutiny formy až do momentu, kdy zatuhne ústí vtoku. To je důležité hlavně z hlediska dodržení rozměrů a hmotnosti výrobku. Dotlak pro

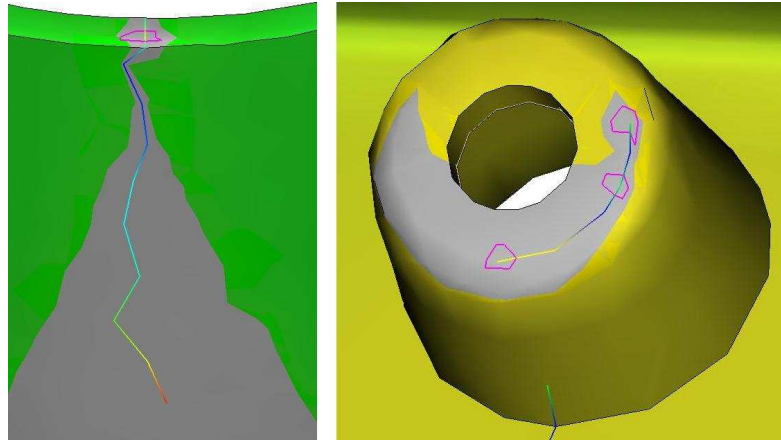
zkoumaný výrobek končí v čase 11,74 s, kdy je tlak roven nule a pokračuje fáze chlazení, která končí v čase 25,42 s.



Obr.45 Průběh tlaku

## 6.6 Vzduchové kapsy

Tato analýza je velice důležitá k určení míst, kde se bude při vstřikování stlačovat a uzavírat vzduch. Kritická místa jsou znázorněna uzavřenými ostrůvky. Vzduch se uzavírá tam, kde se spojují dvě čela taveniny ve formě nebo v místech, kde tavenina končí svůj tok. Při konstrukci formy je nutné s tímto počítat a snažit se ji navrhovat tak, aby tato místa vznikala pokud možno na nepohledové části výrobku. Není-li možné odstranit problém jiným konstrukčním upořádáním celé formy, musíme zajistit odvod vzduchu pomocí odvzdušňovacích kanálů, které zabrání poškození výrobku v této části. Stlačený vzduch zvýší svoji teplotu, která může překročit již zmiňovanou kritickou mez teploty taveniny a vzniknou spálená místa na výstřiku. Tento jev označujeme jako Dieselův efekt a je blíže popsán v teoretické části této práce.



Obr.46 Vzduchové kapsy a studené spoje

## 6.7 Studené spoje

Studené spoje jsou nežádoucím výsledkem spojení dvou čel taveniny. V těchto místech nastává několik problémů, které snižují celkovou užitnost výstřiku. Jsou to vady pohledové což bývá nejčastější překážka (např. u palubních desek automobilů). Další omezení nastává u výstřiků, které jsou mechanicky namáhané. Odstranění studených spojů není vždy možné, proto se snažíme posunout ho do míst, která jsou z hlediska použití výstřiku méně důležitá.

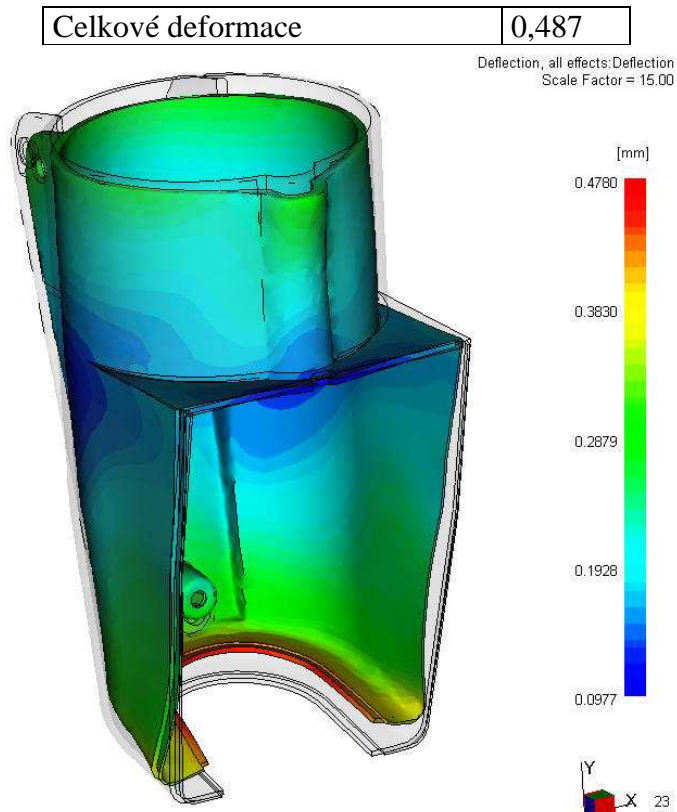
Praktické řešení spočívá hlavně ve změně konstrukce formy a zejména umístění vtokového systému. Pokud klademe na výstřik vyšší nároky i v těchto kritických místech musíme zajistit přinejmenším vznik kvalitnějšího studeného spoje. To zajistíme zvětšením teploty taveniny, zvýšením rychlosti vstřiku nebo velikostí dotlaku. Druhou možností jak eliminovat studený spoj, je změna povrchu dutiny formy.

## 6.8 Celková deformace výstřiku

Tato analýza nám vyhodnotí celkovou deformaci výrobku. Celková deformace je dána součtem deformace vlivem smrštění, anizotropie a chlazení. Podíl jednotlivých vlivů je snadno ověřitelný příslušnou analýzou. Hodnoty deformací jsou uvedeny v tabulce.

Tab.7 Hodnoty deformací

Deformace	[mm]
Deformace vlivem smrštění	0,3612
Deformace vlivem anizotropie	0,0027
Deformace vlivem chlazení	0,0566



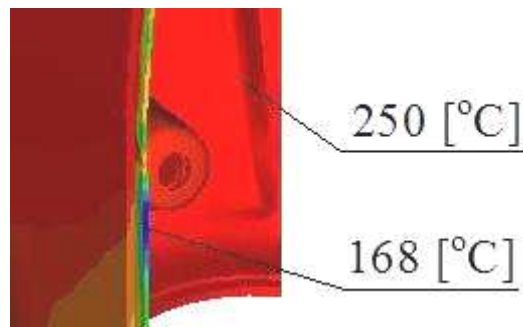
*Obr.47 Celkové deformace*

Deformace způsobené smrštěním kompenzujeme zvětšením rozměrů dutiny formy. Deformaci vlivem anizotropie můžeme změnit pouze výhodnějším umístěním vtokového systému. Protože použitý materiál je neplněný deformace způsobené anizotropií jsou zanedbatelné a to přesto, že použitý materiál na výrobu je semikrystalický. Případné úpravy by byly neefektivní a ekonomicky nevýhodné. Deformace vlivem chlazení jsou v řádech setin milimetru což je vzhledem k celkové deformaci hodnota zanedbatelná.

## 6.9 Teplota na čele taveniny

Při kontrole teploty na čele taveniny musíme vycházet z rozmezí teplot pro daný materiál. Při toku kanálem můžeme pozorovat dva extrémy. Teče-li tavenina malým průřezem, tak hrozí nebezpečí zamrznutí čela taveniny vlivem výrazného poklesu teploty. Vznikla by tak nedotečená místa na výrobku. Jestliže tavenina teče velkým průřezem, může nastat zvýšení teploty vlivem disipace. Vzniká tak nebezpečí překročení kritické teploty pro vstřikovaný polymer a tím degradace polymeru. Nejvyšší teplota čela taveniny je 250 °C. Degradace materiálu nehrozí, protože kritická hodnota pro zkoumaný polymer činí 280 °C. Nejnižší

teplota během toku je 168 °C v nejužším místě dutiny formy a proto nehrozí ani zamrznutí čela taveniny.



Obr.48 Teplota čela taveniny

## 6.10 Rychlost smykové deformace a smykové napětí na stěně

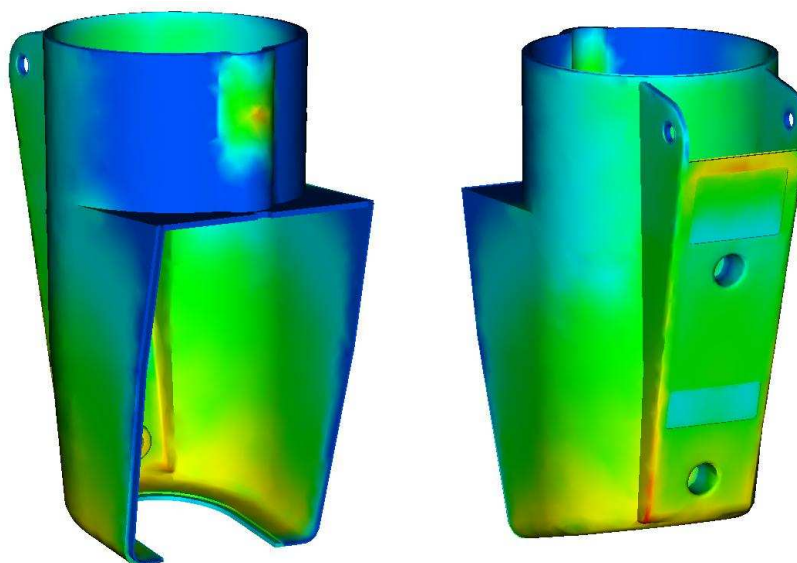
Rychlost smykové deformace měří jak rychle se jednotlivé vrstvy taveniny polymeru po sobě pohybují. Pokud je rychlost příliš velká, řetězce polymeru se lámou a materiál degraduje. Pokud změníme materiál na méně viskózní nebo zvýšíme teplotu taveniny, snížíme smykové napětí. Celková rychlost smykové deformace pro vybraný materiál nesmí podle materiálového listu překročit hodnotu 50000 1/s. Dle analýzy dosahují maximální hodnoty 21090 1/s. Nehrozí degradace polymeru.

Smykové napětí na stěně by nemělo přesahovat doporučenou hodnotu, která je uvedena v materiálové databázi. Pokud se nachází na výstřiku oblasti převyšující tuto hodnotu, mohlo by se stát, že při vyhazování z dutiny formy nebo při samotném provozu dojde k jejich uvolnění. Toto uvolnění může způsobit popraskání a nežádoucí deformace. Smykové napětí na stěně přesahuje povolenou mez 0,3 [MPa] v místě vstřiku ve chvíli zamrznutí okolí ústí vstřiku. Ten to problém by se dal odstranit optimalizací vstřikovacího procesu, zejména konce dotlakové fáze.

## 6.11 Index propadlin

Index propadlin ukazuje potenciální smrštění vnitřního jádra. Obecně lze říci, že je-li tloušťka žebra menší než 60% tloušťky hlavní stěny, je vysoce pravděpodobné že se neobjeví významné propadliny. Pokud je hodnota indexu propadlin negativní znamená to přeplňování v dané oblasti součásti. Pokud je index propadlin vysoký, značí to, že významné množství taveniny je schlazeno při nízkém tlaku. Redukce propadlin je možná zmenšením

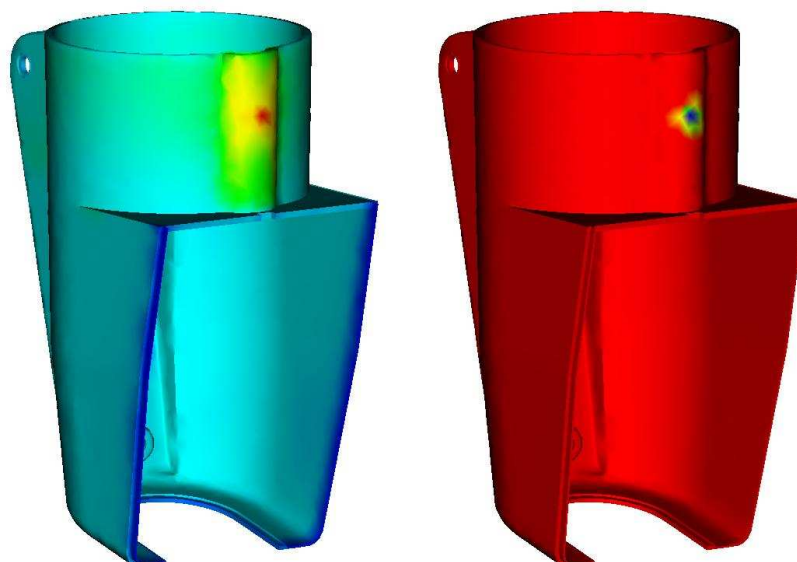
tloušťky stěny, zvětšení velikosti dotlaku a zvětšením velikosti vtoku. V našem případě je index relativně nízký. Případný zásah by nebyl příliš efektivní.



*Obr.49 Index propadlin*

## 6.12 Čas zchlazení výrobku a zatuhlá vrstva

Na obrázku můžeme vidět celkovou teplotu výstřiku a množství zatuhlých vrstev ve stejném čase.

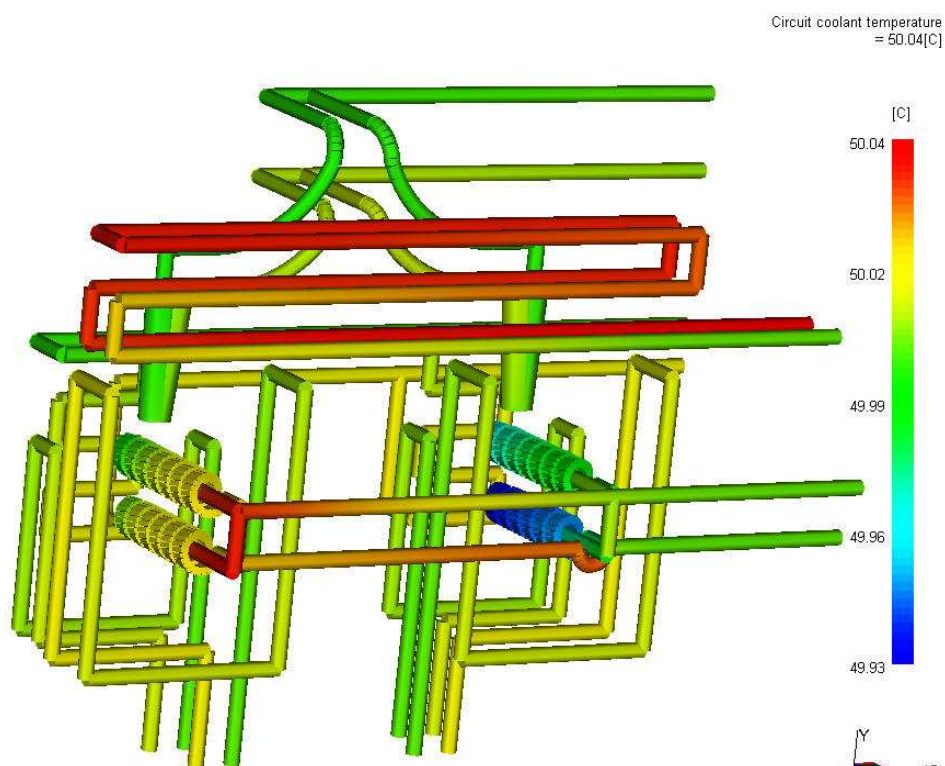


*Obr.50 Čas zchlazení a zatuhlá vrstva*

Na základě těchto analýz můžeme rozhodnout v jaký okamžik můžeme vyhodit výstřik z formy. Teplota polymerní taveniny se nemění pouze s časem a místem, ale také

po tloušťce během celého vstřikovacího cyklu. Po nejkratším možném čase tuhnutí, v mém případě je to 25,41 s, lze výrobek vyhodit z dutiny formy aniž by došlo k jeho poškození. Na levé části obrázku můžeme vidět, že převážná část výstřiku je již schlazena na vyhazovací teplotu (bleděmodrá barva). Na pravé části převládá červená barva, která vyznačuje místa se zatuhlou povrchovou vrstvou. Jediné místo kde není dostatečně silná povrchová vrstva je ústí vtokového systému. Tato část výstřiku může zatuhnout až po samotném vyhození.

### 6.13 Teplota chladicího média v chladícím obvodu

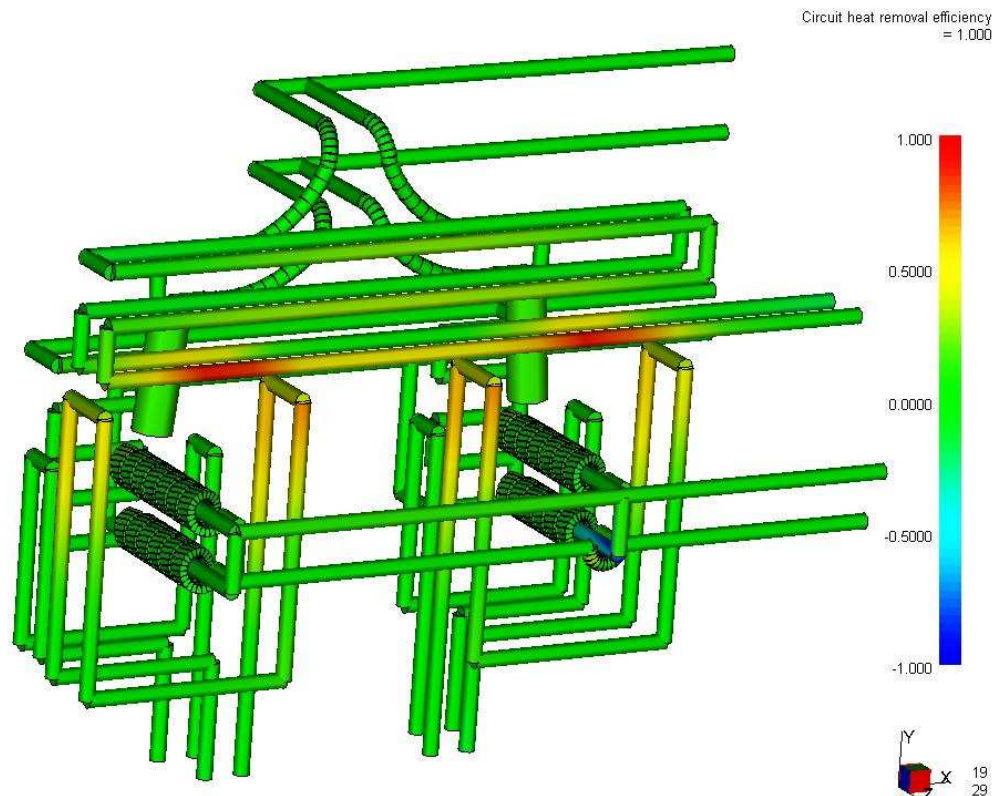


Obr.51 Teplota chladicího média

Analýza popisuje změnu teploty chladicího média od místa vstupu do místa výstupu. Jestliže je místní zvýšení teploty větší než  $3^{\circ}\text{C}$ , je třeba najít toto místo v chladícím okruhu a zjistit proč k navýšení dochází. Lze upravovat procesní podmínky nebo posílit chlazení kritického místa další soustavou kanálů popř. zvětšení jejich průřezů, které by umožnily snížit teplotu v dané oblasti. Rozdíl teplot chladicího média by neměl překročit  $5^{\circ}\text{C}$  při porovnání vstupu a výstupu na dané temperační větvi.



## 6.14 Efektivita odvodu tepla z chladicího obvodu



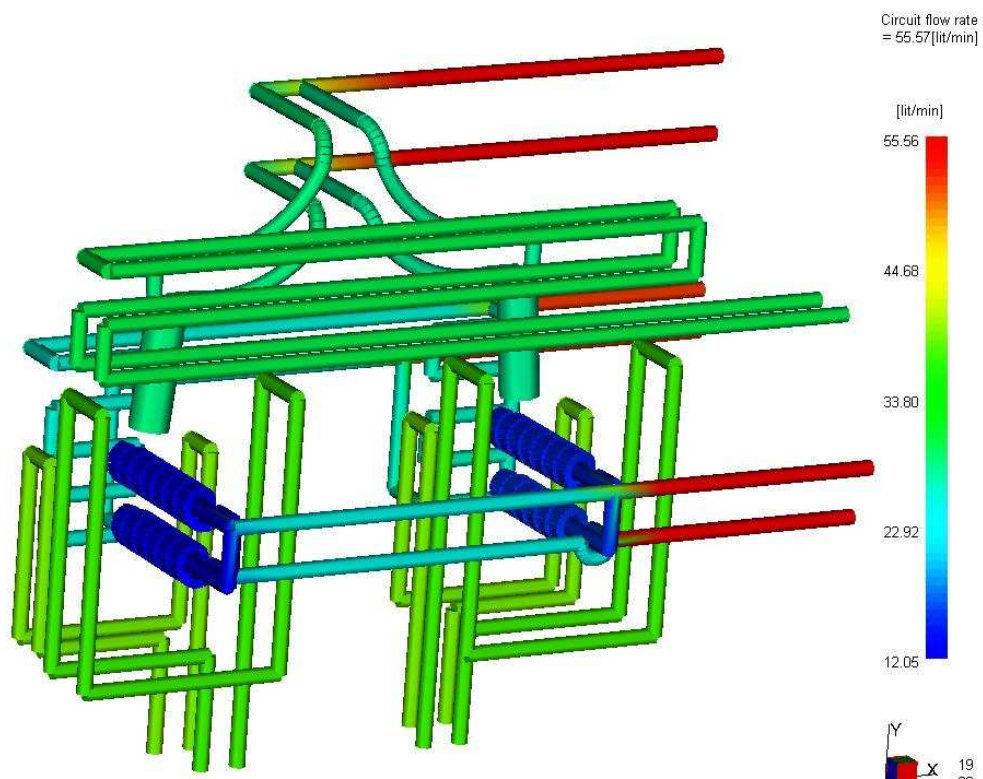
Obr. 52 Efektivita odvodu tepla

Tato analýza nám ukazuje schopnost každé části chladicí soustavy odvádět teplo. Čím výkonnější je část obvodu tím víc se blíží na stupnici číslu 1. V případě že kanály formu spíše ohřívají než ochlazují, hodnoty efektivity budou označeny jako záporné. Efektivita odvodu tepla z formy je ovlivňována několika faktory. Je to vzdálenost kanálu od modelu, Reynoldsovo číslo chladicího obvodu a teplotní rozdíl mezi chladicí tekutinou a formou v dané oblasti. V našem případě se záporná efektivita objevuje pouze v místě přívodu chladicího média do jednoho ze spirálových trnů. Toto místo slouží pouze jako přívodní kanál, který se dle návrhu na chlazení nepodílí. Místa s největší efektivitou jsou umístěna na pravé části formy, kde zajišťují odvod tepla v místech vyústění horkého vtoku.

## 6.15 Objemový průtok a Reynoldsovo číslo v chladicím obvodu

Objemový průtok a Reynoldsovo číslo v jednotlivých částech celé chladicí soustavy jsou spolu vzájemně provázány. Pokud má být odvod tepla z formy co nejlepší, musíme zajistit aby chladicí médium dosáhlo turbulentního toku. Turbulentní tok závisí na rychlosti, která ovlivňuje Reynoldsovo číslo. Hodnota tohoto čísla by neměla klesnout pod 4000, jinak by

se mohlo stát, že v kanálech bude převládat tok laminární, který je ve srovnání s turbulentním tokem při odvodu tepla méně efektivní.



Obr.53 Objemový průtok

## DISKUSE VÝSLEDKŮ

Zpracování diplomové práce vycházelo z požadavků daných oficiálním zadáním. Stěžejní částí byl návrh vstřikovací formy pro zadaný díl. Pro konstrukci výstřiku i formy byl zvolen program Catia V5R15. Při konstrukci bylo využíváno normálí firmy Hasco.

Vzhledem k požadavkům na kvalitu dílů byla forma navržena jako dvojnásobná. Konstrukce formy se odvíjela od modelu výstřiku. Tvarové části formy jsou negativem modelu výstřiku zvětšené o smrštění. Jedná se o tvárník, tvárnice, výsuvné jádra a čepy.

Pro vstřikování byl zvolen horký vtokový systém. Abychom mohli zvolit správný typ rozvodného bloku, museli jsme určit rozteč mezi tryskami. Za rozvodný blok byl zvolen Z106 a vtokové trysky Z200.

Temperanční systém zajišťuje osm samostatných okruhů. Na každé straně čtyři okruhy. Zvýšený počet okruhů je dán počtem chlazených tvarových částí a také užitím horkého vtokového systému. Snížení tohoto počtu lze realizovat přímo na vstřikovacím stroji propojením jednotlivých okruhů. Pro chlazení tvárníku a vnitřního jádra byly použity spirálové trny, jež zajišťují efektivní a rovnovážný odvod tepla.

Odformování tvárníku a tvárnice zajišťuje vyhazovací systém formy společně s robotickým ramenem. Radiální čepy jsou ovládány pomocí šikmého čepu. Vysunutí vnitřních jader je realizováno hydraulickým válcem. Ten zbytečně nezvětšuje formu, protože uvnitř se nachází pouze vysunutý píst. Samotný válec je připevněn z vnější strany. Hydraulický olej je dopravován hadicemi a přes koncovky přiváděn do válce z agregátu stroje.

Analýza vstřikovacího procesu byla provedena v programu Moldflow Plastics Insight 6.0. Z tokové analýzy jsme vyčetli vstřikovací čas a jednotlivé průběhy plnění, které prokázaly správnost celé konstrukce. Největší pozornost byla zaměřena na vtokový a temperanční systém. Vtokové kanály byly dostatečné na naplnění celé dutiny formy. Chladicí kanály rovnoměrně ochladily výstřik, který nevykazoval nežádoucí deformace.

Jako optimální vstřikovací stroj se ukázal Allrounder 630 S/630S ECO od firmy Arburg. Svými technickými parametry splnil požadavky, které byly nutné prvovýrobu kvalitních výstřiků.



## ZÁVĚR

Vyhotovení celé diplomové práce se odvíjelo od požadavků zmíněných v oficiálním zadání a rovněž od stanovených cílů.

Výrobkem, na který byla navržena vstříkovací forma je kryt nízkonapěťové zásuvky. Pro zkoumaný výrobek byl zvolen vhodný materiál: ABS – Terluran GP-35.

Stěžejním bodem práce byla konstrukce vstříkovací formy. Při konstrukci bylo využíváno normálí firmy Hasco. Násobnost formy byla zvolena dvojnásobná. Vtokový systém je vyhřívaný což umožňuje podstatné úspory ve spotřebě materiálu. Větší problém nastal při návrhu temperačního systému, který musel odvést značné množství tepla. Horká vtoková soustava velmi teplotně zatěžuje zejména pravou část formy. Proto byl navržen zvláštní okruh, který odvádí teplo přímo z desky, kde je umístěn horký rozvodný blok. Pro úspěšné fungování formy musí být navržen externí robot, jenž by doplnil vyhazovací systém formy. Součinnost obou systémů bude důležitá pro správné odstranění výstřiku z formy.

Dalším bodem bylo doložit konstrukci sestavou formy. Protože konstrukční provedení formy je díky množství součástí složitější, byla pro lepší přehlednost mimo 2D sestavy udělána i sestava 3D. Obě sestavy jsou součástí přílohy na CD. Kusovník je rovněž pro obě verze stejný. Forma obsahuje celkem 92 pozic a součet všech dílů je 498.

Pro navrženou vstříkovací formu byl zvolen vhodný typ vstříkovacího stroje: typ Allrounder 630 S/630S ECO.

Správné konstrukční řešení formy a vhodný materiál výstřiku měla ověřit analýza vstříkovacího procesu. Tato analýza byla rozvržena do tří částí. První analýza ukázala vhodné umístění vtokového systému ve formě. Výsledek sloužil spíše jako orientační pro počáteční návrh. Podstatná byla pro celou koncepci formy analýza deformační. Umožnila zjistit příčiny deformací pomocí oddělení jednotlivých vlivů. Jako hlavní příčina deformace se ukázalo smrštění. Vliv chlazení a anizotropie se ukázal jako zanedbatelný. Jednotlivé analýzy, které informovaly o možnosti degradace materiálu ukazovaly na správnou volbu procesních podmínek. Pouze smykové napětí na stěně v určitý okamžik vstříkování překračovalo povolenou mez. Jako poslední se ověřovala správnost návrhu temperačního systému a jeho schopnost udržet ve formě konstantní teplotní pole.

Nakonec bylo provedeno zhodnocení návrhu a rozbor řešení v diskuzi výsledků.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BOBČÍK, Ladislav. a Kol. Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. 2. opr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. a Kol. Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [3] BRUMMEL, Michal. Rozměrově přesné výrobky z plastů. 1.vyd. Praha: VÚNM, 1977. 278 s.
- [4] TOMIS, František., HELŠTÝN, Josef. Formy a přípravky. Brno: VUT, 1985. 278 s.
- [5] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [6] MAŇAS, M., VLČEK, J. Aplikovaná reologie. Zlín: UTB, 2001. 144 s. ISBN 80 7318-039-1.
- [7] KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 229 s.
- [8] Firemní katalog normálií HASCO.
- [9] Hasco. [www.hasco.com](http://www.hasco.com) : hasco [online]. [2000] , 29.11.2006 [cit. 2007-01-05]. Dostupný z WWW: <[www.hasco.com](http://www.hasco.com)>.
- [10] ŠTĚPEK, Jiří., ZELINGER, Jiří., KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastností plastů. 1.vyd. Praha: SNTL, 1989. 637 s.
- [11] GASTROW, Hans. Injection Molds: 130 proven designs. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2002. 313 s. ISBN 3-446-21448-8.
- [12] TOMIS, F. Základy gumárenské a plastikářské technologie. 1. vyd. Praha : SNTL, 1975. 278 s. ISBN 414-33543.
- [13] BEAUMONT, J. P. Runner and gating design handbook. 1st ed. Munich: Hanser Publisher, 2004. 286 s. ISBN 3-446-22672-9.
- [14] REES, H. Mold engineering. Munich: Hanser Publishers, 1995. 612 s.

ISBN 3-446-17729-9.

- [15] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R., SHERMAN, R. Successful injection molding. Munich: Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.
- [16] LINDNER, E., UNGER, O. Injection molds. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. 249 s. ISBN 3-446-21448-8.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylo-nytryl-butadien-styren
$c_p$	Specifické teplo [J/kg.°C]
F	Síla [N]
IT	Třída přesnosti
ITT	Index toku taveniny
P	Tlak [MPa]
t	čas [s]
$T_g$	Teplota skelného přechodu [°C]
$T_m$	Teplota tání [°C]
v	měrný objem [m <sup>3</sup> /kg]
$\alpha$	Součinitel teplotní roztažnosti [1/°C]
$\lambda$	Tepelná vodivost [W/m.°C]
$\rho$	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr.1 Princip vstřikovacího procesu.....</i>	10
<i>Obr.2 Jednotka bez předplastikace [5] .....</i>	11
<i>Obr.3 Jednotka s předplastikací [5] .....</i>	12
<i>Obr.4 Hydraulická uzavírací jednotka [5] .....</i>	13
<i>Obr.5 Hydraulickomechanická uzavírací jednotka [5] .....</i>	14
<i>Obr.6 Elektromechanická uzavírací jednotka [5] .....</i>	14
<i>Obr.7 Tok polymerní taveniny [3] .....</i>	18
<i>Obr.8 Orientace makromolekul [3] .....</i>	19
<i>Obr.9 pvT diagram [6] .....</i>	20
<i>Obr.10 Vliv technologie na smrštění [3] .....</i>	21
<i>Obr.11 Vtoková vložka.....</i>	26
<i>Obr.12 Průřezy vtokových kanálů [1] .....</i>	27
<i>Obr.13 Odstupňování průřezů [1] .....</i>	28
<i>Obr.14 Plný kuželový vtok .....</i>	28
<i>Obr.15 Bodový vtok .....</i>	29
<i>Obr.16 Tunelový vtok.....</i>	29
<i>Obr.17 Banánový vtok .....</i>	30
<i>Obr.18 Boční vtok .....</i>	30
<i>Obr.19 Filmový vtok .....</i>	31
<i>Obr.20 Diskový vtok .....</i>	31
<i>Obr.21 Vytápěný rozvodný blok [8] .....</i>	33
<i>Obr.22 Chlazení tvárnic .....</i>	35
<i>Obr.25 Chladicí přepážky [10].....</i>	35
<i>Obr.23 Otevřené chladicí trny [10].....</i>	36
<i>Obr.24 Spirálové trny [10] .....</i>	36
<i>Obr.26 Tepelná trubice [10].....</i>	37
<i>Obr.27 Typy vyhazovačů.....</i>	39
<i>Obr.28 Vyhazovací deska [8] .....</i>	39
<i>Obr.29 Šikmý čep [8].....</i>	40
<i>Obr.30 Vstříkovaný díl.....</i>	45
<i>Obr.31 Vtokový systém .....</i>	46

<i>Obr.32 Tvarové části</i> .....	47
<i>Obr.33 Temperační systém</i> .....	48
<i>Obr.34 Chlazení spirálovými trny</i> .....	49
<i>Obr.35 Šikmý čep</i> .....	49
<i>Obr.36 Hydraulický válec</i> .....	50
<i>Obr.37 Vyhazovací systém</i> .....	50
<i>Obr.38 Sestava formy</i> .....	52
<i>Obr.39 Pravá část formy</i> .....	52
<i>Obr.40 Levá část formy</i> .....	53
<i>Obr.41 Allrounder 630 S/630S ECO</i> .....	53
<i>Obr.42 Umístění vtoku</i> .....	56
<i>Obr.43 Čas plnění</i> .....	57
<i>Obr.44 Průběh uzavírací síly</i> .....	58
<i>Obr.45 Průběh tlaku</i> .....	59
<i>Obr.46 Vzduchové kapsy a studené spoje</i> .....	60
<i>Obr.47 Celkové deformace</i> .....	61
<i>Obr.48 Teplota čela taveniny</i> .....	62
<i>Obr.49 Index propadlin</i> .....	63
<i>Obr.50 Čas zchlazení a zatuhlá vrstva</i> .....	63
<i>Obr.51 Teplota chladícího média</i> .....	64
<i>Obr. 52 Efektivita odvodu tepla</i> .....	65
<i>Obr.53 Objemový průtok</i> .....	66

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab.1 Mechanické vlastnosti ABS.....</i>	<i>43</i>
<i>Tab.2 Teplotní vlastnosti ABS.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 3 Vlastnosti Terluran GP-35 .....</i>	<i>44</i>
<i>Tab.4 Parametry uzavírací jednotky.....</i>	<i>54</i>
<i>Tab.5 Parametry vstříkovací jednotky .....</i>	<i>54</i>
<i>Tab.6 Procesní podmínky .....</i>	<i>55</i>
<i>Tab.7 Hodnoty deformací .....</i>	<i>60</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

P I. Řez formou

P II. Levá strana formy

P III. Pravá strana formy

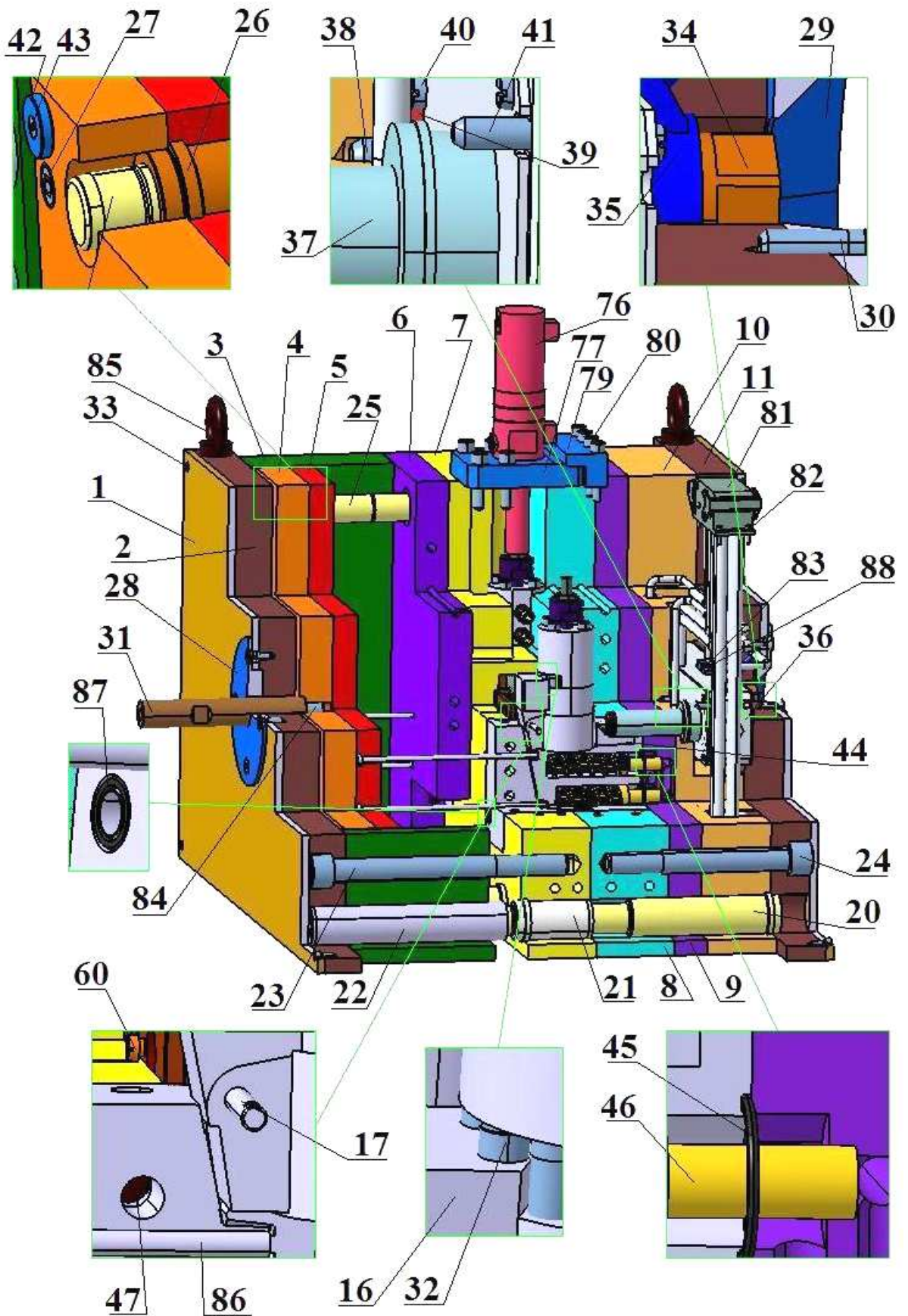
P IV. Kusovník část 1

P V. Kusovník část 2

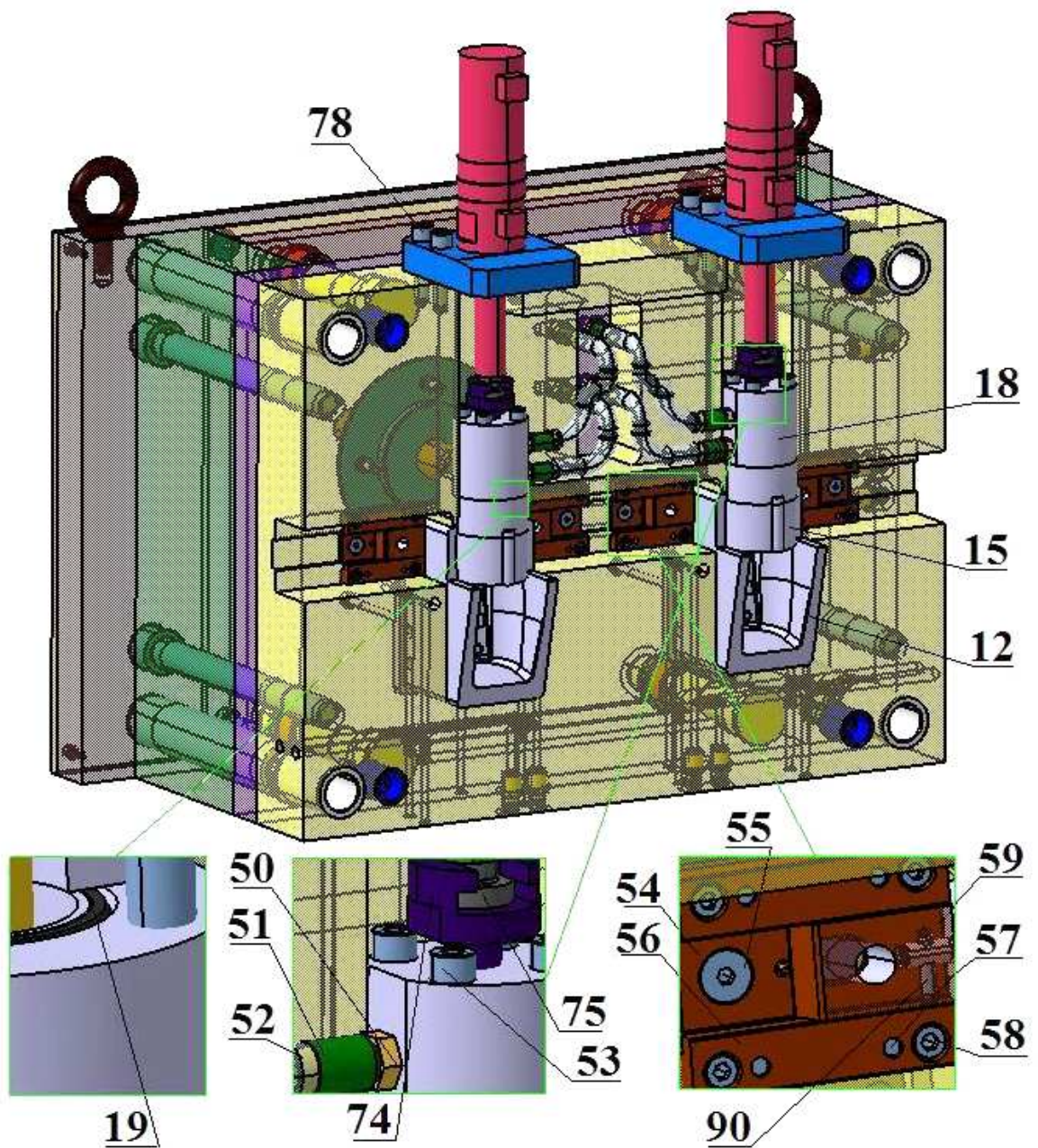
P VI. CD disk obsahující:

- Sestavu formy ve 2D
- Kusovník
- Sestavu formy ve 3D
- Analýzu vstřikovacího procesu

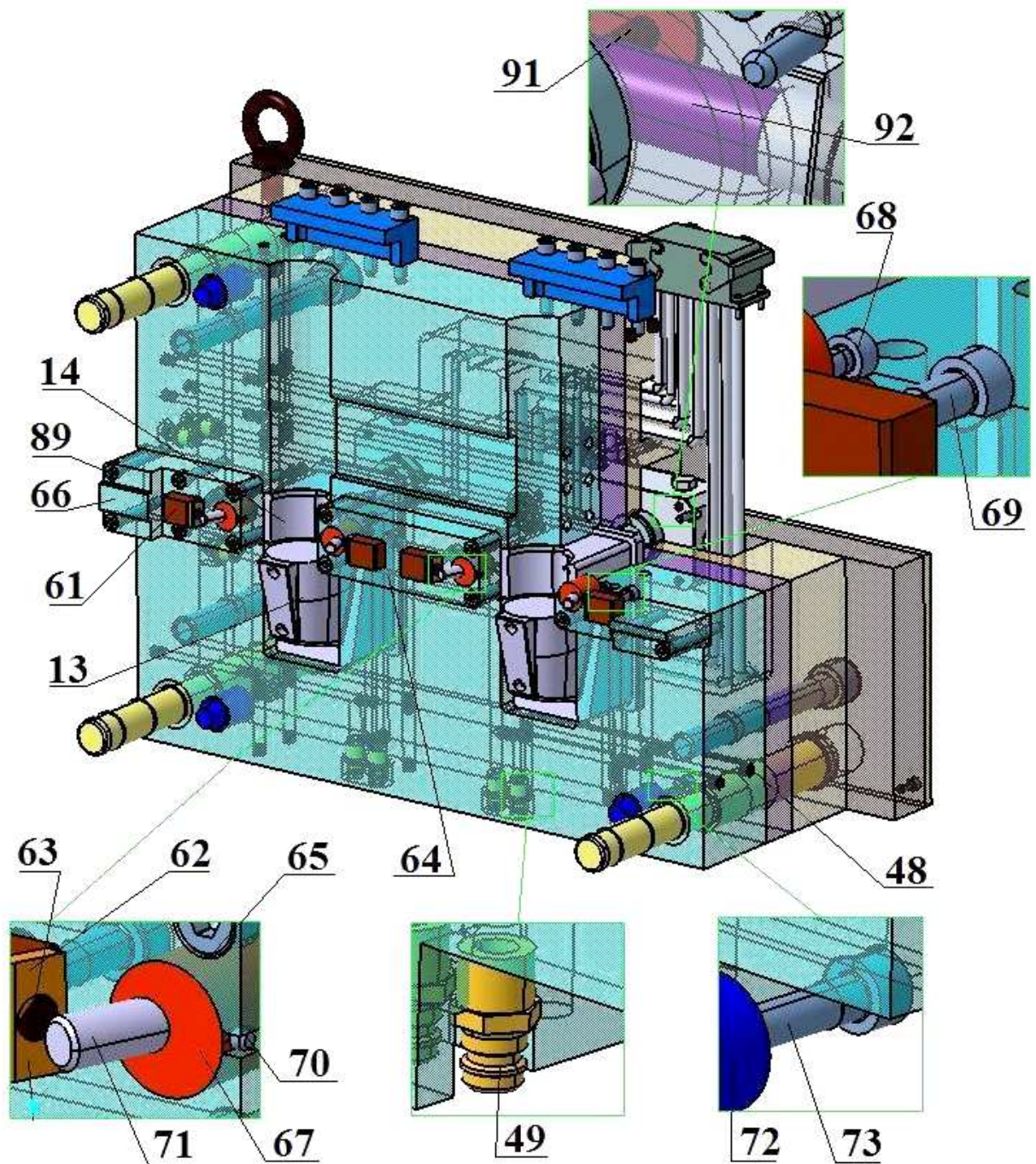
# PŘÍLOHA P I: ŘEZ FORMOU



## PŘÍLOHA P II: LEVÁ STRANA FORMY



# PŘÍLOHA P III: PRAVÁ STRANA FORMY



## PŘÍLOHA P IV: KUSOVNÍK ČÁST 1

49	Z811_13_16x1-5	HASCO		16
48	Z94_10x1	HASCO		78
47	Z942_10	HASCO		65
46	Z968_25x125	HASCO		6
45	Z98_27-3_2-4	HASCO		4
44	Z32_8x30	HASCO		8
43	ŠROUB M4x16	ISO 10642		4
42	DISTANČNÍ KROUŽEK ø25		14220	4
41	KOLÍK ø6x22	ISO 2340		1
40	ŠROUB M4x8	ISO 1207		12
39	Z1052_3_20x5	HASCO		3
38	KOLÍK ø8x22	ISO 2340		1
37	Z200_45x112	HASCO		2
36	Z106/1	HASCO		1
35	Z30_5X20	HASCO		1
34	Z1055_1_30x56_12	HASCO		1
33	ŠROUB M6x16	ISO 4762		8
32	ŠROUB M5x16	ISO 4762		4
31	Z02_30x180	HASCO		1
30	ŠROUB M8x20	ISO 10642		8
29	K100_160x16-5	HASCO		1
28	K500_160x16-5	HASCO		1
27	ŠROUB M10x45	ISO 4762		4
26	Z10_27_30	HASCO		4
25	Z03_27_30x165	HASCO		4
24	ŠROUB M24x160	ISO 4762		4
23	ŠROUB M24x260	ISO 4762		4
22	Z20_3	HASCO		4
21	Z10_2	HASCO		4
20	Z00_156_32x155	HASCO		4
19	Z98_27-3_2-4	HASCO		2
18	PŘÍRUBA		14 220	2
17	TVÁRNÍK C		19 512 kal. HRC 52-54	4
16	JÁDRO B		19 512 kal. HRC 52-54	2
15	JÁDRO A		19 512 kal. HRC 52-54	2
14	TVÁRNÍK B		19 512 kal. HRC 52-54	2
13	TVÁRNÍK A		19 512 kal. HRC 52-54	2
12	TVÁRNICE		19 512 kal. HRC 52-54	2
11	UPÍNACÍ DESKA PRAVÁ		11600	1
10	ROZVÁDĚCÍ DESKA		11600	1
9	CHLADÍCÍ DESKA PRAVÁ		11600	1
8	TVAROVÁ DESKA PRAVÁ		11600	1
7	TVAROVÁ DESKA LEVÁ		11600	1
6	CHLADÍCÍ DESKA LEVÁ		11600	1
5	VYHAZOVAČÍ DESKA KOTEVNÍ		11600	1
4	VYHAZOVAČÍ DESKA OPĚRNÁ		11600	1
3	ROZPĚRKA		11600	2
2	UPÍNACÍ DESKA LEVÁ		11600	1
1	Z121_446696_8-5_90	HASCO		2
POZICE	NÁZEV	NORMA	MATERIÁL	POČE



				T
--	--	--	--	---

## PŘÍLOHA P V: KUSOVNÍK ČÁST 2

92	Z1061_10_14-5x80	HASCO		2
91	Z33_6x16	HASCO		2
90	KOLÍK ø4x16	ISO 2340		4
89	ŠROUB M8x70	ISO 4762		4
88	ŠROUB M4x12	HASCO		1
87	Z98_11-8_2-4	HASCO		4
86	Z40_2	HASCO		4
85	Z71_16	HASCO		4
84	ŠROUB M12x40	ISO 4026		1
83	Z1295_1_4x20	HASCO		1
82	ŠROUB M4x14	ISO 4762		4
81	Z1227_16_16	HASCO		1
80	ŠROUB M10x55	ISO 4762		8
79	ZÁMEK		14220	2
78	ŠROUB M12x50	ISO 4762		8
77	Z2310_48x1-5	HASCO		2
76	Z2300_25x70	HASCO		2
75	Z2330_12	HASCO		2
74	Z2320_16	HASCO		2
73	ŠROUB M10x40	ISO 4762		8
72	Z05	HASCO		4
71	ŠIKMÝ ČEP		14220	4
70	KOLÍK ø4x10	ISO 2340		4
69	ŠROUB M8x40	ISO 4762		4
68	ŠROUB M5x18	ISO 4762		4
67	Z187_25x27x10	HASCO		4
66	HRANOL B		11600	2
65	ŠROUB M8x55	ISO 4762		12
64	HRANOL A		11600	1
63	Z33_4x8	HASCO		4
62	Z1821_12x4x22	HASCO		4
61	Z182_16x22	HASCO		4
60	Z36_4x9	HASCO		4
59	Z180_12x40x25_2767	HASCO		4
58	ŠROUB M5x12	ISO 4762		16
57	KOLÍK ø5x18	ISO 2338		16
56	Z185w_16x12x71	HASCO		8
55	ŠROUB M6x12	ISO 10642		4
54	Z186w_25x5x71	HASCO		4
53	ŠROUB M8x80	ISO 4762		8
52	Z854	HASCO		4
51	Z861	HASCO		8
50	Z87_13_14x1-5	HASCO		8
POZICE	NÁZEV	NORMA	MATERIÁL	POČET