



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh vstřikovací formy

Design of Injection Molds

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Radek SCHÖN

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Petr Karel Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Schön** Jméno: **Radek** Osobní číslo: **438318**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh vstříkovací formy

Název bakalářské práce anglicky:

Design of Injection Molds

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh vstříkovací formy pro výrobu zadané plastové součásti. Součástí práce bude konstrukční úprava zadané součásti pro vytvoření za pomoci vstříkovaní, popis nutných úprav, volba dělicí roviny a počtu dílů formy, zohlednění smrštění formy, vhodná volba vyhazovačů a způsobu chlazení. Práce dále bude obsahovat výpočty zavírací síly, vyhazovací síly, ... Rozsah grafické části: 3D CAD model; výrobní výkres zadané součásti a upravené součásti, sestavný (návrhový) výkres formy a výrobní výkres jednoho dílu formy.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] Joseph E. Shigley: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0
- [3] FREDERICK E. GIESECKE. Technical Drawing with Engineering Graphics. 2014. ISBN 13: 9781292026183.
- [4] Katalogy výrobců

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. Karel Petr, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **12.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Karel Petr, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Vojtěch Dyrný, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

10.4.2018
Datum převzetí zadání

Yehov
Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh vstříkovací formy“ vypracoval samostatně pod vedením ing. Karla Petra Ph.D. s použitím odborné literatury uvedené v seznamu na konci bakalářské práce.

V Praze 28.3.2018

.....
Radek Schön

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Karlu Petrovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a také trpělivost, se kterou se mi věnoval. Rovněž bych chtěl poděkoval panu Ing. Ondřeji Kociánovi a jeho otci ze společnosti BRONAS s.r.o. za poučné návrhy a vysvětlení týkající se vstřikovacích forem.

Anotační list

Jméno autora:	Radek Schön
Název BP:	Návrh vstřikovací formy
Anglický název:	Design of Injection Molds
Rok:	2017/2018
Studijní program:	Strojírenství
Obor studia:	3901R051 Konstruování podporované počítačem
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Petr Karel Ph.D.
Konzultant:	Ing. Ondřej Kocián
Bibliografické údaje:	počet stran: 51 počet obrázků: 49 počet tabulek: 4 počet příloh: 4
Klíčová slova:	Vstřikovací forma, vstřikování, temperace, Odvzdušnění, vtokové systémy
Keywords:	Injection molds, injection, tempering, ventilation, runner systems
Anotace:	Práce se zabývá navrhováním a konstrukcí vstřikovacích formy na plasty. Dále se tu řeší zaformování vylisku, vyhazování vylisku, temperace, odvzdušnění a vstřikovací systém formy. Součástí práce jsou základní výpočty, výrobní výkres středové desky a výkres sestavy.
Abstract:	Work is engaged in designing and construction of injection molds for plastics. The molding, die casting, tempering, venting and injection molding system are also solved here. Part of the work is the basic calculations, the production drawing of the center plate and the drawing of the assembly.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	1
1. Úvod.....	3
2. Teoretická část.....	4
2.1. Zaformovatelnost	5
2.2. Tloušťka stěn.....	6
2.3. Tloušťka žeber	7
2.4. Ostré rohy na výlisku.....	8
2.5. Dlouhé otvory ve výliscích.....	9
2.6. Lisovací úkosy výlisků	9
2.7. Vyhazování výlisků z forem.....	11
2.7.1. Výpočet vyhazovacích sil	12
2.8. Temperace forem.....	13
2.8.1. Návrh temperačního systému	14
2.8.2. Přepážkové systémy	16
2.8.2.1. Ploché přepážky	17
2.8.2.2. Spirálové přepážky	18
2.8.2.3. Fontánky.....	19
2.9. Odvzdušnění dutiny vstříkovací formy.....	20
2.9.1. Odvzdušnění v dělicí rovině.....	20
2.9.2. Umístění odvzdušňovacích kanálů	21
2.10. Vtokové systémy forem.....	22
2.10.1. Studená vtoková soustava	22
2.10.1.1. Vtokový kanál	23
2.10.1.2. Vtokové ústí.....	24
2.10.1.3. Jímka studeného čela taveniny.....	26
2.10.1.4. Přidržovač vtoku	26
2.10.2. Vyhřívaná vtoková soustava	26
2.10.2.1. Dýza s vnějším topením	28
2.10.2.2. Dýza s vnitřním topením	29
2.10.2.3. Dýza s uzavíráním ústí vtoku.....	30
3. Praktická část.....	31
3.1. Popis vstříkovaného dílce.....	31

3.2.	Konstrukce formy	32
3.3.	Vtoková soustava	33
3.4.	Dělicí rovina	34
3.5.	Tvarové části formy	36
3.6.	Pohyb bočních tvarových vložek, čelní vložky a tvarového jádra	37
3.7.	Vyhazování dílu z formy	38
3.8.	Temperační systém formy	39
3.9.	Rám formy.....	41
3.10.	Odvzdušnění formy	42
3.11.	Vstřikovací stroj.....	43
3.12.	Výpočet vyhazovací síly	44
3.13.	Kontrola vyhazovače na vzpěr	45
3.14.	Výpočet uzavírací síly formy	46
3.15.	Výpočet teoretického množství chladicí kapaliny	46
4.	Závěr.....	48

Seznam použitých zkratk a symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
s	[mm]	tloušťka stěny
a	[mm]	tloušťka žebra
S _{Fef}	[%]	efektivní smršťování
σ_T	[MPa]	tahové napětí
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
T _v	[°C]	teplota vyhazování
T _{vstřik.}	[°C]	teplota vstřikování
P _T	[MPa]	tlak mezi plastem a tvárníkem
r ₃	[mm]	střední poloměr
F _{Vef}	[N]	efektivní vyhazovací síla
S _{TV}	[mm ²]	plocha výstřiku na které díl sedí při vyhazování
f	[-]	koeficient tření mezi výliskem a kovem
D	[mm]	průměr vyhazovače
L	[mm]	kontrolovaná délka vyhazovače
F	[N]	síla působící na vyhazovač
F _{KR}	[N]	kritická síla působící na vyhazovač
n	[-]	způsob uložení
J _{min}	[mm ⁴]	kvadratický moment
k	[-]	koeficient bezpečnosti
S _{PR}	[mm ²]	průmětná plocha
Q _{TM}	[kJ]	množství odvedeného tepla
m	[l/min]	množství chladicí kapaliny
ΔT	[°C]	teplotní spád
c	[kJ/kg]	měrné teplo vody



Symbol	Jednotka	Popis
v	[m/s]	rychlost proudění
S _{MIN}	[mm ²]	nejmenší plocha průtoku
PS	-	polystyren
PE	-	polyetylen
PP	-	polypropylen
PA	-	polyamid
POM	-	polyoxymethylen, polyformaldehyd
AS	-	pohyblivá strana formy
DS	-	pevná strana formy

1. Úvod

Jak již název napovídá, předmětem této práce bude návrh vstřikovací formy pro zadaný výlisek. Výlisek má být z polyoxymethylenu (POM), což je vysoce krystalický termoplast charakteristický svojí vysokou mechanickou pevností, tuhostí a rázovou houževnatostí. Tato forma bude používána na vstřikovacím lisu od firmy Arburg, označení lisu 370C 800-225.

Zadavatelem projektu je firma BRONAS s.r.o. se sídlem v Heřmánkovicích. Jedná se o firmu zaměřenou na výrobu vstřikovacích forem, forem pro lití lehkých slitin, nástrojů pro výrobu dílů z plechu, dále jednorúčelových strojů a zařízení. Výkonové a rozměrové parametry jsou zadané podle konkrétních potřeb firmy BRONAS, pro splnění požadavků jejich zákazníků.

Vstřikováním se zpracovávají plasty i kaučukové směsi. Technologie vstřikování umožňuje vyrábět výrobky velmi složitých tvarů pro aplikace v automobilovém, leteckém a kosmickém průmyslu, v elektrotechnice a optice, ve zdravotnictví, v přístrojích pro domácnost, sport a volný čas. [1]

Vstřikování patří mezi technologie zpracování polymerů, které zaznamenaly v poslední době bouřlivý rozvoj. Byla vyvinuta řada zpracovatelských postupů umožňujících vyrábět velmi složité výrobky miniaturních rozměrů, ale i výrobky velkorozměrné, složené z několika homogenních i heterogenních materiálů. Toky taveniny ve složitých geometriích jsou velmi komplikovanou záležitostí, která se neobejde bez pomoci výkonné výpočetní techniky. K dispozici je řada velmi výkonných simulačních softwarů usnadňujících řešit tyto problémy v předstihu, ještě před započítáním výroby vlastního nástroje, což může přinášet velké úspory a zkrácení cyklu od návrhu výrobku po jeho produkci. [2]

Při konstrukci vstřikovací formy se může využít stavebnicového systému s aplikací normálií. K známějším patří zejména HASCO, CECHO, D-M-E, MEUSBURGER, STRACK a SYNVENTIVE. Přínosem normalizace je zejména zkrácení výrobních časů při výrobě formy. V důsledku sériové výroby jsou mnohé normálie oproti kusové výrobě levnější, což je další výhoda. [3]

2. Teoretická část

Konstrukční návrh součástí z plastu se řídí zcela jinými zásadami než u součástí kovových. Nejdůležitější etapou realizace plastového dílu je jeho správná konstrukce, a to jak z hlediska funkčního, tak z pohledu lisotechnického.

Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastnosti, které by se neměly překročit, jinak vzniknou při výrobě problémy. Všeobecně platí: Čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, lacinější výroba formy a jednodušší výroba výstřiků. Ve skutečnosti je však třeba hledat kompromis mezi jednotlivými požadavky. [4]

Samotná, byť koncepčně dobře řešená forma a optimální technologie výroby, již prvotní nedostatky konstrukce dílu neodstraní. Konstrukce výlisku musí splňovat v zásadě dvě hlavní hlediska:

- 1) a) funkci plastového dílu v daném zařízení
b) užité, estetické, ergonomické a bezpečnostní hlediska

- 2) Lisotechnické zásady – technologičnost.
 - a) zaformovatelnost
 - b) tloušťky stěn, žeber, nálitky a rádiusy
 - c) lisovací úkosy
 - d) tvary stěn dílů, z důvodu jejich možné deformace
 - e) tolerance výlisků z hlediska technologických možností použitých materiálů a zaformování (dle norem.
 - f) volba vhodného druhu plastu
 - g) dále nutno zohlednit příslušné požadavky norem, které platí pro finální výrobek, ve kterém je díl z plastu nasazen

[5]

Z výše uvedených důvodů je žádoucí, aby již konstruktér vlastního dílu z plastu měl základní znalosti o technologických zásadách jeho řešení a technických možnostech použitého materiálu v podmínkách jeho provozu.

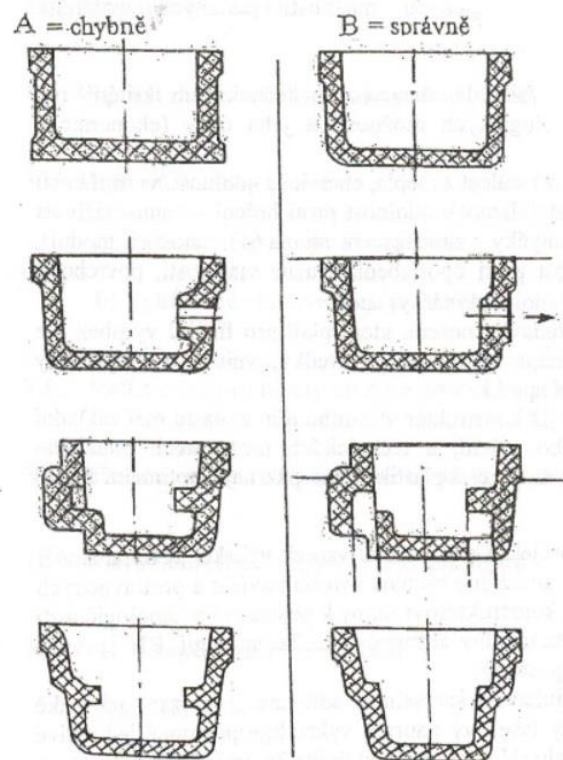
2.1. Zaformovatelnost

Zaformovatelností se rozumí způsob optimálního zaformování ve formě, volba dělicí roviny, aby vylisek, odformovatelný pomocí různých konstrukčních prvků mohl být ekonomicky vyráběn, nejlépe v automatickém chodu (obr.1). [5]

Dělicí rovina je plocha, ve které na sebe dosedají části formy při uzavření dutiny formy. Dělicí rovina se umísťuje vzhledem k výrobku tak, aby se usnadnilo jeho vyjímání z dutiny formy a aby stopa po dělicí rovině nepůsobila funkční nebo vzhledové závady výrobku. Případně vzniklý přetok se musí dát lehce odstranit. S ohledem na umístění dělicí roviny rozlišujeme hlavní a vedlejší dělicí rovinu. [4]

Za hlavní dělicí rovinu se zpravidla považuje dělicí rovina, která je kolmá ke směru uzavírání formy. Ostatní dělicí roviny (plochy) jsou pak vedlejší. Vedlejší dělicí roviny jsou nutné u výrobků s bočními otvory, nálitky, zápichy apod. [4]

V dnešní době z ekonomických důvodů dochází k integraci stále většího množství funkcí do jednoho dílu, tím vznikají stále náročnější tvary z pohledu odformování a následně i složité formy.



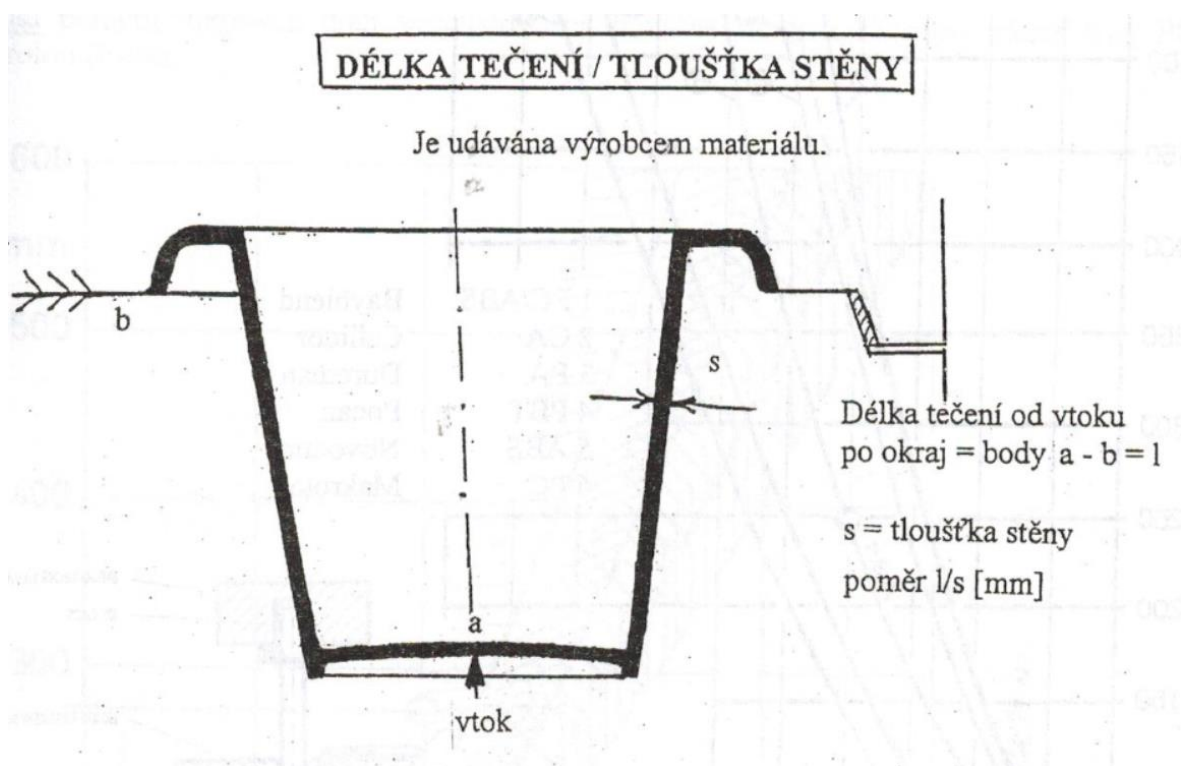
Obr. 1.: Příklady zaformovatelnosti. [5]

2.2. Tloušťka stěn

Minimální tloušťka stěny závisí na druhu materiálu. Tloušťka stěny závisí také na složitosti tvaru výrobku. Základním požadavkem je tedy dosáhnout co nejmenší tloušťky stěny. Dále se požaduje, aby tloušťka stěny byla rovnoměrná. [4]

Tloušťka stěny musí splňovat požadavek funkční – tzn. Pevnost a tuhost. Tuhost je spolu s pevností závislá na volbě materiálu – plastu, na tloušťce stěny, respektive tvaru namáhaného profilu.

Musí splňovat požadavek lisotechnický, z hlediska tečení plastu ve formě. Tato charakteristika je dána pro každý typ plastu poměrem (obr.2): [5]



Obr. 2.: Příklad charakteristiky l/s [5]

U tvarově členitých vylisků s rozdílnými stěnami, kde nelze jen dle charakteristiky l/s posoudit zatékavost, je vhodné provést analýzu plnění pomocí počítačové simulace.

Abychom mohli z ekonomických důvodů snížit tloušťku stěny (pokud vyhoví našemu požadavku tuhosti) dáme více vtoků. Tímto zmenšíme délku tečení, respektive poměr l/s . [5]

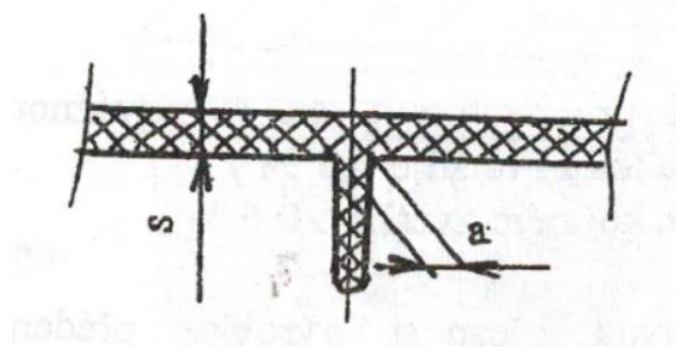
2.3. Tloušťka žeber

Při návrhu žeber je důležité pamatovat na to, že jsou součástí konstrukce jen kvůli zvýšení pevnosti a nemělo by docházet ke kompromisům z důvodu estetiky vylisku. Je-li to možné, nemělo by docházet ke kombinaci tlustých a tenkých žeber. Pro zvýšení pevnosti je lepší zvýšit počet žeber nežli zvětšovat jejich výšku. Poloměr zaoblení hran žeber by neměl být větší než 50 % tloušťky žebra. [6]

Z lisotechnického hlediska musí mít tloušťka žebra určitý poměr k hlavní tloušťce stěny, pokud u vzhledových vylisků chceme eliminovat vtaženiny, což je objemová kontrakce při chladnutí vylisku. (obr.3)

Vtaženiny po žebrech a nálitcích jsou na vzhledových vyliscích, především u spotřebního zboží velkým problémem. Nejvíce jsou vtaženiny patrné na lesklých povrchových plochách, zvláště u tmavých barev. [5]

Stanovení tloušťky žeber:



Obr. 3.: Tloušťka žebra [5]

Literární údaj: $a \leq 0,5-0,66 \cdot s$

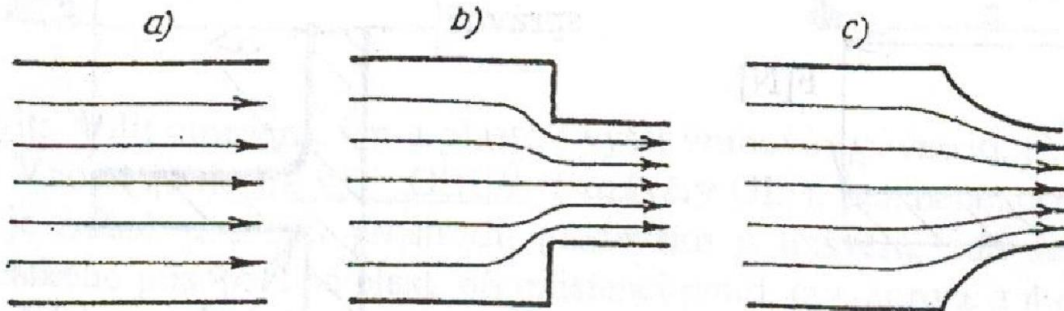
Z praxe u amorfních plastů (PS, ABS, PPO): $a \leq 0,7 \cdot s$

Z praxe u semikrystalických plastů (PE, PP, PA, POM): $a \leq 0,5 \cdot s$

Při tlustších nálitcích a navazujících stěnách je možno k zamaskování vtaženin použít vhodných výstupků nebo drážek na vnější viditelné ploše. [5]

2.4. Ostré rohy na výlisku

Jakákoliv změna průřezů způsobí zvýšení napětí, tzv. špičku napětí. Tam kde dochází ke zhuštění proudnic (obr.4), dochází ke zvýšení napětí σ , tedy k jeho koncentraci. Koncentrace je tím větší, čím větší je změna průřezu. [5]

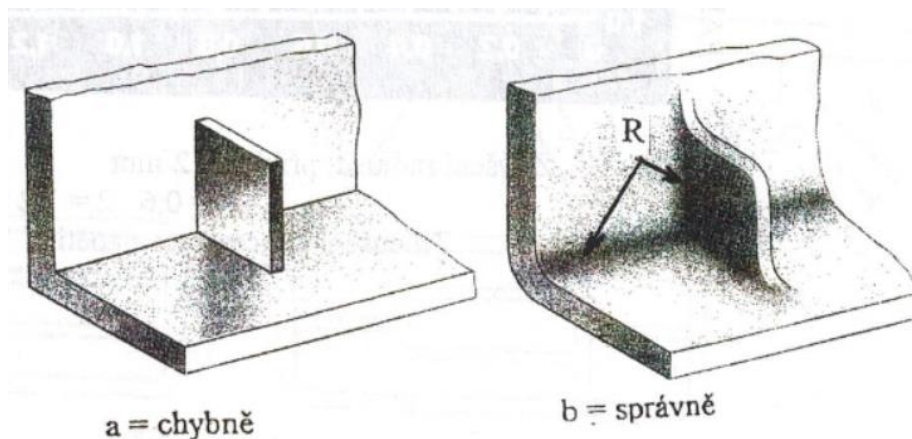


Obr. 4.: Vliv změny průřezu na velikost napětí. [5]

Velké množství plastových výlisků má problémy v důsledku ostrých rohů a nedostatečných poloměrů zaoblení. Ostré rohy vytvářejí místní vnitřní pnutí, důsledkem čehož může být popraskání a předčasný rozpad plastového dílu. Přidání zaoblení na všechny ostré rohy nejenže sníží vnitřní pnutí, ale také zlepší tečení materiálu. [6]

V praxi to znamená, že se zaoblením nepřímo ovlivňuje smrštění. Současně se také usnadňuje vyhazování výstřiků z formy, takže se sníží nebezpečí deformací při vyhazování. [2]

Obecně se dodržuje pravidlo, že na vnitřní stranu ostrého rohu se aplikuje minimální zaoblení s poloměrem rovným $0,5 \cdot s$ a na vnější stranu ostrého rohu $1,5 \cdot s$, případně větší rádius, pokud to konstrukce dílu dovoluje (obr.5). [6]



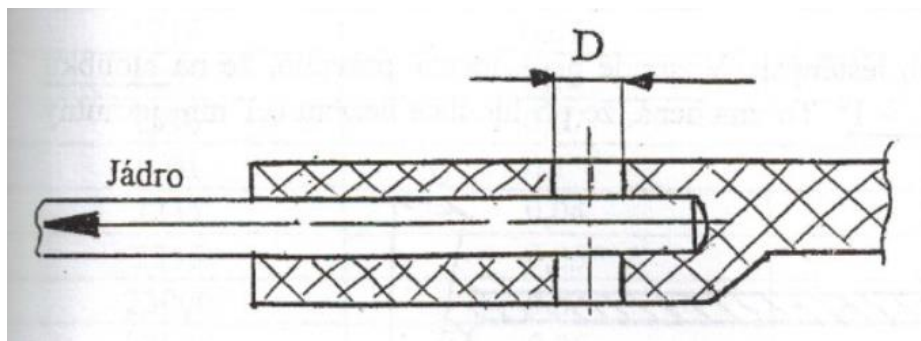
Obr. 5.: Odstranění ostrých rohů. [5]

2.5. Dlouhé otvory ve výliscích

Dlouhé otvory ve výliscích se formují pomocí kolíků, respektive výsuvných jader, v závislosti na směru zaformování (obr.6). Tyto prvky musí mít pro účely odformování lisovací úkosy od $0^{\circ}10'$ po $0^{\circ}30'$. [3]

Větší průměry jader by měly být temperovány, nebo nutno použít tepelně vodivých materiálů (např. Ampcoloy).

Délka jader a kolíků letmo kotvených u výlisků z TP, by měla v poměru k jejich průměru být cca $1/d \leq 5-8$, dle podmínek jejich obtékání taveninou. U delších otvorů musíme ve formě počítat s technologickými otvory pro podepření jader. [5]



Obr. 6.: Vytvoření otvoru pomocí jádra. [5]

2.6. Lisovací úkosy výlisků

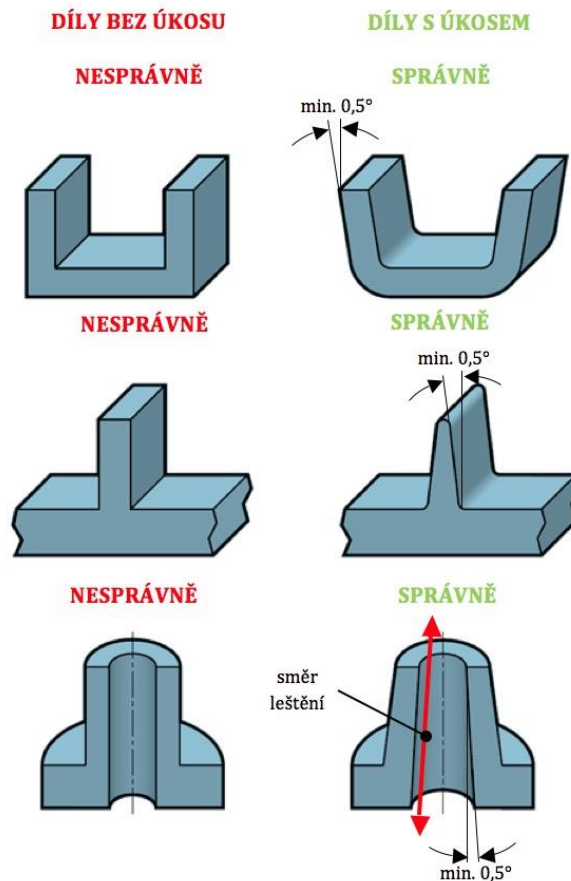
Hlavním důvodem opatření určitých partií vstřikovaného dílu úkosy (boční stěny, žebra, komínky apod.) je zlepšení odformovatelnosti vstřikovaného dílu (obr.7).

Způsob zaformování dílu určuje umístění a velikost úkosů. Prvky tvořené slepými otvory ve formě jako např. komínky, žebra či výztuhy se zužují směrem ke svému konci. Povrchy tvořené pohyblivými jádry obvykle nemusí být opatřeny úkosem, pokud je příslušný prvek dílu odformován ještě před otevřením vstřikovací formy. [7]

Obvyklé hodnoty lisovacích úkosů jsou $0^{\circ}30'-2^{\circ}$, v závislosti na hloubce tvaru a tloušťce stěny. Tenkostěnné výlisky by měly mít lisovací úkosy větší. Rovněž tak větší výlisky s hustou sítí různých otvorů (koše, filtry) ve stěně a větrací mřížky by měli mít úkosy minimálně $3^{\circ}-5^{\circ}$. [5]

Lisovací úkosy jsou také ovlivněny drsností povrchu, zde platí jiné zásady než u ploch leštěných. Zde platí obecné pravidlo, že na hloubku dezénu 0,02 mm je nutný úkos 1° . To znamená, že při hloubce dezénu 0,2 mm je nutný úkos 10° .

Silná adheze výliseků ke tvarům v případě malých úkosů může vést k problémům při vyhazování z formy. Vyhazovací prvky výlisek deformují a ve výliseku pak vzniká další z řady pnutí, takzvané deformační pnutí. [5]



Obr. 7.: Lisovací úkosy. [7]

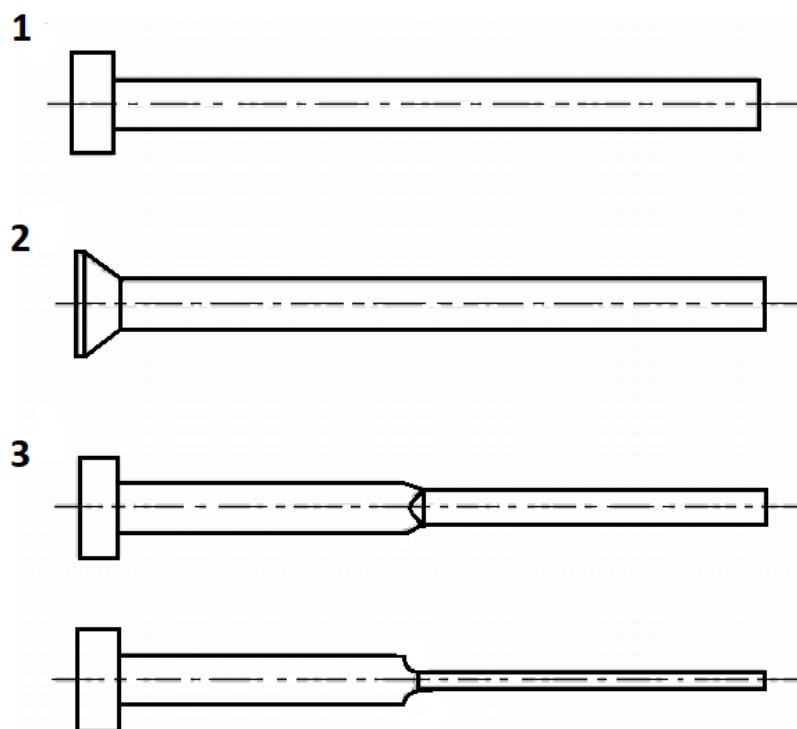
2.7. Vyhazování výlisků z forem

Každý plastový díl je potřeba po ztuhnutí plastu vyjmout, nebo jak se česky říká "vyhodit" z dutiny, čímž by měl být zajištěn převážně automatický výrobní cyklus.

Jednoduché tvary se vyhazují pomocí vyhazovačů (obr.8). Složitější nebo subtilnější tvary se vyhazují přes stírací desku. Ovládání stírací desky nabízí mnoho možností vyhovující specifickým požadavkům daného tvaru. Speciální možnosti vyhazování pak jsou vyhazovače "tvarové", které během fáze plnění formují tvar a během otevírání uvolňují výstřik a vyhazují jej z dutiny. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být rozmanité. [4]

Vyhazovací cyklus má dvě fáze. První fází je dopředný pohyb, který výlisek vyhodí, druhou fází je zpětný pohyb, který navrácí vyhazovací zařízení do původní polohy. Zpětný pohyb je zajišťován pomocí vratných kolíků.

K systému vyhazování výlisku z forem je nutno zahrnout i vyhazování vtokových zbytků, především při použití studených vtokových soustav. [5]



Obr. 8.: Základní typy vyhazovačů.

1, 2– vyhazovač kulatý, 3 – vyhazovač plochý

2.7.1. Výpočet vyhazovacích sil

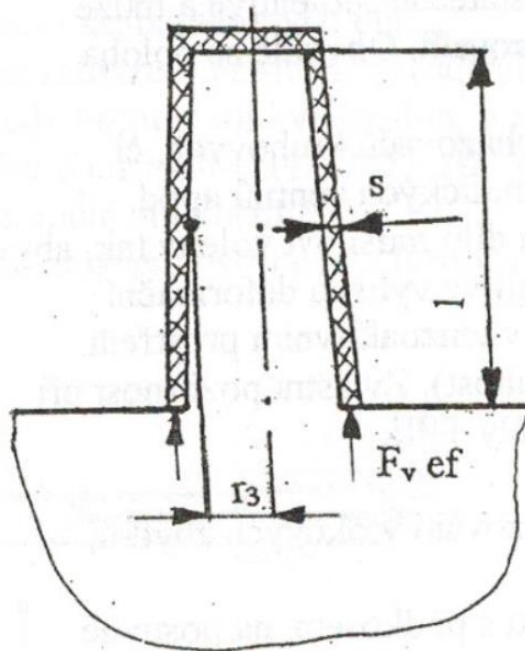
Výstřík po otevření formy, při zpracování termoplastů zůstává zpravidla na tvárníku. Efektivní smršťování $s_{F_{ef}}$ vyvolává ve výstříku tahové napětí σ_t , které dle Hookova zákona je: $\sigma_t = s_{F_{ef}} \cdot E$, kde E je modul pružnosti při teplotě vyhazování T_v .

Napětí σ_t vyvolá mezi plastem a tvárníkem tlak:

$$p_T = \sigma_t \cdot \frac{s}{r_3} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

$$\text{Vyhazovací síla se spočte: } F_{v_{ef}} = f \cdot S_{TV} \cdot p_T \quad [\text{N}] \quad (2)$$

S_{TV} je plocha vnitřního válcového povrchu výstříku [mm] a f je koeficient tření mezi výliskem a kovem. [8]



Obr. 9.: Příklad výpočtu vyhazovací síly. [5]

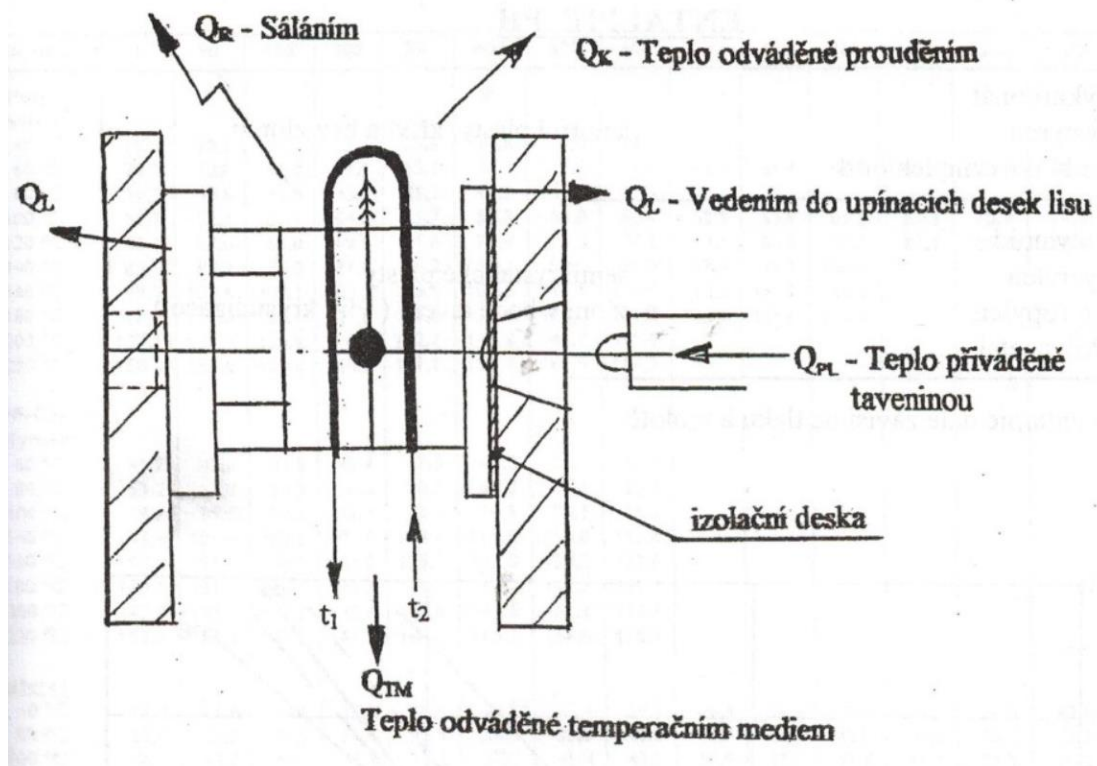
Závěrem vyplývá, že vyhazovací síly jsou závislé na mnoha faktorech, které jsou mnohdy obtížně zjistitelné. V praxi se obvykle nepočítají, neboť závisí na modulu pružnosti E a smrštění při teplotě vyhazování T_v , koeficientu tření, tvaru a ploše tvárníku, úkosech tvarů, teplotě vyhazování, tloušťce stěny a podobně. [5]

2.8. Temperace forem

Hlavním úkolem temperačního systému vstřikovací formy během procesu vstřikování plastů je ustavit požadovanou teplotu dutiny vstřikovací formy v krátkém časovém okamžiku a udržet tuto teplotu v minimálním rozsahu. [7]

Způsob uspořádání a dimenzování temperačního systému ve formě má vliv na vlastnosti výstřiku, jeho deformace a na dosažitelné doby chlazení, respektive cykly. Přesto, že je tento základní požadavek všeobecně znám, neexistují přesné teoretické a konstrukční podklady, jak optimálně systém temperace navrhnout. Nejčastěji se vychází ze zkušenosti a citu konstruktéra, který daný systém navrhuje. Při navrhování temperačního systému se musí zohlednit další faktory, které vedou ke kompromisům s ostatními funkčními prvky formy jako je umístění vyhazovačů, vložkování tvarů, posuvné části formy a podobně. [5]

Samotná forma je v podstatě výměník tepla, mající za úkol odnímat tavenině plastu teplo (obr.10). Z pohledu odvodu tepla z formy se setkáváme se všemi druhy sdílení tepla.



Obr. 10.: Teplotní bilance formy. [5]

Způsoby odvodu tepla Q_L , Q_K a Q_R je možno v konečné bilanci zanedbat, zvláště u forem temperovaných do 50°C . [5]

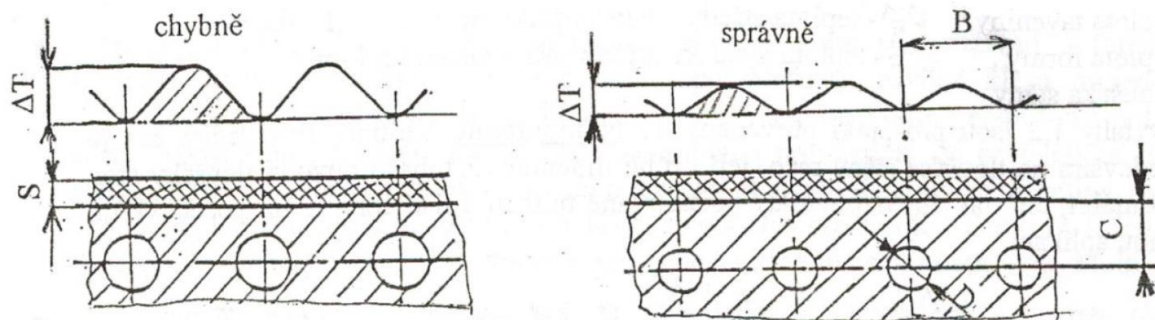
2.8.1. Návrh temperačního systému

Temperační kanály s proudícím médiem jsou nejrozšířenějším způsobem ustavení vhodné teploty vstřikovací formy, ať už se jedná o vytápění formy při startu výroby, popř. použití vyšších teplot vstřikovacích forem či chlazení formy při jejím provozu. [7]

Vhodnějším řešením je použití většího počtu temperačních kanálů s menším průměrem než menšího počtu temperačních kanálů s větším průměrem. Rozdíl mezi oběma řešeními spočívá v rovnoměrnosti rozložení teplot povrchu dutiny formy (obr.11). [5]

Tab. 1.: Doporučené hodnoty dimenzování chladících kanálů. [5]

Dimenzování chladících kanálů-doporučené hodnoty.			
Tloušťka stěny s	Průměr kanálu D	Rozteče kanálů B	Vzdálenost kanálů od výlisku C
do 2 mm	8-10 mm	B=max. 3·D	C=2-3·D
do 4 mm	10-12 mm		
do 6 mm	12-15 mm		



Obr. 11.: Umístění chladících kanálů. [5]

Síť temperačních kanálů by dále měla svým uspořádáním a pojetím splňovat následující kritéria:

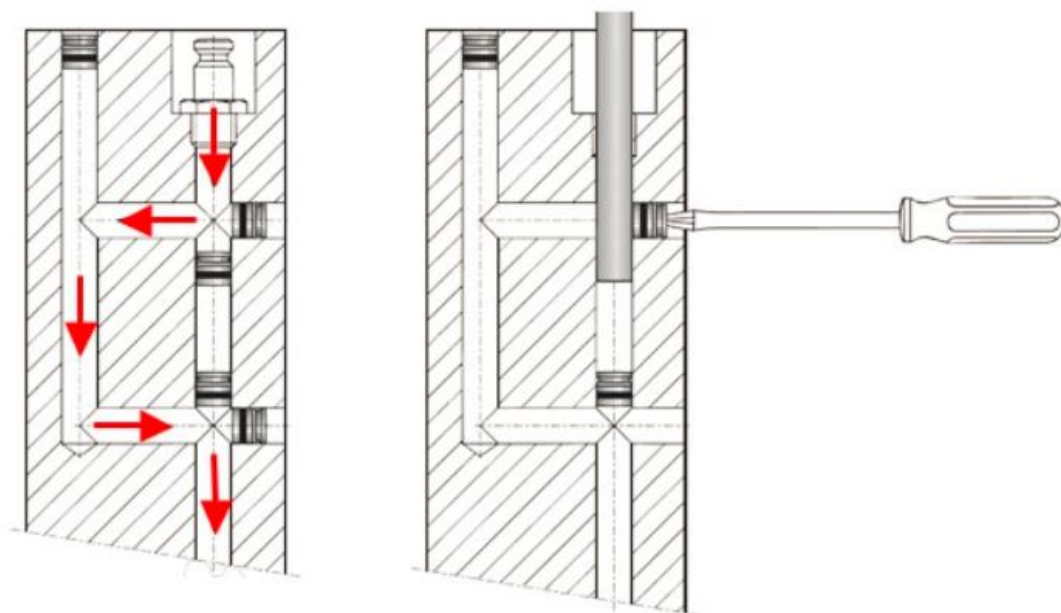
- Temperační okruh by neměl obsahovat tzv. mrtvá místa, kde neproudí kapalina z důvodu zvýšeného rizika zanášení nečistotami, vodním kamenem apod.

- Temperační kanály do průměru 6 mm je nutné provozovat s upravenou vodou či adekvátním temperačním médiem z důvodu rychlého zanášení malých průměrů např. vodním kamenem.
- Temperační účinek zesílit v oblasti vtokové vložky a ústí vtoku.
- V případě víceokruhového temperačního systému je pro budoucí optimalizaci či řešení technologických problémů vhodné navrhnout síť temperačních kanálů tak, aby byla možná alespoň částečná změna cesty proudění temperačního média vstříkovací formou. [7]

V síti temperačních okruhů se používají ucpávky, které utěsňují otvory vzniklé vrtáním temperačních kanálů, uzavírají tak celý okruh a umožňují cirkulaci temperačního média (obr.12), jejich montáž je vidět na obr.13.



Obr. 12.: Ucpávka s pryžovým „O“ kroužkem, výrobce MEUSBURGER. [10]



Obr. 13.: Příklad použití a montáže ucpávky s pryžovým „O“ kroužkem. [10]

Pro spojení temperační jednotky se vstříkovací formou prostřednictvím temperačních hadic se používají přípojky, které existují v několika stovkách rozměrových a typových variantách. V praxi nejčastěji používané přípojky jsou přípojky určené pro vytvoření spojení s hadicemi temperačního systému osazenými rychlospojkami (obr.14). [7]



Obr. 14.: Přípojka E2000D, výrobce MEUSBURGER. [10]

Praxe ukazuje, že s ohledem na vznik koroze uvnitř temperačního systému je vhodnější ponechání temperačního média uvnitř temperačního systému vstříkovací formy i během nečinnosti vstříkovací formy. [7]

2.8.2. Přepážkové systémy

Přepážkové systémy temperace vstříkovacích forem umožňují rozvádění temperačního média do míst, která by zůstala klasickými temperačními kanály nepokryta, zejména z důvodu velmi obtížné vyrobitelnosti adekvátního tvaru temperačního kanálu. Dle typu přepážky lze dosáhnout různého temperačního efektu, resp. rozložení teplotního pole vstříkovaného dílu. V zásadě existují tři základní konstrukční podoby těchto systémů:

- Ploché přepážky.
- Spirálové přepážky.
- Takzvané fontánky.

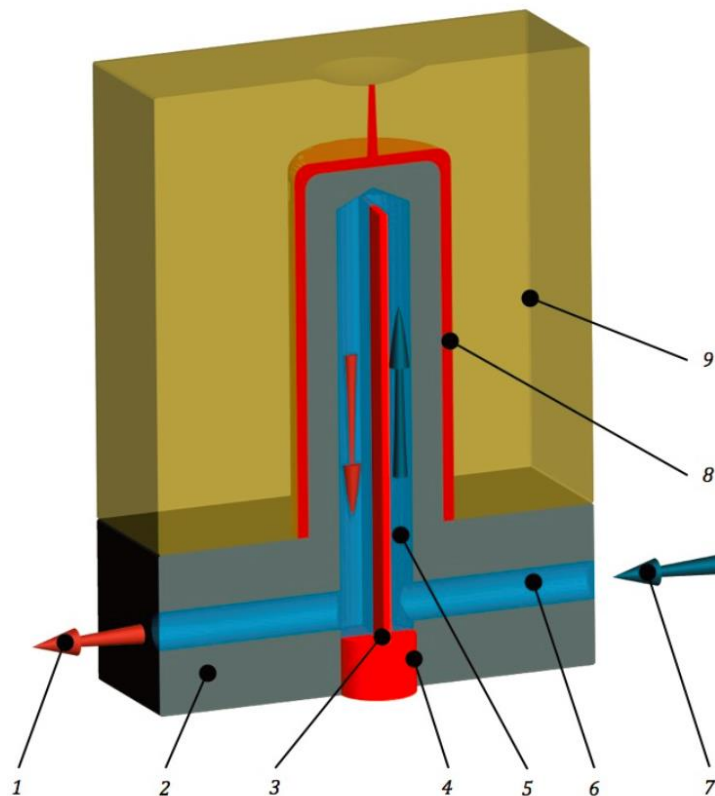
[4]

2.8.2.1. Ploché přepážky

Jedná se o vedlejší temperační kanál orientovaný kolmo vzhledem k hlavnímu temperačnímu kanálu. Tento vedlejší kanál je opatřen přepážkou, která kanál rozděluje na dva menší, zpravidla polokruhového průřezu a zároveň přepažuje hlavní kanál (obr.15). [7]



Obr. 15.: Plochá přepážka. [9]



Obr. 16.: Systém plochých přepážek – schematický náčrt, princip funkce. [7]

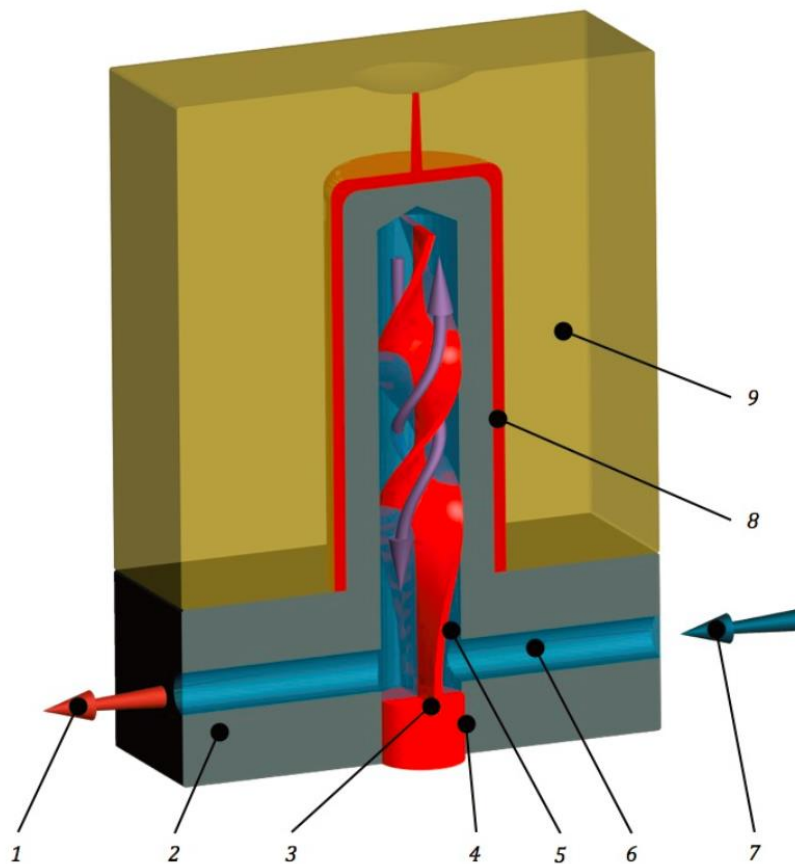
Na Obr.16 je vidět, jak fungují ploché přepážky. Č.1 je výstup temperačního média, č.2 je těleso pohyblivé části formy, č.3 je plochá přepážka, č.4 je úložná plocha přímé přepážky, č.5 je vedlejší temperační kanál, č.6 je hlavní temperační kanál, č.7 je vstup temperačního média, č.8 je vstřikovaný díl a č.9 je těleso pevné části vstřikovací formy. [7]

2.8.2.2. Spirálové přepážky

Tento systém pracuje na stejném principu jako systém plochých přepážek. Liší se pouze tvarem přepážky, který je odlišný, spirálový (obr.17). Vedlejší temperační kanál je zde spirálou rozdělen na dva závity o velkém stoupání. [7]



Obr. 17.: Spirálová přepážka. [9]



Obr. 18.: Systém spirálových přepážek – schematický nákres, princip funkce. [7]

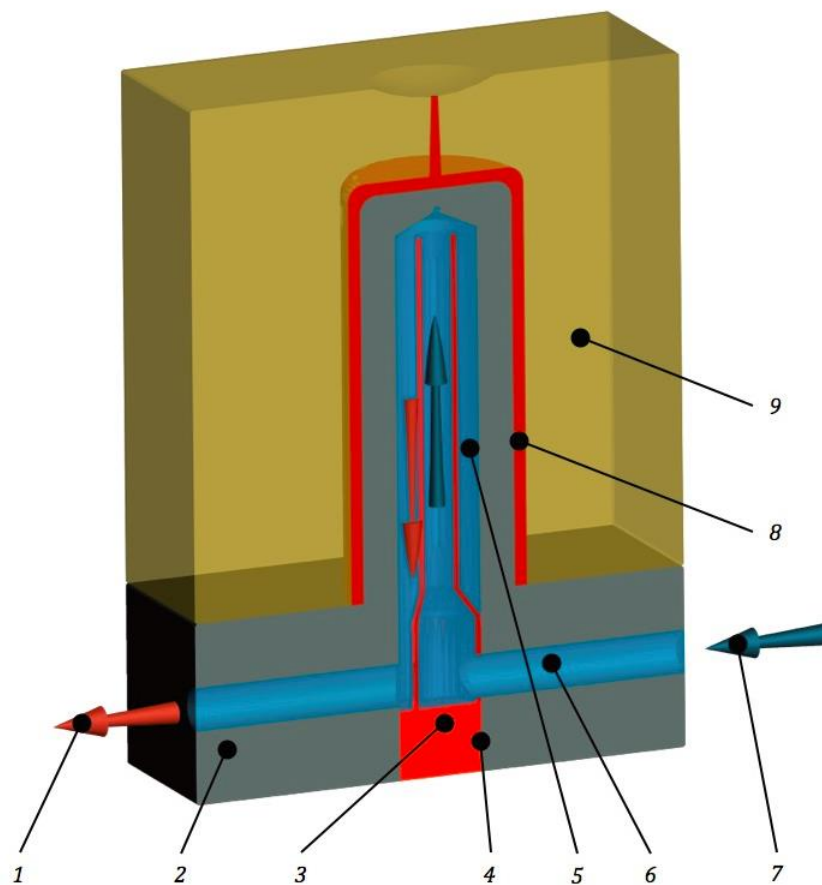
Na Obr.18 je vidět, jak fungují spirálové přepážky. Č.1 je výstup temperačního média, č.2 je těleso pohyblivé části formy, č.3 je spirálová přepážka, č.4 je úložná plocha spirálové přepážky, č.5 je vedlejší temperační kanál, č.6 je hlavní temperační kanál, č.7 je vstup temperačního média, č.8 je vstřikovaný díl a č.9 je těleso pevné části vstřikovací formy. [7]

2.8.2.3. Fontánky

Fontánka je v podstatě určitým druhem přepážky, opět umístěným do vedlejšího temperačního kanálu kolmému na hlavní temperační kanál, ovšem přepážku zde představuje malá trubička (obr. 19). [7]



Obr. 19.: Fontánka. [9]



Obr. 20.: Systém fontánek – schematický nákres, princip funkce. [7]

Na Obr.20 je vidět, jak fungují fontánky. Č.1 je výstup temperačního média, č.2 je těleso pohyblivé části formy, č.3 je fontánka, č.4 je úložná plocha fontánky, č.5 je vedlejší temperační kanál, č.6 je hlavní temperační kanál, č.7 je vstup temperačního média, č.8 je vstříkovaný díl a č.9 je těleso pevné části vstříkovací formy. [7]

2.9. Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy

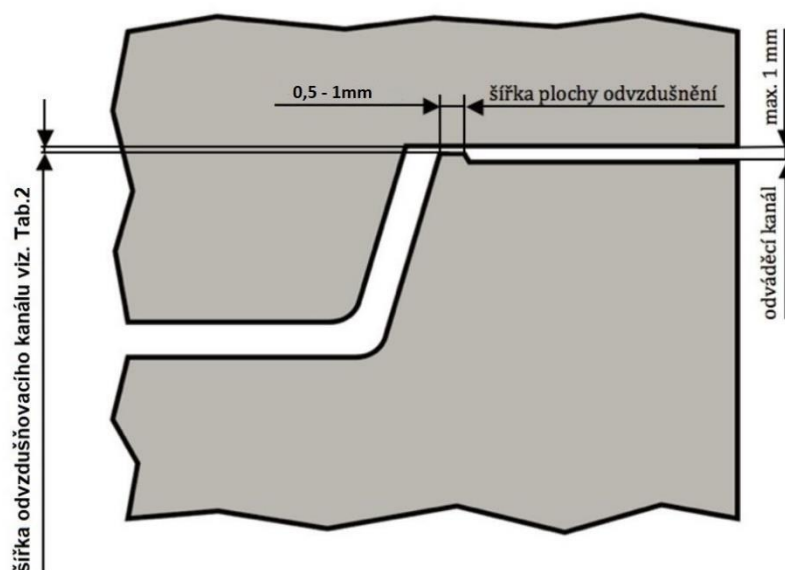
Při plnění formy taveninou je důležité zajistit únik vzduchu, který je ve formě obsažen. Čím větší je rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušňování dutiny formy. Určité množství vzduchu unikne přes dělicí rovinu, popř. vodícími plochami vyhazovačů či pohyblivých jader, ale i přes to musí být většina vstřikovacích forem opatřena dalšími konstrukčními prvky, které umožní kompletní a rychlý odvod vzduchu z dutiny vstřikovací formy. [5] [7]

Pokud nemůže vzduch z dutiny formy uniknout, dojde k jeho stlačení v příslušném místě tokové dráhy a buď je zatlačen do výlisku, čímž vznikne při větší tloušťce stěny bublina, nebo častěji dojde k jeho spálení, takzvaný Dieselův efekt. [5]

Místa odvzdušnění u jednotlivých výlisků lze určit ze zkušenosti konstruktéra. U složitých výlisků s více vtoky je nutno použít simulačních metod, analýz plnění jako je například Mold Flow nebo Cadmould. [5]

2.9.1. Odvzdušnění v dělicí rovině

Pravděpodobně nejjednodušší možností, jak zlepšit odvod vzduchu z dutiny vstřikovací formy je umístění odvzdušňovacích ploch do dělicí roviny (obr.21). Tyto odvzdušňovací plochy jsou jednoduše vyrobitelné a představují přímou cestu pro taveninou vytlačovaný vzduch. [7]



Obr. 21.: Doporučená konstrukce odvzdušňovacího kanálku. [7]

Tab. 2.: Hodnoty šířky odvzdušňovacích kanálů. [5]

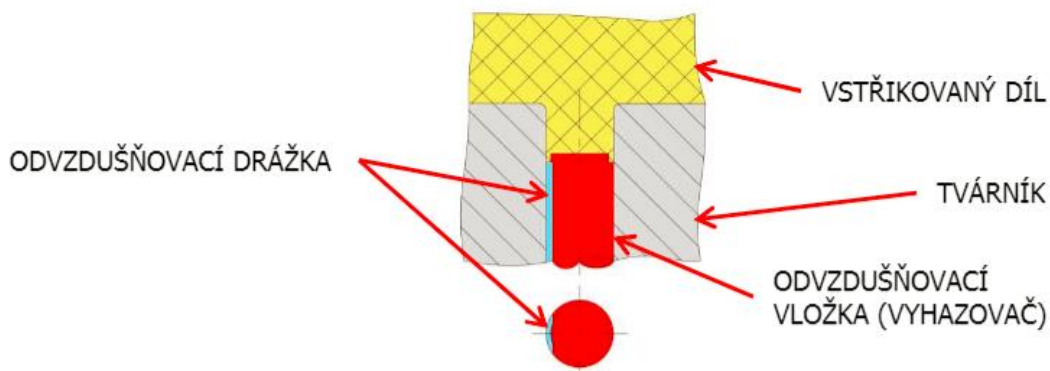
Typ plastu	Šířka odvzdušňovacího kanálu [mm]
PS	do 0,03
PE, PP	do 0,02
PA	od 0,01 do 0,02
POM	do 0,03
Sklem plněné plasty	od 0,02 do 0,04

Dimenze odvzdušňovacích kanálků uvedené v tabulce byly získány z praxe, dle materiálu a jeho viskozity. Hodnoty lze považovat za informativní.

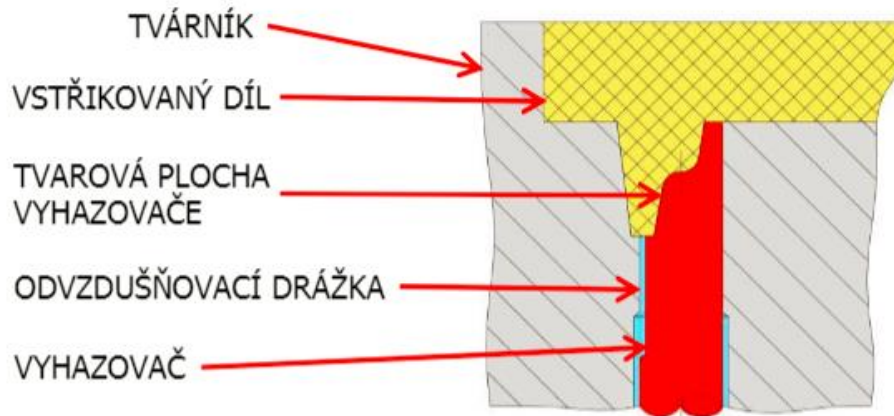
2.9.2. Umístění odvzdušňovacích kanálů

Odvzdušňovací kanály by se měly umísťovat podél rozváděcích kanálů taveniny a v určité vzdálenosti od dutiny vstřikovací formy. Zejména je ale přítomnost odvzdušňovacích kanálů důležitá v místě dutin vstřikovací formy, které je zaplněno taveninou plastu jako poslední. [7]

Pokud je to možné provést, je vhodné přizpůsobit tloušťku stěn vstřikovaného dílu tak, aby tavenina proudila takovým způsobem, který vede k postupnému vytlačování vzduchu do dělicí roviny. Pokud i přesto setrvává problém s uzavřeným vzduchem, může být další vhodnou alternativou ke standardním odvzdušňovacím kanálům odvzdušnění přes vyhazovače (obr.22,23). [7]



Obr. 22.: Příklad odvzdušnění slepé díry. [11]



Obr. 23.: Příklad odvzdušnění tenkého žebra vyhazovačem. [11]

2.10. Vtokové systémy forem

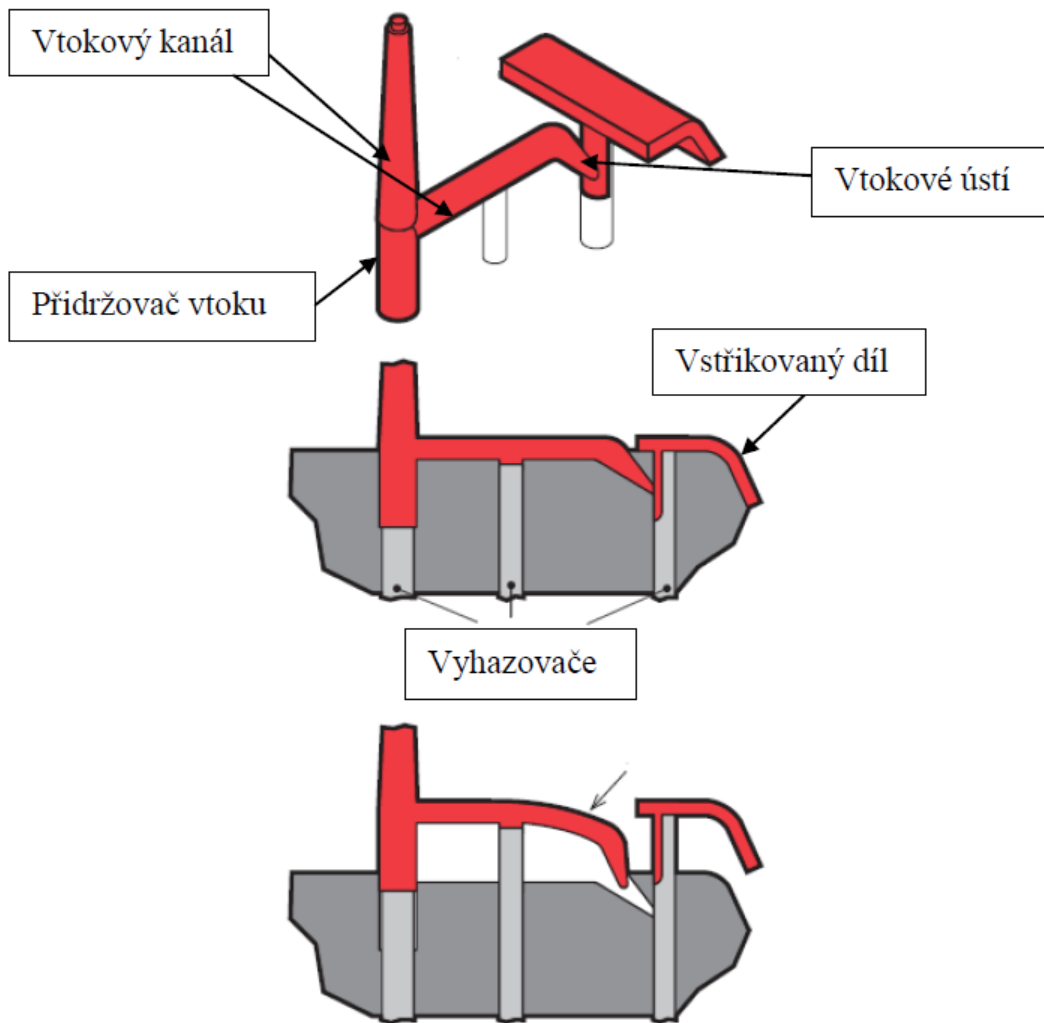
Vtoková soustava má za úkol zajistit dopravu taveniny plastu z plastikační komory do dutiny formy. Vlastní vtok by měl být dimenzován tak, aby byla umožněna maximální doba působení dotlaku, k vyrovnání objemové kontrakce. Vtok by měl být, pokud je to možné směřován do nejtlustějšího místa (stěny) výlisku. [5]

Při nesprávně navržené konstrukci vtokové soustavy může docházet během vstřikování k mnoha vadám jako jsou například propadliny, nedostříknuté dílce nebo může dojít k ovlivnění rozměru výrobku. [3]

2.10.1. Studená vtoková soustava

Studená vtoková soustava je u forem nejvíce rozšířená (obr.24). Skládá se z vtokového kanálu, vtokového ústí a zachytávače studeného čela taveniny s jímkou studeného čela taveniny.

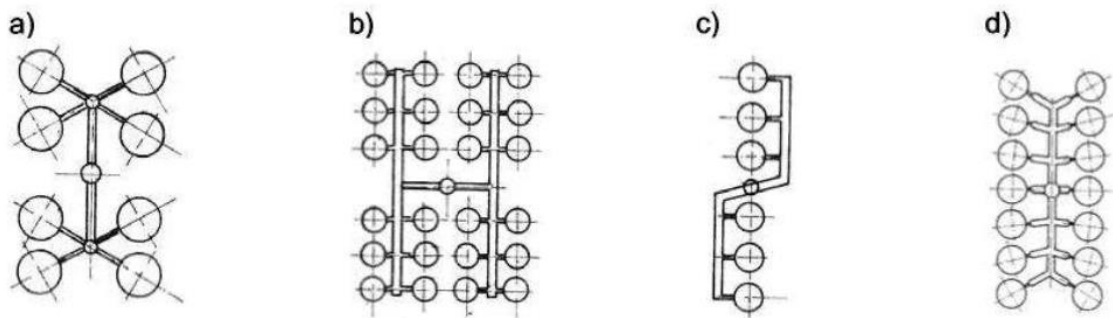
U vícenásobných forem je nutné tzv. vybalancování vtokových ústí nebo rozvodných kanálů. Nejčastěji se v praxi upravují vtokové ústí z důvodu pracnosti úprav. K úpravě vtokového ústí se většinou používá metoda postupných nástřiků při zkoušení formy, exaktnější metodou je pak analýza plnění vstřikovacího procesu. [5]



Obr. 24.: Schéma studené vtokové soustavy. [12]

2.10.1.1. Vtokový kanál

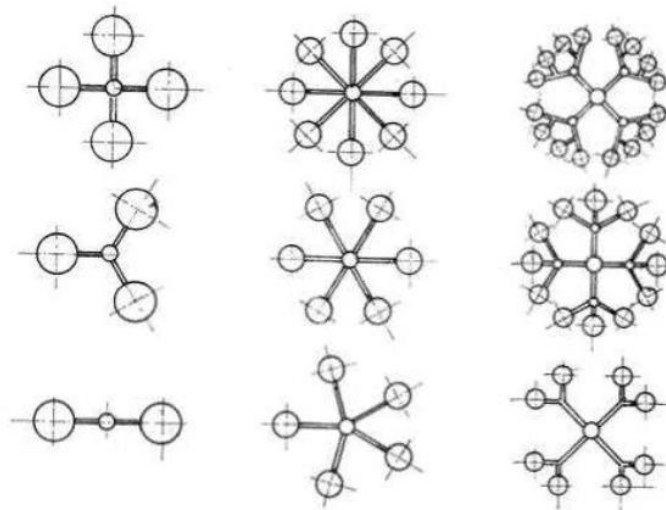
Velikost vtokového kanálu se volí podle tloušťky stěny vstříkovaného dílce, jeho hmotnosti a násobnosti formy. Vtokový kanál začíná na začátku vtokové vložky, odkud tavenina směřuje do hlavního vtokového kanálu, který se může větvit podle násobnosti formy. Při návrhu konstrukce je nutné dbát na správné vyvážení vtokového kanálu, čímž je myšleno doplnění všech dutin formy ve stejný čas. Při výrobě vtokových kanálů ve formě je nutné se vyvarovat ostrých přechodových hran a pokud je to možné, měly by se kanály leštit. U leštěných ploch je snižené tření taveniny při vstupu do dutiny formy a po vychladnutí pomáhají ke snadnějšímu odformování vtokového zbytku. [12]



ŘADOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

a) se stejnou délkou toku taveniny

b), c), d) s nesterjnou délkou toku taveniny (*nevhodné bez korekce ústí vtoku*)



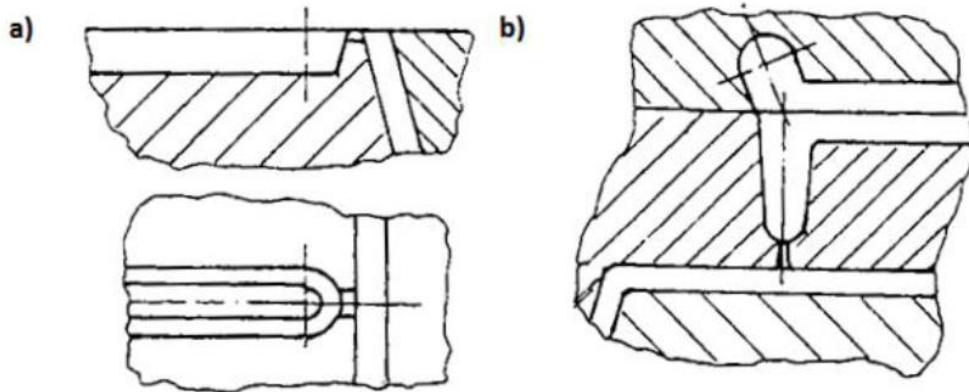
SYMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

Obr. 25.: Uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem. [13]

2.10.1.2. Vtokové ústí

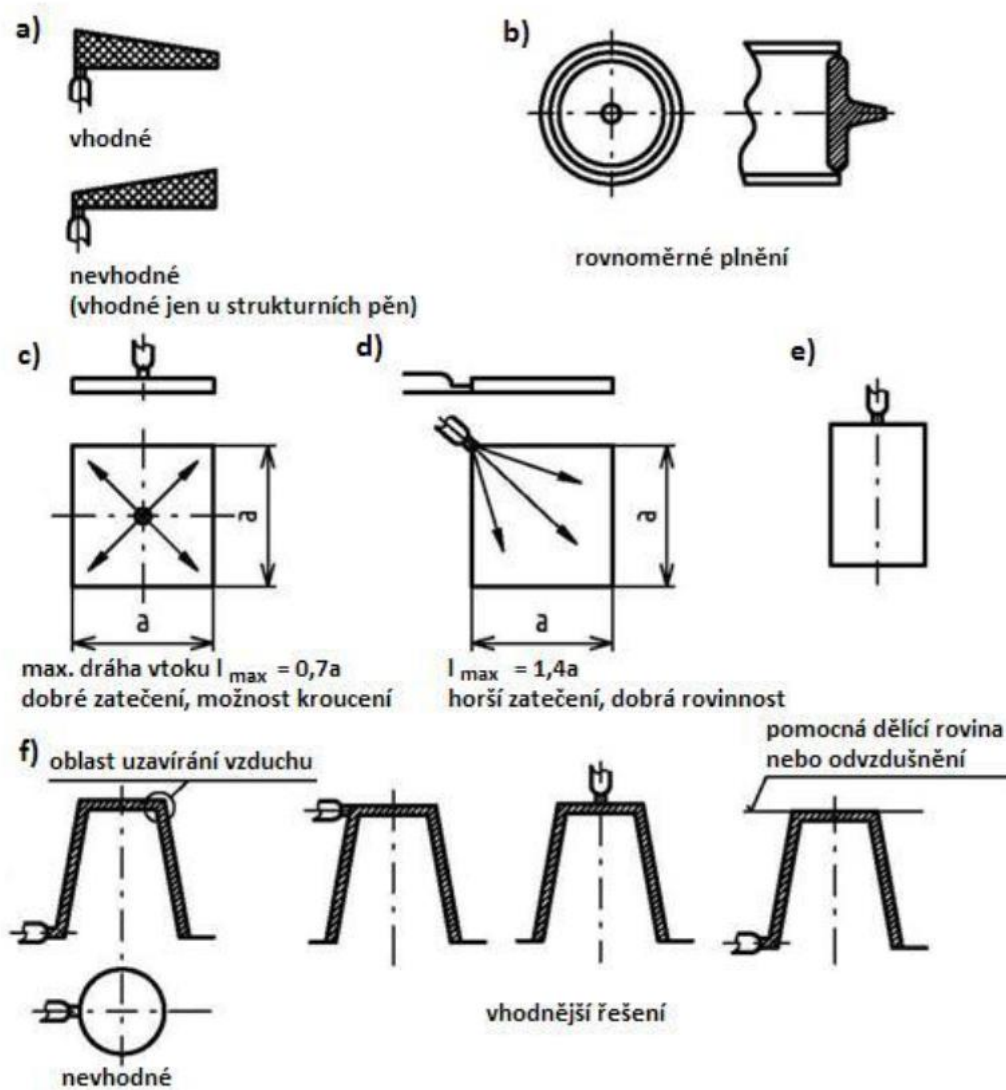
Úkolem vtokového ústí je zajistit přestup taveniny z vtokového kanálu do dutiny formy. Geometrie vtokového kanálu musí zajistit správné naplnění dutiny, a to nejenom během vstřikování, ale dostatečně dlouho musí působit dotlak, aby bylo dosaženo požadované kvality vylisku. [13]

Vtok je při odformování buď společně s dílem oddělen, nebo je součástí všech dutin a musí se oddělit mechanicky. [5]



Obr. 26.: Vtokové ústí. [13]

Na obr.26 a) je zobrazen štěrbinový vtok, na b) bodový vtok.



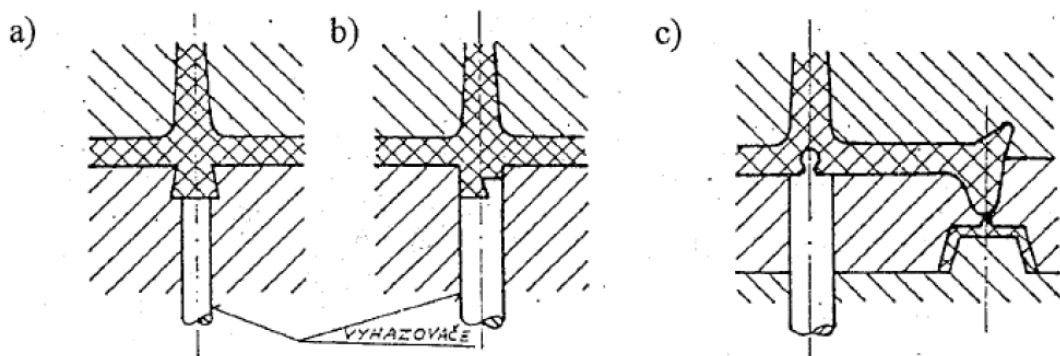
Obr. 27.: Vhodnost umístění vtokového ústí. [13]

2.10.1.3. Jímka studeného čela taveniny

Při návrhu studené vtokové soustavy je nutné do formy zakomponovat jímku studeného čela taveniny, neboť má zásadní vliv na kvalitu výstřiku a neměnný průběh plnění při vstřikování. Jímka se konstruuje zejména u vícenásobných forem, kde jsou použity rozvětvené vtoky, tím se pak zaručí stejné podmínky plnění pro všechny dutiny ve formě. Délka jímky se zpravidla volí 1 až 1,5*průměr kanálu. [13]

2.10.1.4. Přidržovač vtoku

Přidržovač se používá k bezpečnému zajištění, aby vtokový zbytek zůstal na vyhadzovací straně formy (obr.28). To se zajišťuje zpravidla výrobou podkosu buď na středovém vyhadzovači vtoku nebo se podkos vyrobí přímo na vtokovém kanálu. [13]



Obr. 28.: Přidržovače vtoku. [13]

2.10.2. Vyhříváná vtoková soustava

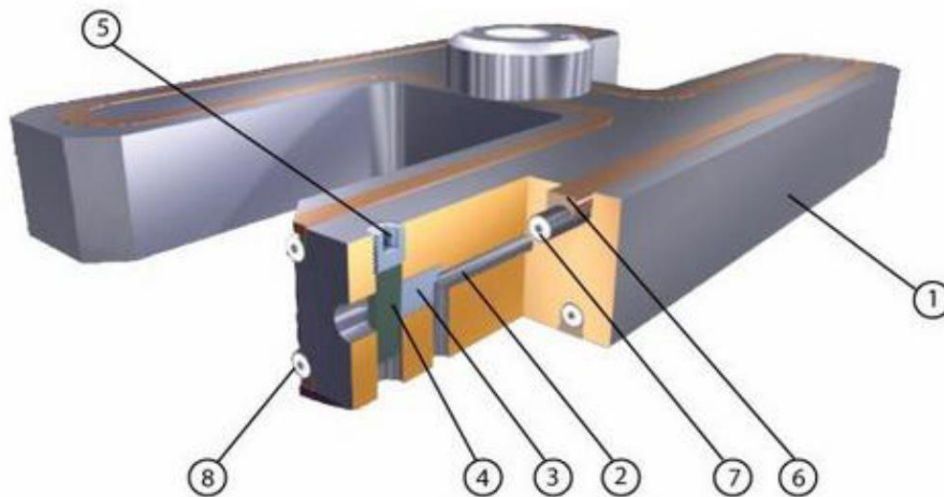
Vyhříváné vtokové soustavy vznikly po snaze uspořít vstřikovaný plast což vedlo k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Vyhřívánou vtokovou soustavu je vhodnější použít při velkosériové výrobě, protože při samotné výrobě formy rostou její náklady. Mnohdy se vyhříváné vtokové soustavy používají se vstřikováním přímo na díl, odpadá tak konstrukce vtokových kanálů a vtokových ústí, je ale možné použít i jejich kombinace. [3]

Mezi výhody vyhřívaných vtokových soustav patří například podstatné zkrácení výrobních cyklů (čas chladnutí), snížení nákladů na dokončovací práce (není potřeba odstraňovat vtokové zbytky), umožňují automatizaci výroby atd.

Od forem s běžnými studenými soustavami se liší především tím, že dnešní typy vyhřívaných vtokových soustav se nakupují od specializovaných výrobců. [5]

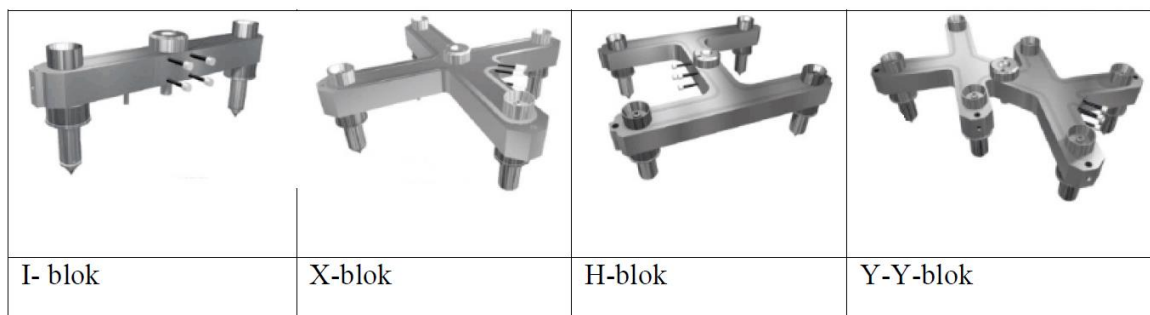
Používají se dýzy s vnějším nebo vnitřním topením. K sortimentu většiny výrobců patří také dýzy s uzavíráním ústí vtoků jehlovými uzávěry. [5]

U vícenásobných forem je nutné použít horký blok pro trysky. Horké bloky mohou mít několik různých tvarových modifikací, jedná se zpravidla o tvary písmen I, X, H, Y nebo případně i jejich kombinace (obr.29,30). [13]



Obr. 29.: Horký rozvod trysek firmy Orycon. [14]

1 - tělo rozvaděče, 2 – kanál, 3 – koncovka, 4 – šikmý kolík, 5 - seřizovací šroub, 6 - kryt topení, 7 - tubulární topení, 8 - druhá sada topení

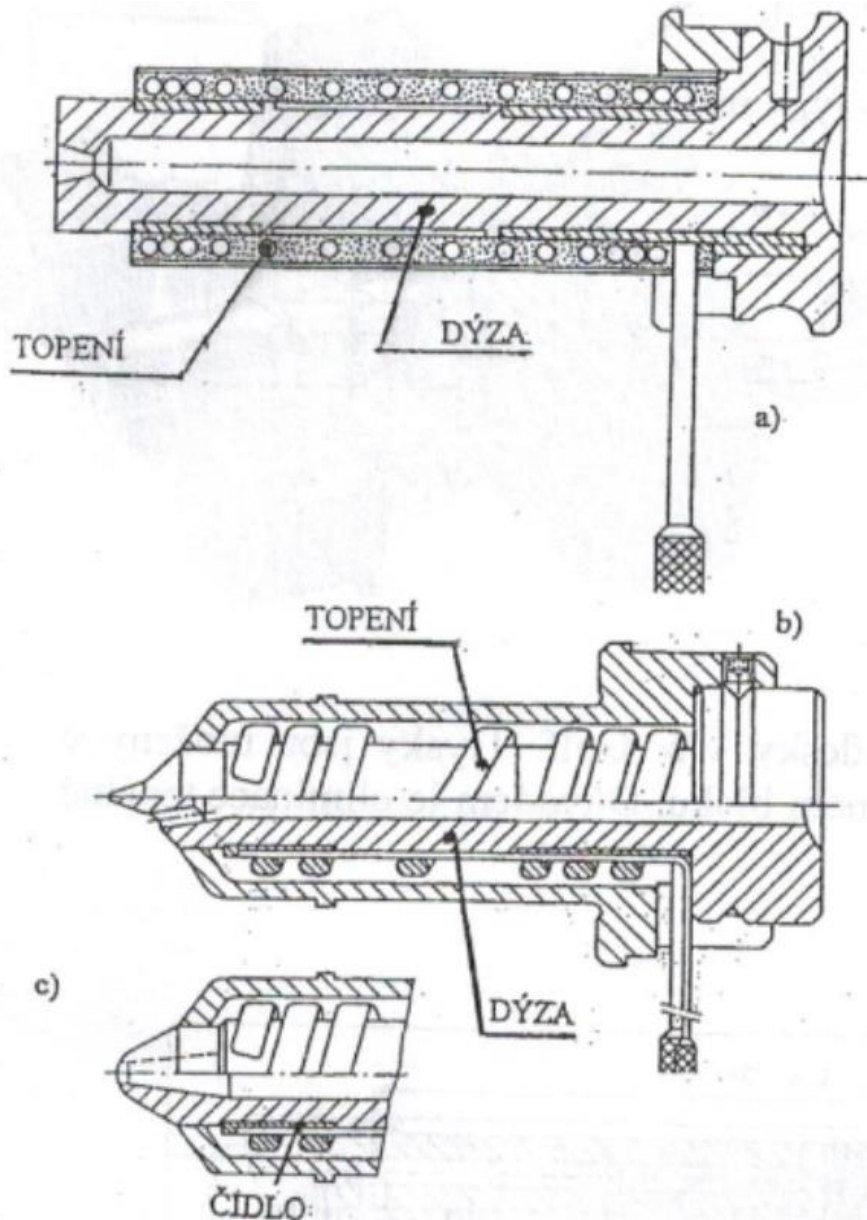


Obr. 30.: Uspořádání rozvodných bloků firmy Orycon. [14]

2.10.2.1. Dýza s vnějším topením

Tělo dýzy, kterým prochází tavenina je z vnějšku zahříváno a bývá z tepelně vodivých materiálů jako je Cu, Co, Be. Pro abrazivní plasty, popřípadě velké série se pak těla dýz dělají z ocelí legovaných Mo. [5]

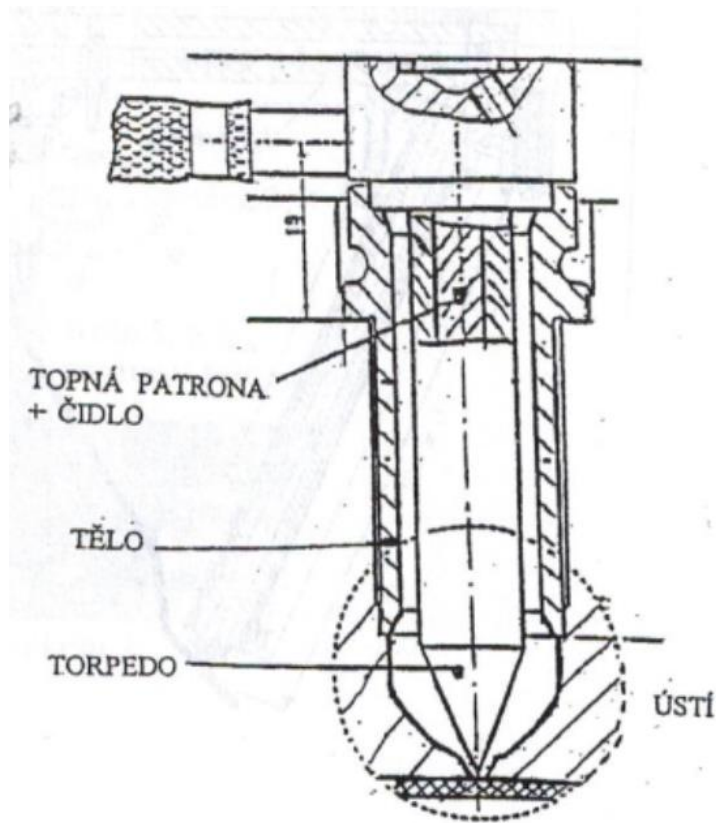
Dýzy mají ústí vtoku buď se špičkou viz. obr.31 b) nebo otevřené viz. obr.31 a), c).



Obr. 31.: Druhy dýz s vnějším topením. [5]

2.10.2.2. Dýza s vnitřním topením

U dýzy s vnitřním topením obtéká tavenina torpedem, vnitřek torpéda je vyhříván topnou patronou, která má malý průměr a vysoký povrchový výkon (obr.32). Proti účinkům abraze, respektive chemickému působení plastů při vstřikování je nutno, aby torpéda byla povrchově odolná. Povrchové odolnosti se dosahuje zpevněním povrchu tvrdokovovými materiály. [5]

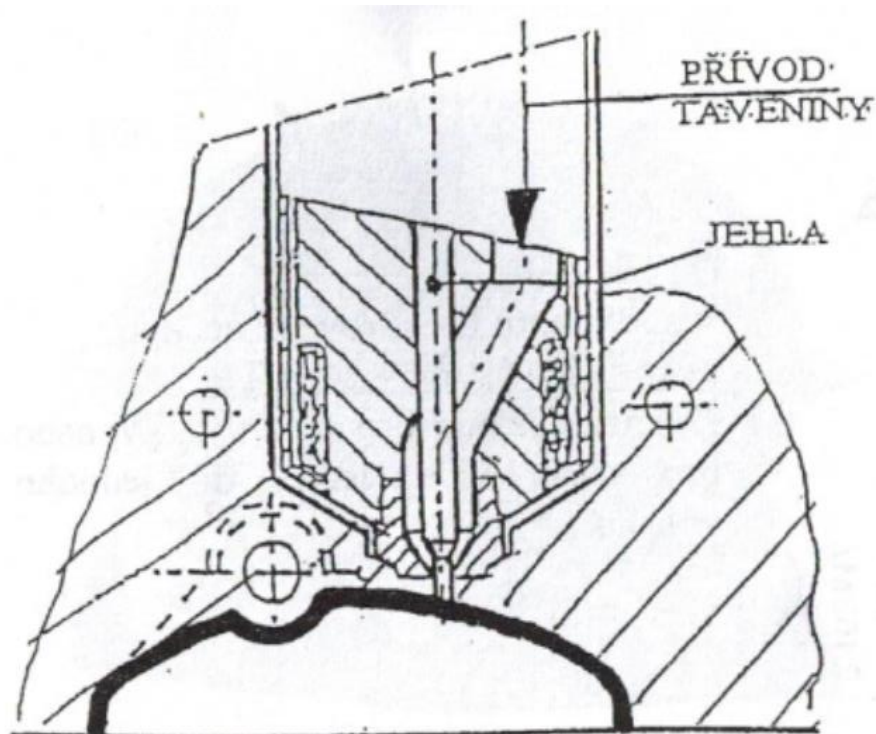


Obr. 32.: Dýza s vnitřním topením. [5]

2.10.2.3. Dýza s uzavíráním ústí vtoku

Ústí vtoku se uzavírá pomocí jehlových uzávěrů (obr.33), které jsou ovládány hydraulickými válci, pneumatickými válci nebo elektrickými jednotkami. [5]

Dýzy s uzavíráním ústí vtoku se používají tam, kde by se při otevření formy po ochlazení výstřiku mohl tahat vlas. Ten by se mohl buď usazovat na výstřiku, nebo v dělicí rovině – oba tyto případy vedou ke špatnému vzhledu výstřiku. [3]



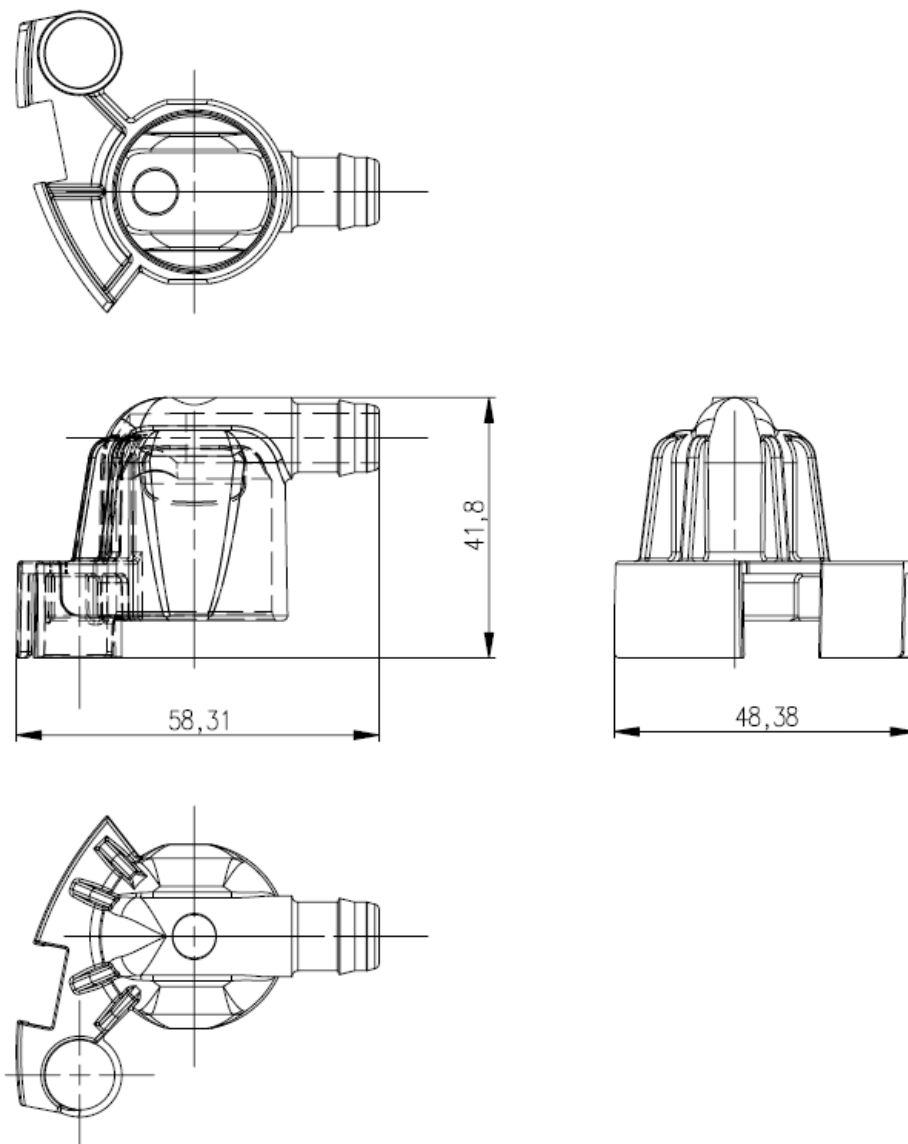
Obr. 33.: Dýza s uzavíráním ústí vtoku jehlovým uzávěrem. [5]

3. Praktická část

3.1. Popis vstřikovaného dílce

Vstřikovaným dílem je součást do automobilu (obr. 34), na kterou byl použit materiál POM. (POM = polyoxymethylen, polyformaldehyd), ze kterého má být zadaná součástka zhotovena, řadíme mezi polymery. Slovo polymer pochází z řečtiny a znamená mnoho (poly) částic (mer).

POM je vysoce krystalický termoplast, charakteristický jeho vysokou mechanickou pevností, tuhostí a rázovou houževnatostí. POM vykazuje výbornou rozměrovou stabilitu, a proto je ideální materiálem pro výrobu mechanických dílů s přesnou tolerancí.



Obr. 34.: Pohledy vstřikovaného výrobku.

V následující tabulce jsou vypsány některé vlastnosti materiálu POM, přičemž nejdůležitější vlastnost pro návrh formy je smrštění.

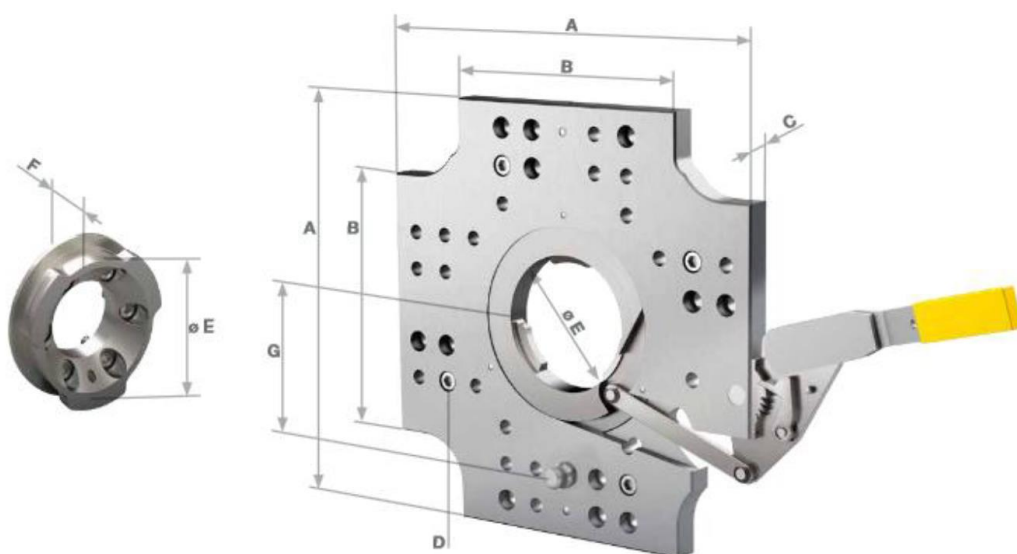
Tab. 3.: Vybrané vlastnosti materiálu POM [16]

Fyzikální vlastnost	Hodnota	Jednotka	Norma
Hustota	1 410	kg/m ³	ISO 1183
Index toku taveniny (190°C/2,16kg)	21	cm ³ /10min	ISO 1133
Smrštění	1,8	%	ISO 294-4
Absorbce vody (23°C)	0,65	%	ISO 62

3.2. Konstrukce formy

Velikost formy, resp. její násobnost je zpravidla ovlivněna strojovým parkem vstřikovny, dalším faktorem může být ekonomické hledisko s ohledem na množství produkce. Bylo stanoveno, že tato forma bude jednonásobná s vyhřívanou tryskou od firmy Synventive.

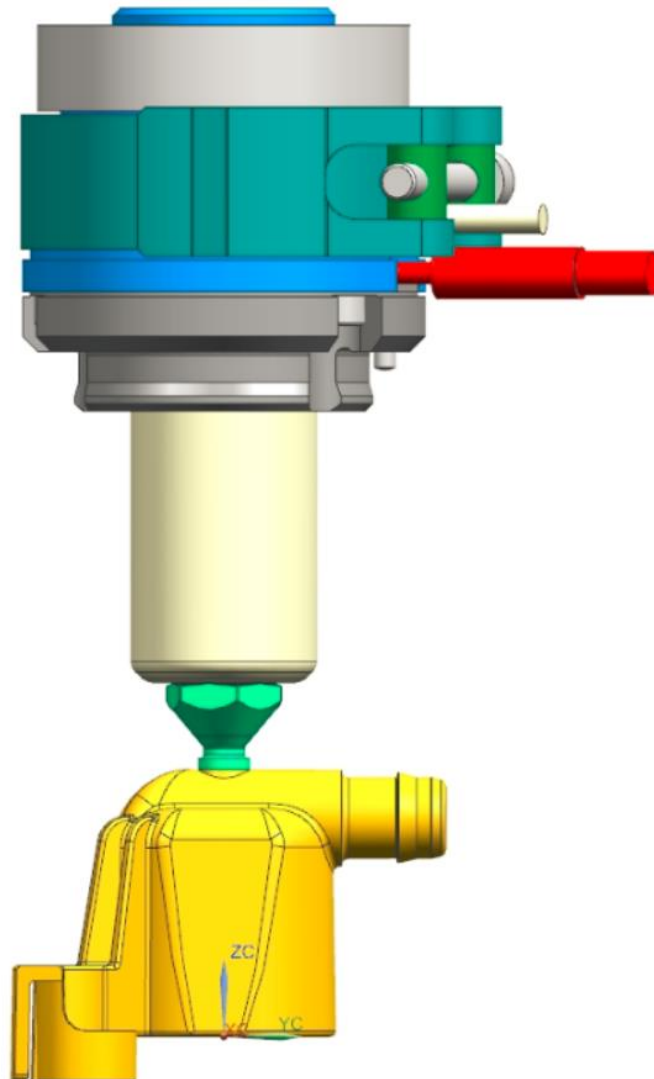
Dalším požadavkem je, že forma má být upnuta na vstřikovací lis Arburg 420C, což se provádí pomocí bajonetového upínání od firmy Staübli (obr. 35) a upínek. Vyfrézování kapes pro umístění upínek bylo navrženo podle výkresu, z něhož je zřetelné rozmístění upínek na upínacím stole lisu. Dále je forma opatřena bajonetem, přes který se upíná pomocí speciálního přípravku, který se přišroubuje k desce vstřikovacího stroje.



Obr. 35.: Bajonetové upínání firmy STÄUBLI.

3.3. Vtoková soustava

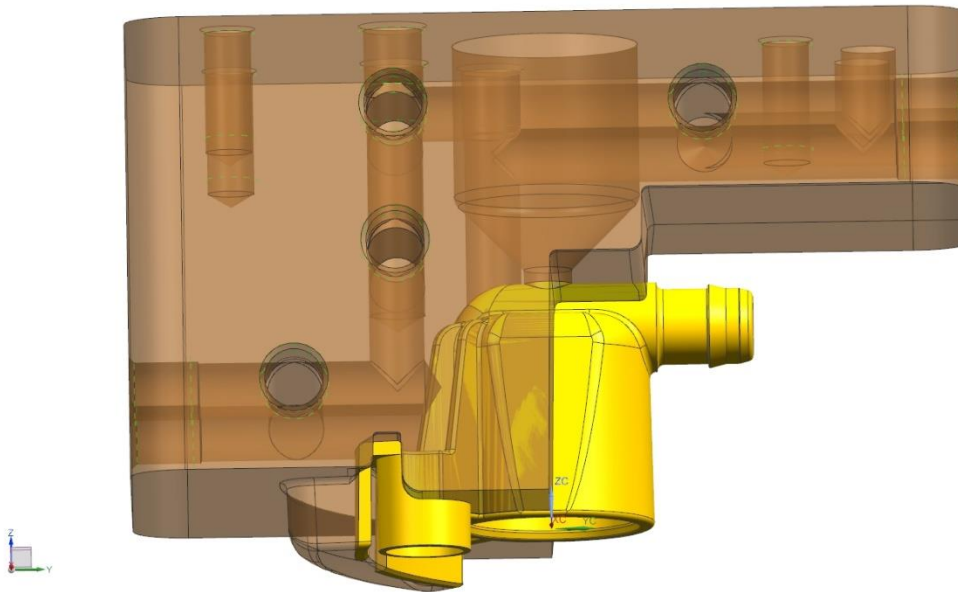
Ve formě byla použita vyhřívaná tryska od firmy Synventive typ CBYTE 046 R16 H2.1. Byla umístěna ze shora vstříkované součásti kolmo. Ve stykovém místě trysky se součástí dojde ke vzniku nálitku, který zde může být, neboť na funkčnost výstřiku nebude mít žádný vliv. Na obr. 36 je vidět poloha trysky vůči dílu.



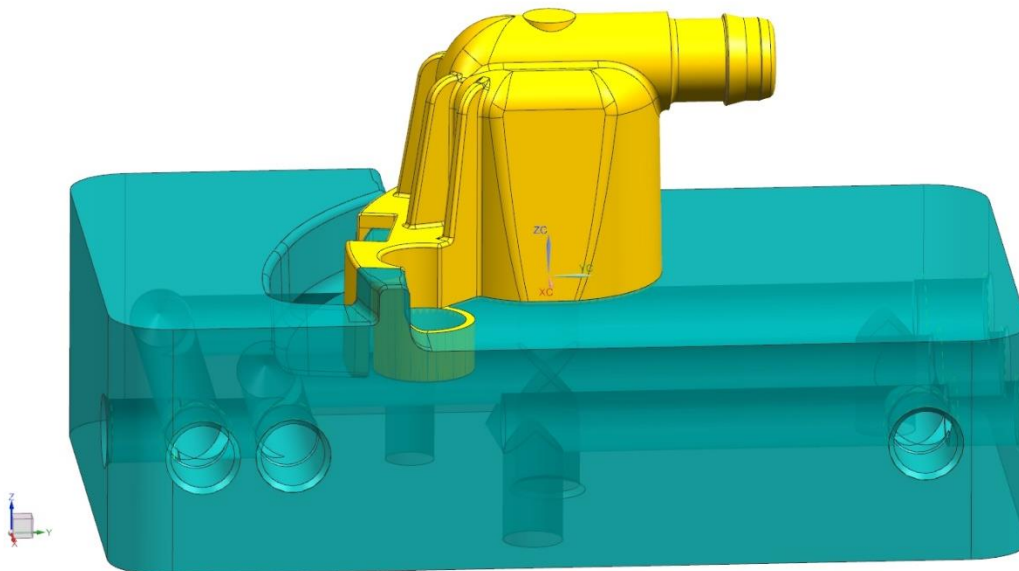
Obr. 36.: Vtoková soustava.

3.4. Dělicí rovina

Díl bude zaformován pomocí hlavní roviny a vedlejších rovin. Vedlejší roviny byli zvoleny z důvodu výskytu tvarových částí, aby bylo možné součást odformovat. Na obr. 37 a 38 je vidět kudy vede hlavní dělicí rovina, obr.37 je zaformování v pevné části formy, obr.38 je zaformování v pohyblivé části formy.

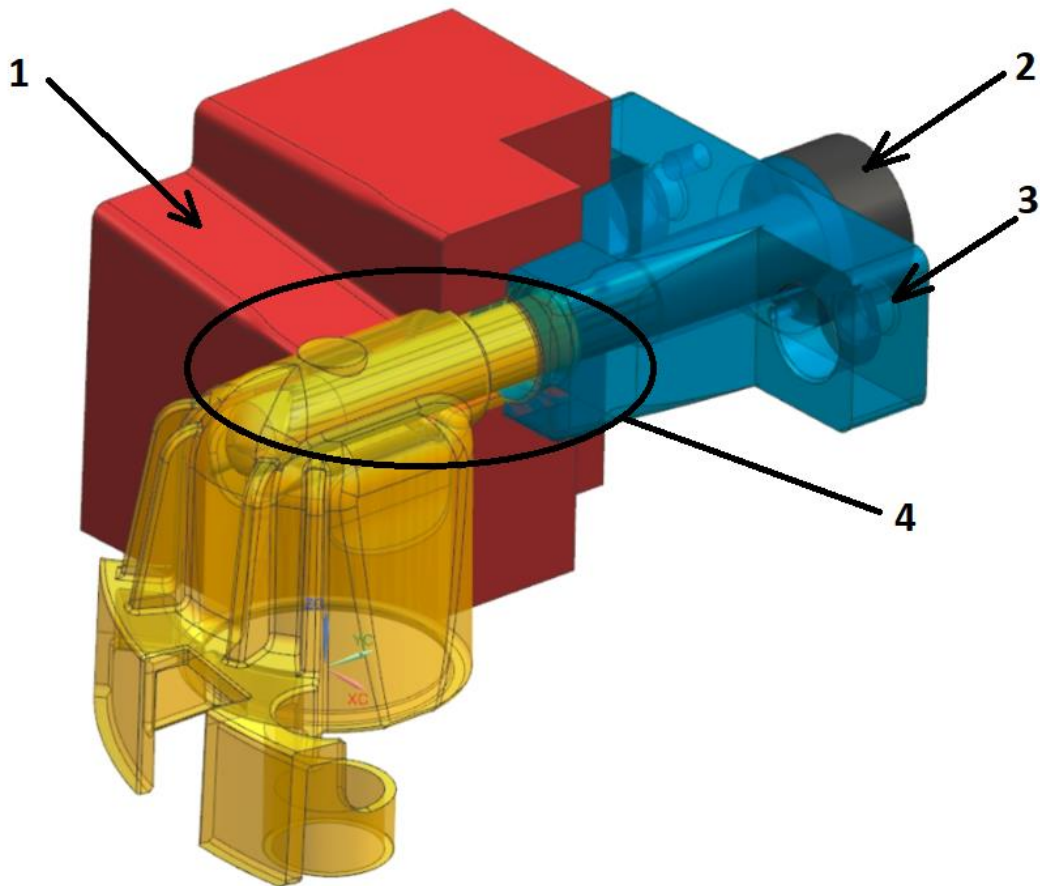


Obr. 37.: Zaformování pevná část.



Obr. 38.: Zaformování pohyblivá část.

Náústek s otvorem procházejícím do vnitřku součásti znemožňuje odformování dílu bez použití jádra. Z tohoto důvodu jsem vytvořil dvě boční tvarové vložky a vložku čela náústku, kterou prochází tvarové jádro, které vytváří otvor náústkem do vnitřku součásti. Tvarové vložky i tvarové jádro jsou součástí pohyblivé části formy. Výše popsané součásti jsou zobrazeny na obr. 39, z důvodu přehledné názornosti uspořádání je na obrázku pouze jedna boční tvarová vložka.



Obr. 39.: Tvarové vložky s jádrem.

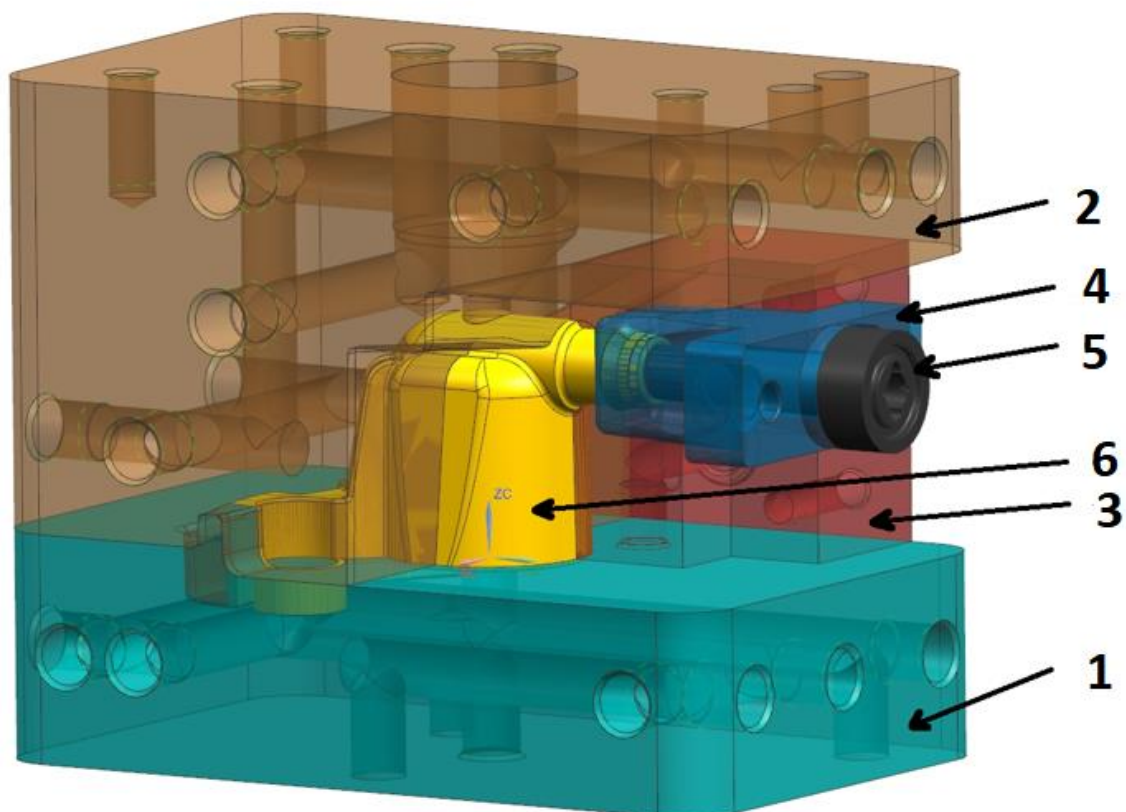
1 – boční tvarová vložka, 2 – tvarové jádro, 3 – čelní tvarová vložka,
4 – problémová část dílu (nátrubek)

3.5. Tvarové části formy

Na začátku konstrukce formy se vytvoří po volbě dělicí roviny tvarové vložky. Pro vytvoření tvarových vložek je nutné stanovit potřebné smrštění vstřikovaného materiálu. Hodnota smrštění je stanovena z materiálového listu daného materiálu a je 1,8 %. O tuto hodnotu je model výstřiku zvětšen. Dále se musí 3D model upravit pomocí úkosů, které jsem volil 1°.

Z takto upraveného modelu jsou pak tvořeny 3D data všech tvarových ploch. Důležité je zajistit, aby díl zůstal na pohyblivé straně formy, tento problém je vyřešen bočními tvarovými vložkami, čelní vložkou a tvarovým jádrem. Pohyb těchto prvků je zajištěn pomocí šikmých kolíků při odjždění pohyblivé části formy od pevné.

Na obr. 40 jsou zobrazeny všechny tvarové součásti, bez jedné boční tvarové vložky kvůli přehlednosti.



Obr. 40.: Zaformování vstřikovaného dílu.

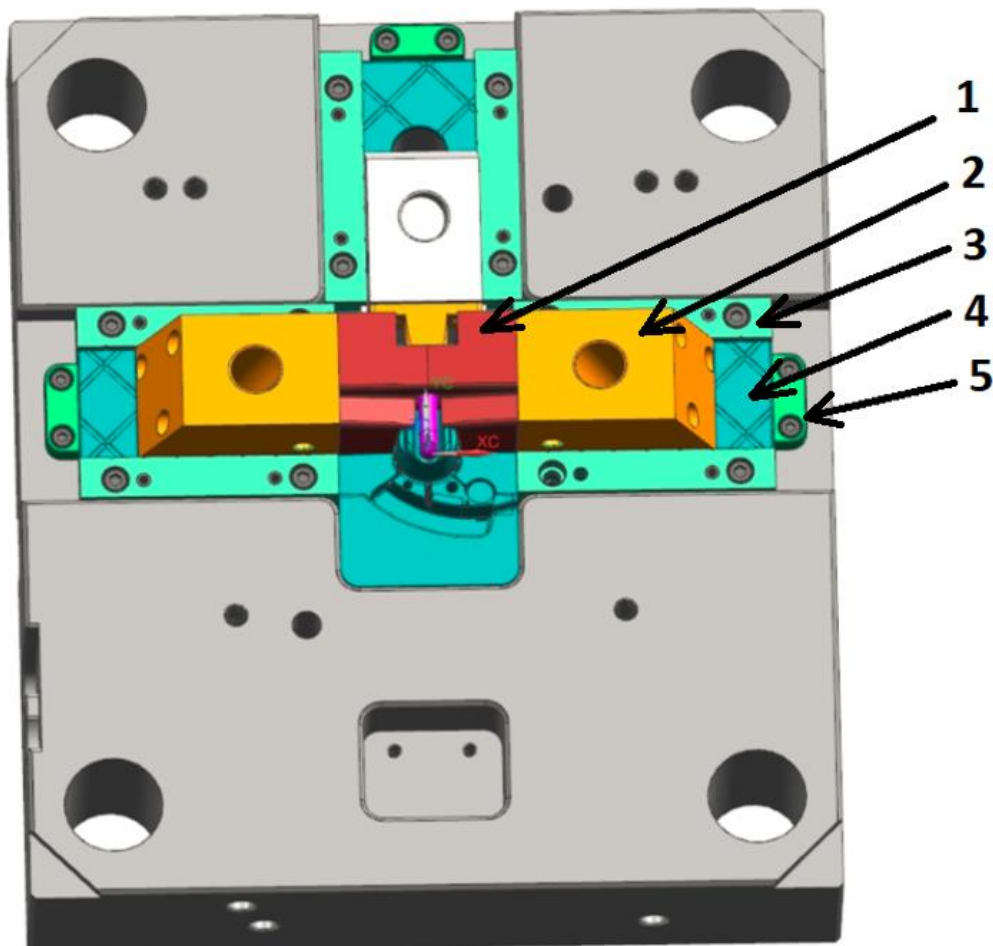
- 1 - tvarová vložka AS, 2 - tvarová vložka DS, 3 – boční tvarová vložka,
4 – čelní tvarová vložka, 5 – tvarové jádro, 6 – vstřikovaný díl

3.6. Pohyb bočních tvarových vložek, čelní vložky a tvarového jádra

Pohyb těchto tvarových vložek a tvarového jádra je umožněn přišroubováním k pohyblivým vozíkům umístěným mezi kluznými deskami a lištami, na pohyblivé straně formy (obr. 41). Pohyb vozíků je zajištěn pomocí šikmých kolíků (obr. 42), které jsou součástí pevné strany formy. Díra ve vozíku, kterou prochází šikmý kolík musí být vyrobena s vůlí.

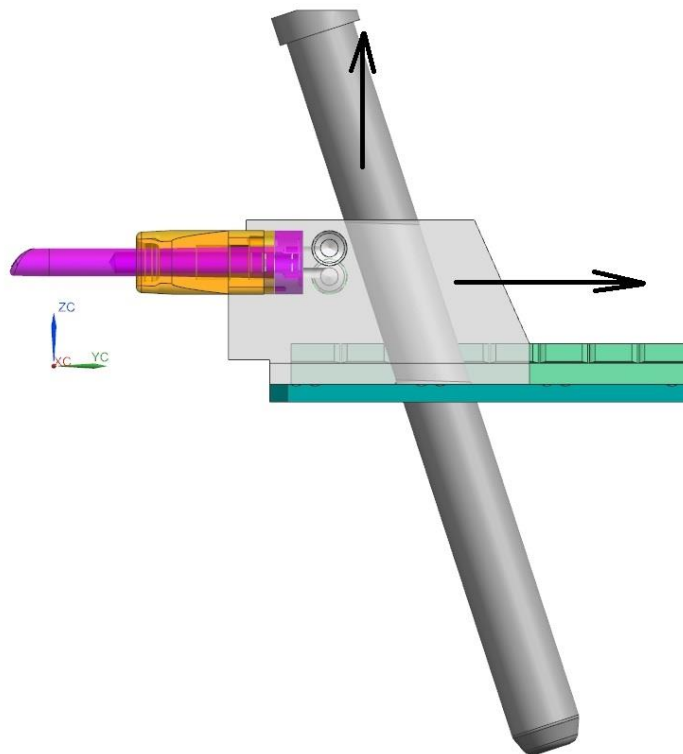
Výchozí poloha jader musí být při vstřikování důkladně zajištěna, toho docílím pomocí klínů upevněných v pevné části formy, které dosednou na uzpůsobené plochy vozíků.

Vozíky jsou v koncových polohách pro znemožnění vyjetí zabezpečeny dorazy.



Obr. 41.: Uspořádání tvarových vložek s vozíky na pohyblivé straně.

- 1 – boční tvarová vložka, 2 – vozík, 3 – kluzná lišta, 4 – kluzná deska,
 5 – doraz vozíku

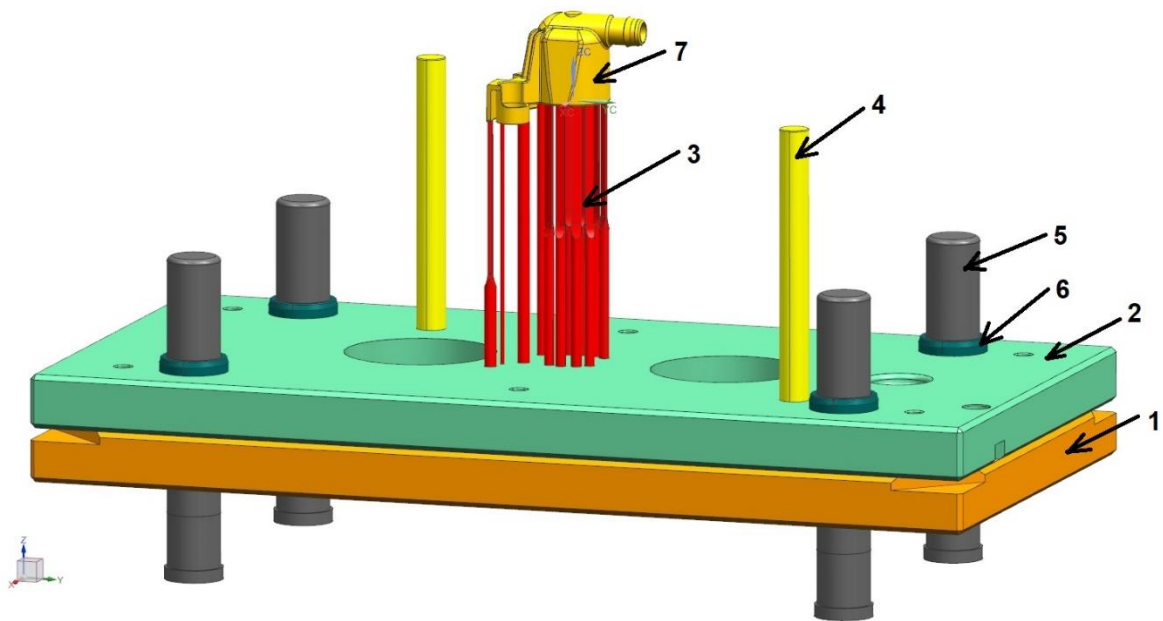


Obr. 42.: Funkce vozíku.

3.7. Vyhazování dílu z formy

Díly jsou z formy vyhazovány pomocí vyhazovačů. Použil jsem normalizované vyhazovače od firmy Meusburger, které jsem upravil dle potřeb. Vyhazovače jsou ukotveny v kotevní vyhazovací desce a zajištěny opěrnou vyhazovací deskou. Celý tento komplex se nazývá vyhazovací paket (obr. 43). Z důvodu použití plochých vyhazovačů musí být vyhazovače v kotevní vyhazovací desce zajištěny proti pootočení. Zajištění proti pootočení se docílí seřiznutím kulaté hlavy vyhazovače.

Po skončení vstřikovacího cyklu a zchlazení dílu na teplotu vyhazování dojde k posunutí vyhazovacího paketu, vyhazovače zatlačí do výstřiku, který z tvarových vložek vypadne. Poté se vyhazovací paket vrací do své výchozí polohy, aby byla forma připravena na vstřik dalšího dílu. Bezpečné vrácení vyhazovacího paketu do výchozí polohy je zajištěno vratnými kolíky. Pokud by nedošlo k úplnému vrácení do výchozí polohy, opřou se vratné kolíky o pevnou část formy a zatlačí se tam, čímž se vrátí i vyhazovací paket, protože jsou ukotveny ve společné kotevní vyhazovací desce.



Obr. 43.: Vyhazovací paket.

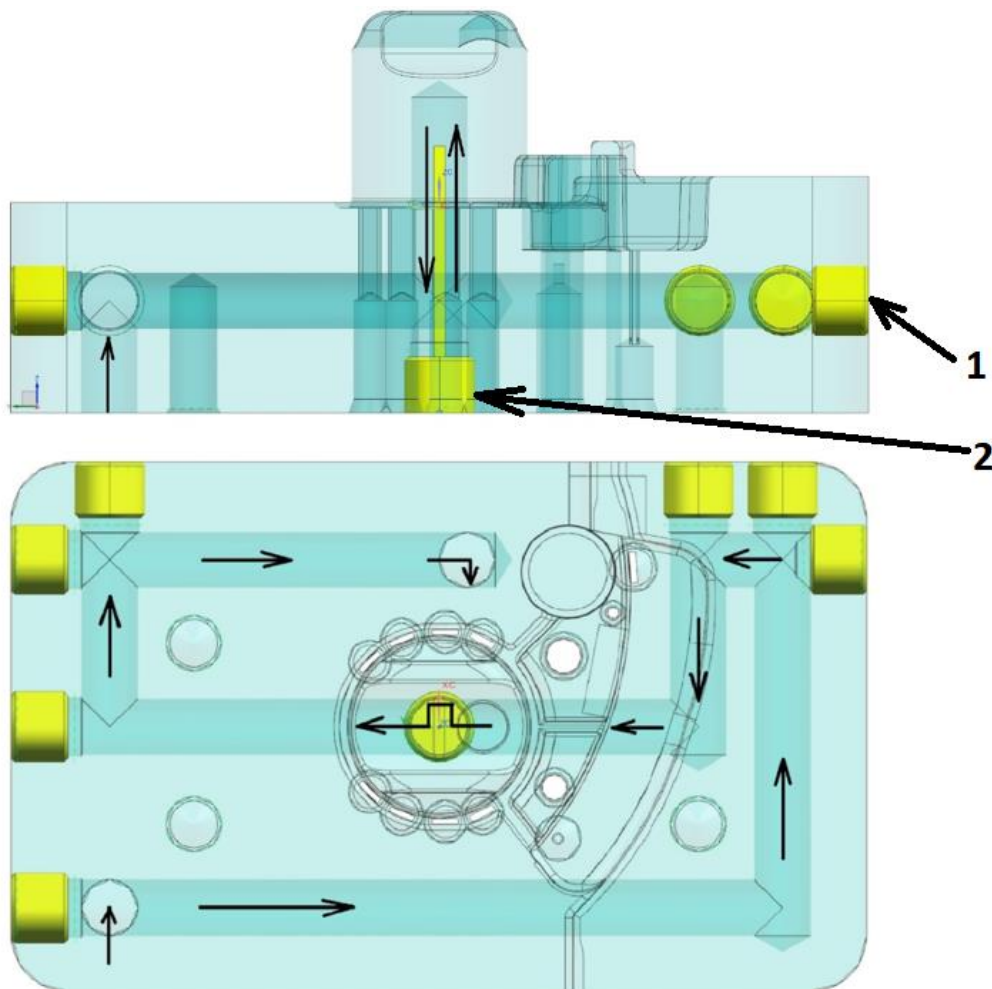
1 – opěrná vyhazovací deska, 2 – kotevní vyhazovací deska, 3 – vyhazovače,
 4 – vratný kolík, 5 – vodící kolík, 6 – pouzdro, 7 – výstřik

3.8. Temperační systém formy

Při vstřikování vstřikovaného materiálu do formy dochází k přehřívání tvarových částí formy. Z tohoto důvodu se snažíme z formy odvést co největší množství tepla, a přitom udržet konstantní tepelný režim formy. Každý chladicí kanál má svůj vstup a výstup. Vstup a výstup je opatřen našroubovanými náústky od firmy Meusburger, ke kterým se připojí hadice s převlečnými rychlospojky. Chladicí kanály je snaha dělat co největší, pokud to prostor dovolí z důvodu co největšího průchodu chladicí kapaliny. Z praxe je známo, že tloušťka stěn mezi jednotlivými chladicími kanály by měla být minimálně 4 mm, kvůli prorezavění.

Přestup chladicího média do tvarových částí z desek je utěsněn pomocí O-kroužků, do pohyblivých tvarových částí je přestup zajištěn pomocí otočných přípojek a umělohmotných hadic firmy Meusburger. Slepá ramena temperačních kanálů jsou zaslepena pomocí ucpávek.

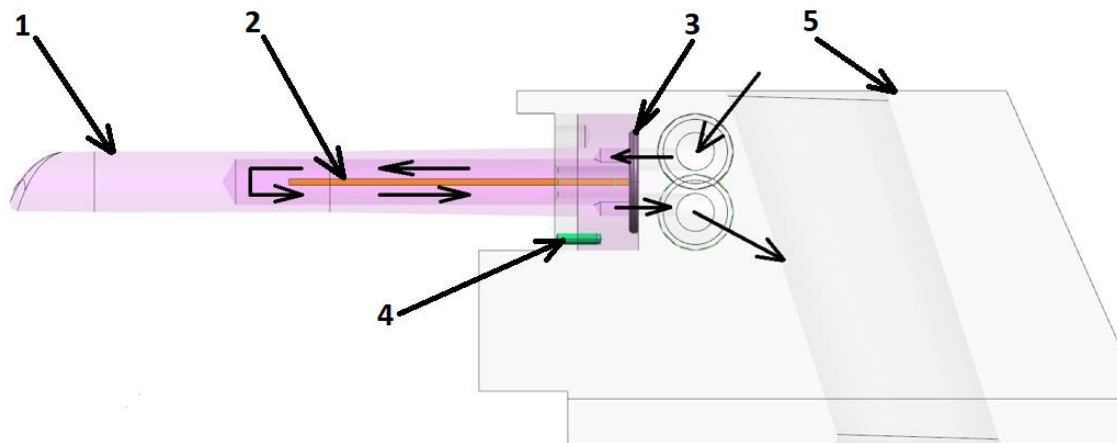
Na obr.44 je ukázán temperační systém tvarové vložky pohyblivé části formy. Podobný temperační systém mají i ostatní tvarové vložky včetně středových desek pohyblivé i pevné strany.



Obr. 44.: Temperační systém tvarové vložky.

1 – ucpávka (Meusburger), 2 – přepážka rovná se závitem (Meusburger)

Obtížným místem z důvodu malého prostoru, kde bylo nutné udělat temperační systém je tvarové jádro, které vytváří v dílu otvor viz. obr.45.



Obr. 45.: Temperační systém tvarového jádra.

- 1 – tvarové jádro, 2 – plochá přepážka, 3 – O-kroužek, 4 – pojistný kolík,
 5 – vozík

3.9. Rám formy

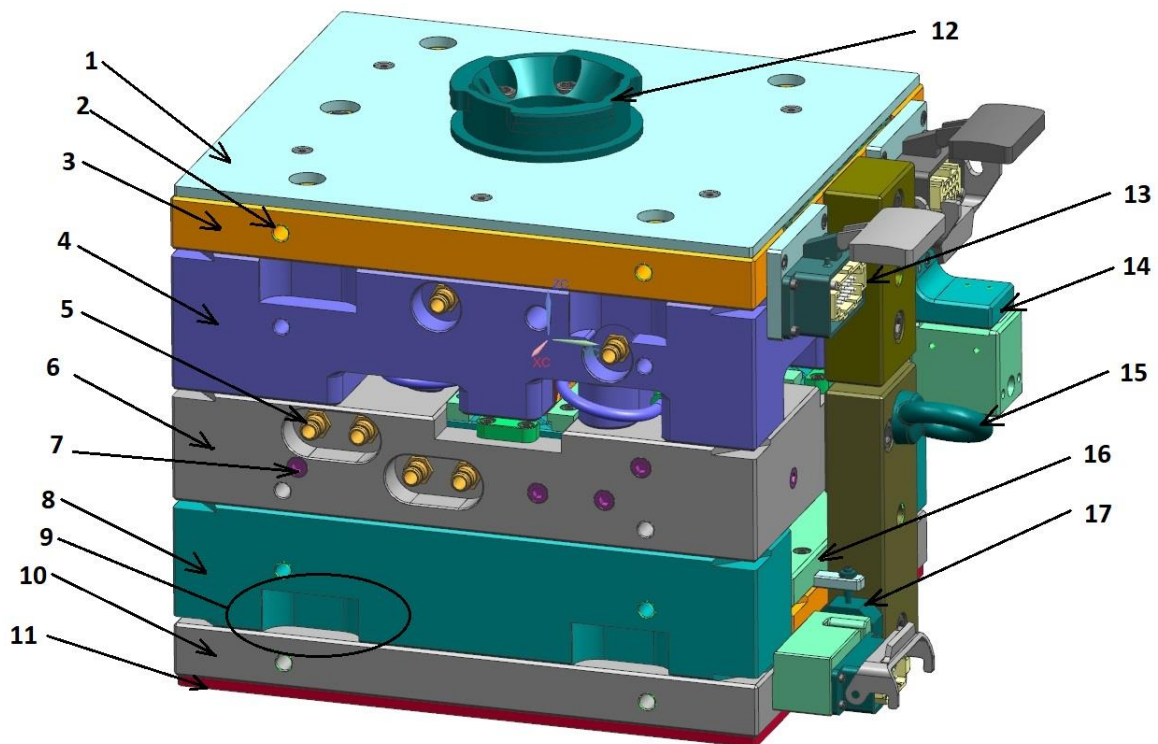
Rám formy byl zvolen dle normálíí firmy Cecho, jednotlivé desky odpovídají katalogovým číslům uvedeným v kusovníku. Podle velikosti rámu se volili rozměry ostatních prvků, jako jsou: vodící sloupky, pouzdra a šrouby kterými jsou desky spojeny. Proti zabránění přestupu tepla mezi vstřikovacím strojem a formou jsou použity izolační desky.

Forma je dále vybavena počítadlem cyklů, koncovým spínačem pro kontrolu koncové polohy vyhazovacích desek a teplotním čidlem.

K transportu formy jsou obě poloviny formy vybaveny trámecem, který je opatřen závěsným okem. Umístění přenosného oka je navrženo tak, aby bylo v těžišti formy. Forma je vybavena transportní pojistkou od firmy Hasco, která má za úkol zabránit posunutí pevné strany formy DS od pohyblivé strany formy AS.

Desky, které váží více jak 15 kg včetně rozpěrek musí být vybaveny transportními závity z důvodu manipulace na nástrojářském stole při montáži formy.

Pro demontáž formy jsou v rozích desek frézované plochy, které slouží jako prostor pro montážní páky. Na obr. 46 je vidět kompletní forma, která byla navrhována. Předchozí kapitoly byly zaměřeny na vnitřní tvarové části, které se dělají při návrhu formy jako první a odvíjí se od nich velikost rámu formy s dalšími součásti.



Obr. 46.: Vstřikovací forma.

- 1 – izolační deska DS, 2 – transportní závity desky, 3 – upínací deska DS,
 4 – středová deska DS, 5 – přípojky pro připojení hadic s chladicí kapalinou,
 6 – středová deska AS, 7 – ucpávky chladících kanálů, 8 – rozpěrná lišta,
 9 – vybrání pro umístění upínek při upínání formy k lisu, 10 – upínací deska AS,
 11 – izolační deska AS, 12 – bajonetová příruba (STAUBLI), 13 – zásuvka pro
 připojení elektřiny, 14 – počítadlo zdvihů, 15 – závěsné oko,
 16 – vyhazovací paket, 17 – koncový spínač

Podrobněji je vnitřek vstřikovací formy vidět na výkrese sestavy (příloha 1) a podrobné provedení středové desky AS na výrobním výkrese (příloha 3).

3.10. Odvzdušnění formy

Pro odvzdušnění formy není nutno volit zvlášť konstrukci odvzdušňovacích kanálů, neboť vzduch z dutiny formy unikne přes pohyblivé části formy, popřípadě dělicí rovinou.

3.11. Vstříkovací stroj

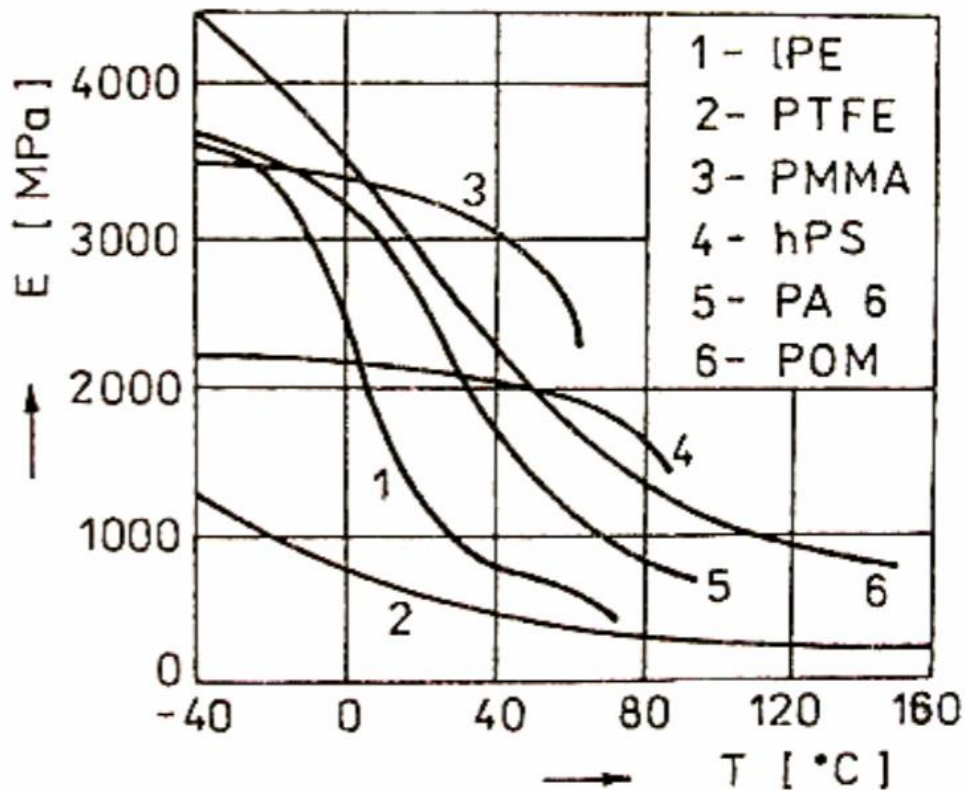
Vstříkovací forma byla svými rozměry navržena, aby mohla být použita na vstříkovací lis Arburg 420C. Níže jsou popsány některé jeho technické parametry.

Tab. 4.: Technické parametry Arburg 370C. [15]

Vstříkolis označení:		Arburg 370 C 800 - 225
Výrobní číslo:		155 932
Umístění lisu:		MOE 13
Typ řízení		Dialogica
Manipulátor		ne
Uzavírací jednotka		
Orientace uzavírací jednotky		horizontální
Uzavírací síla:	kN	800
Min. výška formy:	mm	250
Max. vzdálenost mezi deskami:	mm	750
Vzdálenost mezi sloupky (hor. x vert.)	mm	370 x 370
Upínací systém:	typ	klasický
Max. dráha vyhazovače:	mm	175
Max. síla vyhazovače:	kN	40
Průměr centrážního kroužku	mm	125
Vstříkovací jednotka		
Průměr šneku:	mm	35
Optimální dávka materiálu (min - max):	ccm	33-101
Max. vstříkovací tlak	bar	1750
Max. přítlačná síla vstříkovací jednotky:	kN	55
Výška trysky min-max (vertikální lis):	mm	
Zvláštní vybavení		
Tahače jader	počet okruhů	1
Temperace nástroje (DS)	počet okruhů	2
Temperace nástroje (AS)	počet okruhů	2
Studená voda (22°C)	počet okruhů	ANO
Chlazená voda (12°C)	počet okruhů	NE
Řízení horkých vtoků - počet zón		externí - 4 zóny
Řízení uzávěrů HK	počet okruhů	---
Zvláštní program vyhazovače:		NE
Ofuk zvduchem	počet ventilů	1
Další vybavení		

3.12. Výpočet vyhazovací síly

Efektivní smršťování $s_{F\text{ef}}$ vyvolává ve výstřiku tahové napětí σ_t , které dle Hookova zákona je: $\sigma_t = s_{F\text{ef}} \cdot E$, kde E je modul pružnosti při teplotě vyhazování T_v .



Obr. 47.: Závislost modulu pružnosti E některých terpomplastů na teplotě. [2]

Teplota vyhazování $T_v = 100 \text{ °C}$, tomu odpovídá $E = 1\,100 \text{ MPa}$.

$$\sigma_t = s_{F\text{ef}} \cdot E = 0,018 \cdot 1\,100 = 19,8 \text{ MPa} \quad (3)$$

Napětí σ_t vyvolá mezi plastem a tvárníkem tlak:

$$p_T = \sigma_t \cdot \frac{s}{r_3} = 19,8 \cdot \frac{2,3}{12,5} = 3,64 \text{ MPa} \quad (1)$$

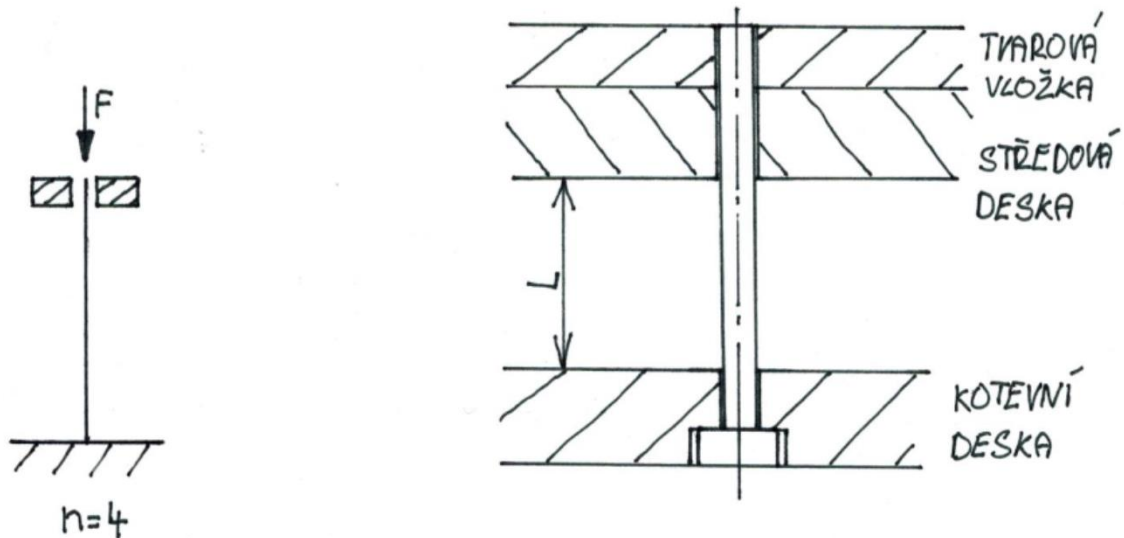
Vyhazovací síla se spočte:

$$F_{v\text{ef}} = f \cdot S_{TV} \cdot p_T = 0,21 \cdot 4\,278 \cdot 3,64 = 3\,270 \text{ N} \quad (2)$$

3.13. Kontrola vyhazovače na vzpěr

Forma má celkem 12 vyhazovačů, vyhazovací síla 3 270 N tedy bude rozvržena a každý vyhazovač bude působit na díl silou 272,5 N.

Kontrola je prováděna na vyhazovači s nejmenším průměrem $D = 1,7$ mm a celkové délce 134,5 mm, ale délka L na které hrozí vzpěr je 35 mm.



Obr. 48.: Způsob uložení vyhazovače.

Výpočet F_{KR} podle Eulera:

$$F_{KR} = n \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{MIN}}{L^2} = 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,41}{35^2} = 2\,275 \text{ N} \quad (4)$$

$$J_{MIN} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1,7^4}{64} = 0,41 \text{ mm}^4 \quad (5)$$

F_{KR} je mnohem větší než síla, která na vyhazovač působí, tudíž zvolený vyhazovač vyhovuje.

3.14. Výpočet uzavírací síly formy

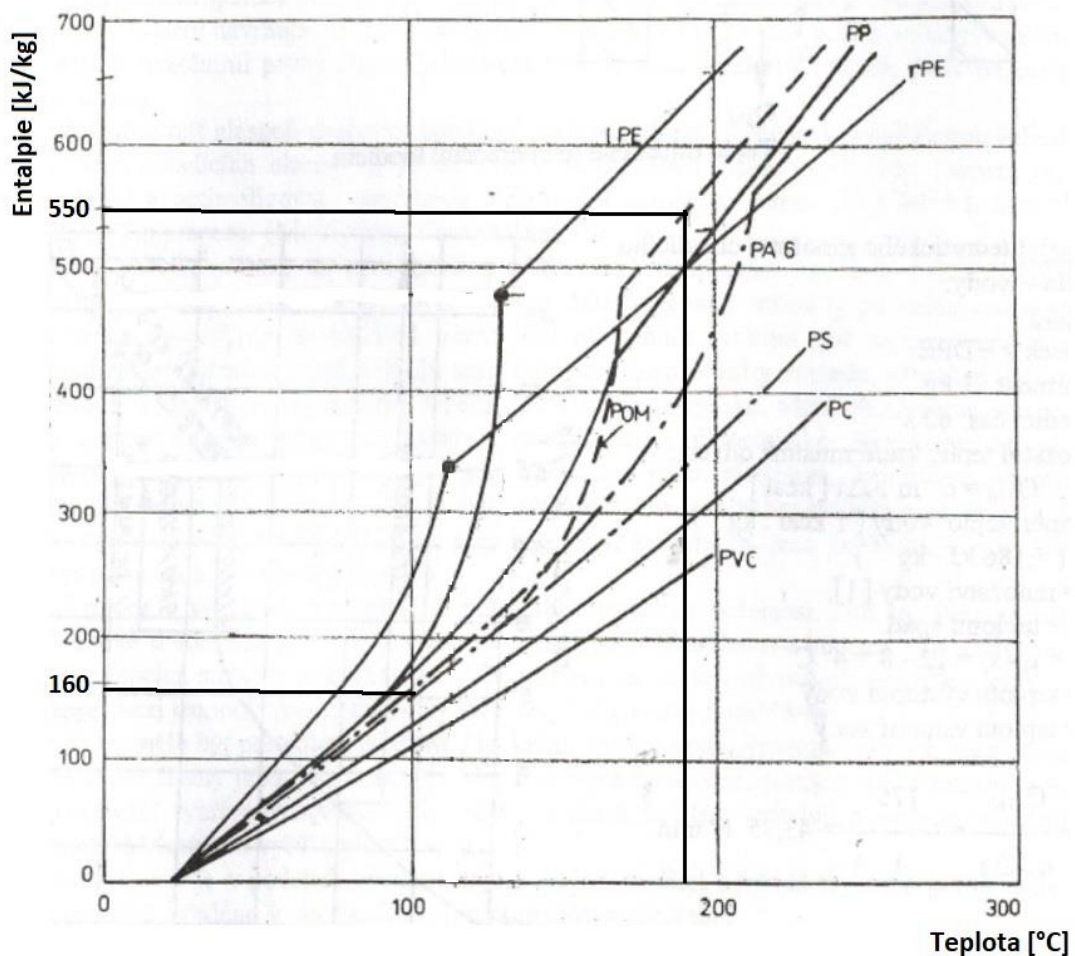
Síla, kterou musí lis na formu působit během vstřikovacího procesu. Vstřikovaný plast je vstřikován pod tlakem 900 barů, po započtení koeficientu bezpečnosti $k = 1,1$ je $p = 990$ barů.

Uzavírací síla:

$$F = p \cdot S_{PR} = 99 \cdot 1493,8 = 148 \text{ kN} \quad (6)$$

3.15. Výpočet teoretického množství chladicí kapaliny

Množství tepla, které je potřeba odvést Q_{TM} závisí na entalpii, kterou odečtem z grafu pomocí teploty vstřikování $T_{vstřik.} = 190$ °C a teploty vyhazování $T_V = 100$ °C.



Obr. 49.: Závislost entalpie na teplotě. [5]

Odečtená hodnota entalpie je 390 kJ/kg. Množství odvedeného tepla pro díl, který má hmotnost 17 g je 6,63 kJ.

Množství chladicí kapaliny:

$$m = \frac{Q_{TM}}{c \cdot \Delta T} = \frac{6,63}{4,186 \cdot 1} = 1,6 \text{ l/min} \quad (7)$$

Rychlost protékání chladicí kapaliny vychází z nejmenšího průměru, kterým kapalina protéká a tou jsou hadičky dodávající kapalinu do vozíků s vnitřním průměrem 5,5 mm.

$$m = 1,6 \text{ l/min} = 27 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{m}{S_{\min}} = \frac{27 \cdot 10^{-6}}{\frac{\pi \cdot 0,0055^2}{4}} = 1,14 \text{ m/s} \quad (8)$$

Rychlost protékající chladicí kapaliny je 1,14 m/s.

4. Závěr

V teoretické části byli popsány hlavní zásady konstrukce výlisků z plastu, dále vyhazovací, temperační, odvzdušňovací a vtokové systémy formy.

V praktické části bylo úkolem podle zadaného dílu a lisu na který bude forma umístěna navrhnout vstřikovací formu. Všechny normalizované dílce byly zabudovány do formy pomocí 3D katalogu firmy Meusburger. Snahou bylo i využití polotovarů desek od firmy Cecho, čímž se zvýší rychlost samotné výroby formy.

Tvarové části formy jsou otiskem 3D dílu se smrštěním dle materiálového listu 1,8%.

Vyhazovací systém je realizován pomocí vyhazovacího paketu s upravenými vyhazovači od firmy Meusburger. Vypočtená velikost vyhazovací síly je 3270 N. Vyhazovač s nejmenším průměrem při kontrole na vzpěr vyhovuje.

Temperace formy byla zohledněna do všech tvarových částí formy. Forma má celkem 3 temperační okruhy. Množství protékajícího chladícího média (vody) je 1,6 l/min s rychlostí 1,14 m/s, která záleží na minimálním průměru průtoku.

Pro odvzdušnění formy nebylo nutno volit zvlášť konstrukci odvzdušňovacích kanálů. Odvzdušňovací kanály se nejčastěji dělají až po zkušebním vstřiku dílu na místech, kde dojde ke spálení dílu.

Vtokový systém je vyhřívaná tryska od firmy Synventive, která je umístěna shora kolmo k dílu.

Vypočtená hmotnost dílu je 17 gramů a velikost uzavírací síly formy 148 kN. Hmotnost pohyblivé části formy je 195,7 kg, pevné části formy 138 kg.

Dále bylo úkolem vytvořit výkres sestavy včetně pozic, kusovníku a výrobní výkres jedné součásti, kterou jsem zvolil středovou desku AS. Tato dokumentace je součástí příloh včetně materiálového listu vstřikovaného materiálu.

Kompletní návrh formy byl vytvořen v programu NX 9,0.

Seznam použité literatury

- [1] MANAS, M. a J. HELŠTÝN. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II.* Brno: VUT, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
- [2] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastu.* Praha: VÚNM, 1977.
- [3] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl-Vstřikování termoplastů.* Brno: UNIPLAST, 1999.
- [4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I.díl – Vstřikování termoplastů.* 2.vydání. Brno: UNIPLAST, 1999.
- [5] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: POLYMERY.* Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [6] Principy konstrukce plastových výlisků. *MM Průmyslové spektrum.* 2013, **2013**(1).
- [7] Vstřikovací formy pro zpracování plastů [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [8] HENDRYCH, WEBER, DOLEŽAL. Standardisace rámu a součástí forem pro vstřikování plastů. SNTL, 1986.
- [9] Svoboda [online]. Brno: Svoboda [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: www.jansvoboda.cz
- [10] *Meusburger setting standards* [online]. Austria [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: www.meusburger.com
- [11] HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Ukázkové vývojové projekty z praxe pro posílení praktických znalostí budoucích strojních inženýrů.* [online]. In: . 2013, s. 1-7 [cit. 2018-04-25].
- [12] LANXESS Inc. *Engineering Plastics: Part and Mold Design.* [Online] http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015.
- [13] KREBS, J a SOVA, M. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů.* Praha : Verlag Dashöfer, 5. aktualizované vydání, 1999-2000. 80-8622915-7.
- [14] ORYCON. www.orycone.cz. [Online] <http://www.orycone.cz/rozvadece-orycon.html>.
- [15] *Danzaplast* [online]. [cit. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://www.danzaplast.com/injection%20moulding%20machines/Arburg%20370%20C%201000%20250%20160580.htm>
- [16] *Hypolymers* [online]. [cit. 2018-06-26]. Dostupné z: <http://hipolymers.com.ar/pdfs/celcon/datos/hostaform%20C%2013021.pdf>



Seznam příloh

Výkres sestavy: SZ01CB01.....	příloha 1
Kusovník sestavy: SZ01CB01.....	příloha 2
Výrobní výkres středové desky AS: SZ01CB01P004.....	příloha 3
Materiálový list POM [16].....	příloha 4

Seznam obrázků

Obr. 1.: Příklady zaformovatelnosti. [5]	5
Obr. 2.: Příklad charakteristiky $1/s$ [5]	6
Obr. 3.: Tloušťka žebra [5].....	7
Obr. 4.: Vliv změny průřezu na velikost napětí. [5]	8
Obr. 5.: Odstranění ostrých rohů. [5]	8
Obr. 6.: Vytvoření otvoru pomocí jádra. [5]	9
Obr. 7.: Lisovací úkosy. [7]	10
Obr. 8.: Základní typy vyhazovačů.	11
Obr. 9.: Příklad výpočtu vyhazovací síly. [5].....	12
Obr. 10.: Teplotní bilance formy. [5].....	13
Obr. 11.: Umístění chladících kanálů. [5]	14
Obr. 12.: Ucpávka s pryžovým „O“ kroužkem, výrobce MEUSBURGER. [10]	15
Obr. 13.: Příklad použití a montáže ucpávky s pryžovým „O“ kroužkem. [10].....	15
Obr. 14.: Přípojka E2000D, výrobce MEUSBURGER. [10].....	16
Obr. 15.: Plochá přepážka. [9]	17
Obr. 16.: Systém plochých přepážek – schematický nákres, princip funkce. [7]	17
Obr. 17.: Spirálová přepážka. [9].....	18
Obr. 18.: Systém spirálových přepážek – schematický nákres, princip funkce. [7]	18
Obr. 19.: Fontánka. [9]	19
Obr. 20.: Systém fontánek – schematický nákres, princip funkce. [7]	19
Obr. 21.: Doporučená konstrukce odvodušovacího kanálku. [7]	20
Obr. 22.: Příklad odvodušnění slepé díry. [11]	21
Obr. 23.: Příklad odvodušnění tenkého žebra vyhazovačem. [11].....	22
Obr. 24.: Schéma studené vtokové soustavy. [12]	23
Obr. 25.: Uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem. [13].....	24
Obr. 26.: Vtokové ústí. [13].....	25
Obr. 27.: Vhodnost umístění vtokového ústí. [13].....	25
Obr. 28.: Přidržovače vtoku. [13]	26
Obr. 29.: Horký rozvod trysek firmy Orycon. [14]	27
Obr. 30.: Uspořádání rozvodných bloků firmy Orycon. [14]	27
Obr. 31.: Druhy dýz s vnějším topením. [5].....	28
Obr. 32.: Dýza s vnitřním topením. [5].....	29
Obr. 33.: Dýza s uzavíráním ústí vtoku jehlovým uzávěrem. [5].....	30
Obr. 34.: Pohledy vstřikovaného výrobku.	31
Obr. 35.: Bajonetové upínání firmy STÄUBLI.	32
Obr. 36.: Vtoková soustava	33
Obr. 37.: Zaformování pevná část.....	34
Obr. 38.: Zaformování pohyblivá část.....	34
Obr. 39.: Tvarové vložky s jádrem.	35
Obr. 40.: Zaformování vstřikovaného dílu.	36
Obr. 41.: Uspořádání tvarových vložek s vozíky na pohyblivé straně.	37
Obr. 42.: Funkce vozíku.....	38
Obr. 43.: Vyhazovací paket	39
Obr. 44.: Temperační systém tvarové vložky.	40
Obr. 45.: Temperační systém tvarového jádra.	41
Obr. 46.: Vstřikovací forma.....	42
Obr. 47.: Závislost modulu pružnosti E některých terpomplastů na teplotě. [2]	44
Obr. 48.: Způsob uložení vyhazovače.	45
Obr. 49.: Závislost entalpie na teplotě. [5].....	46



Seznam tabulek

Tab. 1.: Doporučené hodnoty dimenzování chladících kanálů. [5]	14
Tab. 2.: Hodnoty šířky odvětrávacích kanálů. [5]	21
Tab. 3.: Vybrané vlastnosti materiálu POM [16].....	32
Tab. 4.: Technické parametry Arburg 370C. [15].....	43