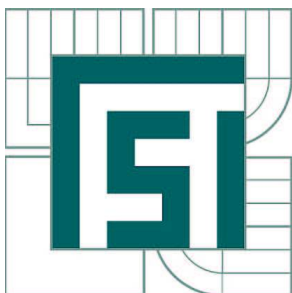


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉ PRUŽNÉ SPONY

PRODUCTION TECHNOLOGY FLEXIBLE PLASTIC CLIP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN MIKULENKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Mikulénka

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologie výroby plastové pružné spony

v anglickém jazyce:

Production technology flexible plastic clip

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat rešerši na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na pružnou sponu z plastu podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří, ZELINGER, Jiří, KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha : Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- MENGES, Georg, MOHREN, Paul. How to Make Injection Molds. 2nd edition. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 23.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V současné době má plastový průmysl velmi široké využití a to díky možnosti plně automatizovaného procesu či vyšší efektivity výroby. Důvodem volby diplomové práce bylo pochopení celé problematiky procesu vstřikování plastů. Zadaná součást slouží k přichycení plachty, která chrání pracovníky ve svařovacím sektoru. Zadaný počet dané série je 350 000 kusů. Práce obsahuje teoretickou část problematiky vstřikování plastů, volbu technologie výroby, volbu materiálu a konstrukční návrh formy. Nedílnou součástí každého návrhu vstřikovací formy je simulace plastů, kterou práce rovněž obsahuje. V závěru diplomové práce je kalkulace jednotlivých etap pro výrobu a provoz vstřikovací formy.

Klíčová slova

Konstrukce formy, simulace vstřikování, vtokový systém, temperační systém, vyhazovací systém, odvzdušnění, smrštění.

ABSTRACT

Currently, the plastics industry has a wide range of applications due to the possibility of a fully automated process or through increased production efficiencies. The reason for this choice of the thesis was to understand the whole issue of plastic injection molding process. The specified component is used to attach the sail, which serves to protect workers in the welding sector. A specified number of the series is 350 000. The work includes a theoretical problem of injection molding process, selection of technology, material selection and design of mold. An integral part of every design mold is a simulation of injection, which is also included. In conclusion of thesis is the calculation of the various stages of production and operation of the injection mold.

Key words

Mold design, simulation of injection, intake system, cooling system, ejector system, venting, contraction.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIKULENKA, M. *Technologie výroby plastové pružné spony*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 27. 5. 2011

.....

Vlastnoruční podpis

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále chci poděkovat společnosti Formex Brno s.r.o., zastoupenou panem Bedřichem Tkaným, za poskytnutí simulací a zodpovězení dotazů. Rovněž poděkování patří mým rodičům, kteří mi studium na vysoké škole umožnili a v plné míře mě podporovali.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
1 Úvod.....	9
2 Makromolekulární látky – polymery	10
2.2 Struktura polymerů	11
2.3 Základní suroviny pro polymery	11
2.4 Přísady polymerů.....	11
2.5 Vlastnosti polymerů.....	12
2.5.1 Reologické vlastnosti.....	12
2.5.2 Mechanické vlastnosti.....	13
2.5.3 Elektrické vlastnosti.....	15
2.5.4 Chemické vlastnosti	15
2.5.5 Degradace a stárnutí.....	15
2.5.6 Jiné vlastnosti polymerů	15
3 Technologie vstřikování	16
3.1 Základní pojmy.....	16
3.2 Vstřikovací cykly.....	17
3.3 Činitelé ovlivňující kvalitu výstřiku	21
3.4 Formy pro vstřikování	23
3.4.1 Vtokový systém	23
3.4.2 Vyhazovací systém	25
3.4.3 Temperační systém	26
3.4.4 Odvzdušnění forem.....	26
4 Problematika ohybových elementů.....	27
5 Návrh technologie výroby.....	29
5.1 Možné varianty výroby.....	29
5.2 Volba materiálu	30
6 Technologické parametry	31
7 Konstrukční řešení formy.....	35
7.1 Úprava 3D modelu.....	36
7.2 Konstrukce dutiny formy.....	38
7.3 Vtokový systém	38
7.4 Temperační systém	40
7.5 Odvzdušnění	43
7.6 Vyhazovací systém	43
7.7 Ostatní systémy formy	45
7.8 Volba vstřikovacího lisu	47
8 Simulace vstřikování.....	50
9 Technicko ekonomické zhodnocení	56
9.1 Náklady na pořízení formy	56
9.2 Náklady na granulát materiálu.....	57
9.3 Režijní náklady na provoz	58
10 Závěr.....	61

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam výkresů

Seznam příloh

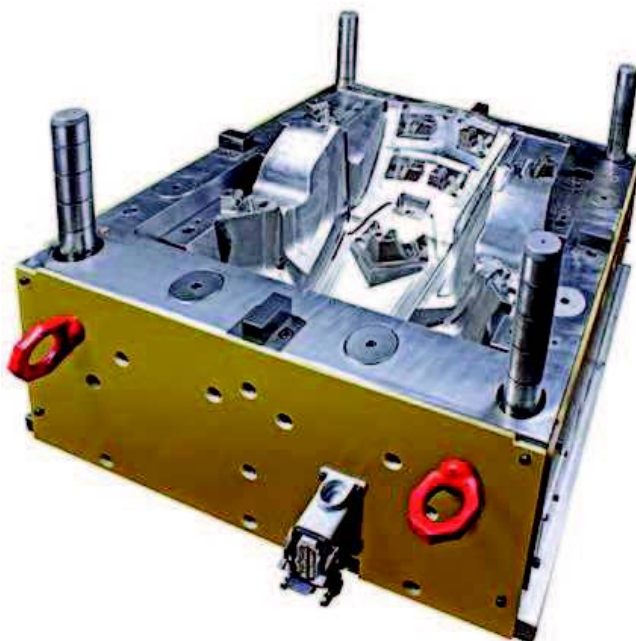
1 ÚVOD

Počátek vývoje plastového průmyslu se datuje od druhé poloviny 19. století. Během této doby prošel tento průmysl vývojem několika technologií a v současné době se nabízí možnost náhrady kovových součástí za plastové se stejnými mechanickými vlastnostmi. Mezi hlavní odběratele součástí z plastů je automobilový průmysl a elektrotechnický průmysl.

Je třeba si uvědomit, že přírodních surovin není dostatek. Z tohoto důvodu se v současnosti financuje několik projektů, které se zabývají recyklací plastů nebo jejich ekologickou likvidací. Tento problém může být vyřešen formou dotací firmám, které tento regenerulát používají.

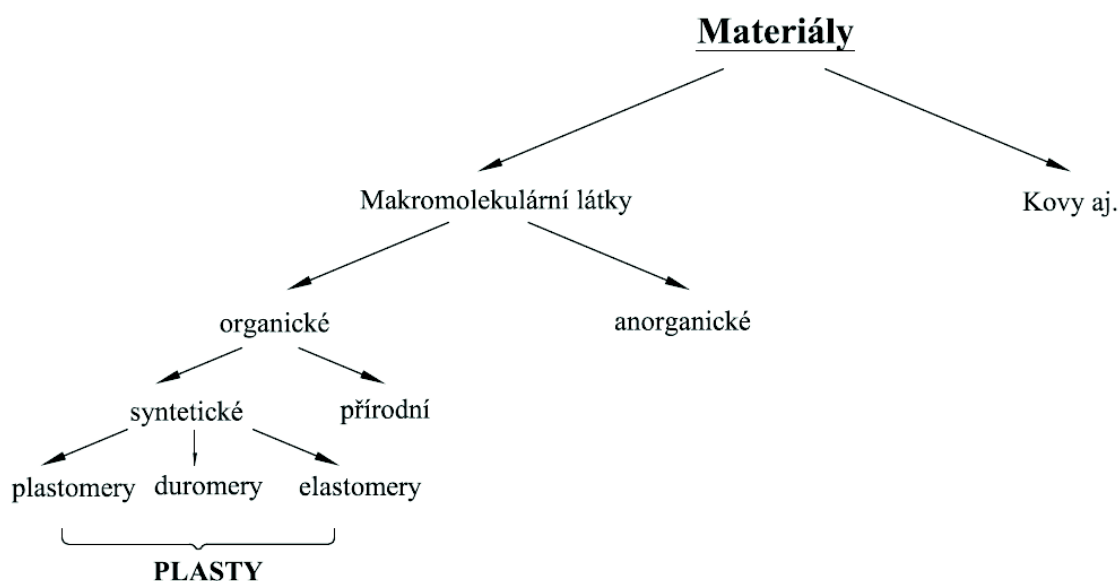
V současné době existuje několik softwarů, které podporují konstruování formy, přes analýzu dělicí roviny po samotnou simulaci vstřikování plastů. Tyto softwary patří do vyšší cenové kategorie. S postupem času má zákazník vyšší nároky na konstrukci formy a splnit jeho požadavky je nelehký úkol. Ať už je to požadavek na volbu vstřikovacího lisu, umístění dělicí roviny, řešení odzdušnění formy, vyhazovací systém, temperační systém atd. Samotná výroba vstřikovací formy je velmi složitá. Mezi nejnovější technologie pro výrobu tvarové dutiny patří elektroerozivní obrábění, kdy je použito elektricky vodivého materiálu. Tato metoda umožňuje vyrábět ty nejsložitější tvary a začíná tam, kde ostatní konvenční technologie končí. Na trhu, v oblasti vstřikování plastů, existuje řada společností, které dodávají části formy. Mezi tyto společnosti patří např. Meusburger, Hasco aj. Pro jejich volbu je rozhodující cena a čas dodání.

Důvodem zvolení diplomové práce na téma vstřikování plastů byl zájem pochopit danou technologii vstřikování, navrhnout konstrukci formy a získat teoretickou zkušenost v tomto oboru, z důvodu stále se více rozvíjejícímu průmyslu.



Obr. 1 Část vstřikovací formy [5]

2 MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY – POLYMERY [8]



Obr. 2 Rozdělení materiálů [1]

2.1 Základní pojmy [8], [6], [28], [16]

Plasty (makromolekulární látky) = polymer + přísady + plniva

Polymer: je definován jako látka obsahující molekuly jednoho nebo více druhů atomů. Toto sestavení je v tak velkém počtu, že řada fyzikálních a chemických vlastností této látky se nezmění přidáním nebo odebráním několika jednotek (monomerů).

Přísady: stabilizátory, pigmenty, maziva, separátory, aj.

Plniva: přidáváme ve větším množství, které mají více či méně vyztužující charakter.

Nejdůležitější pojmy polymerů:

Termoplasty: polymer, který můžeme opakovaně roztavit a jeho ochlazením se převede zpět do tuhého stavu.

Reaktoplast: polymer hustě zesíťovaný, nerozpustný a netavitelný (zesíťují při vyšších teplotách).

Plastomer: makromolekulární látka, která zůstane deformována, i když napětí přestane působit.

Elastomer: makromolekulární látka, která se vrací do původního tvaru a rozměru po zatížení (převažuje viskoelastické chování).

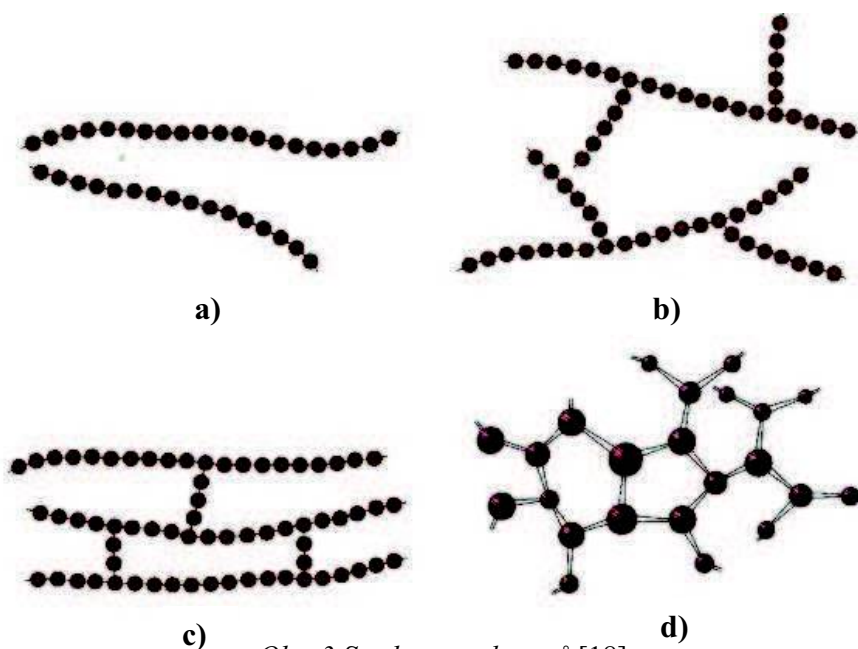
Amorfní plast: plast, který nemá pravidelně uspořádanou strukturu, odolává creepu a má dobrou vrubovou houževnatost.

Krystalický plast: má prostorově pravidelně uspořádanou strukturu, odolnost proti otěru a tvarová stálost za tepla.

2.2 *Struktura polymerů* [18]

Polymery jsou tvořeny makromolekulami, složenými z několika monomerů. Dle uspořádání těchto monomerů je můžeme rozdělit do 4 druhů.

- Lineární polymery – monomery jsou seřazeny za sebou, tvoří tedy jednoduchý řetězec, mezi těmito řetězci působí slabé Van der Waalsovy vazby.
- Rozvětvené polymery – charakteristikou těchto polymerů je hlavní řetězec, ze kterého vystupují vedlejší větve.
- Polymery se zkříženými články – sousední články těchto polymerů jsou mezi sebou propojeny články, které jsou vázány pomocí silné kovalentní vazby (přírodní nebo syntetický kaučuk).
- Síťované polymery – jsou trojrozměrné monomery, které mají tři aktivní kovalentní vazby vytvářející trojrozměrnou síť, mají dobré mechanické vlastnosti.



Obr. 3 *Struktura polymerů* [18]

2.3 *Základní suroviny pro polymery* [16]

Při výrobě polymerů se vychází ze dvou základních surovin. Jsou jimi suroviny *fosilní* a *recentní*. Mezi fosilní suroviny se řadí ropa, uhlí a zemní plyn a mezi recentní suroviny dřevo, rostliny, tuky a oleje. Významnější suroviny pro výrobu polymerů jsou fosilní a to hlavně ropa a produkty zpracované uhlím. Zdroje těchto surovin jsou omezené a hrozí jim vyčerpání. Z tohoto důvodu bude důležité vyvíjet technologii výroby polymerů z recentních surovin.

2.4 *Přísady polymerů* [8],[18],[21],[27]

Existuje několik nedostatků plastů, kvůli kterým používáme přísady. Patří mezi ně například: hořlavost, vznik elektrostatického náboje, nízká odolnost vůči degradaci, nízká houževnatost, malá tvrdost, omezená odolnost vůči chemikáliím, nízká tvarová stálost za tepla, špatné optické vlastnosti, apod. Plnivo určuje druh přísady.

Přísady dělíme do 2 skupin:

- a) Přísady, které upravují fyzikální vlastnosti plastů (změkčovadla, maziva, nadouvadla, aj.)
- b) Přísady, které mají ochranný účinek vůči degradaci (stabilizátory, retardéry hoření, aj.)

Tab. 1 Přísady a jejich vlastnosti [8]

přísada	vlastnosti
stabilizátory	zpomalují stárnutí plastů (nikoliv zastavují), zvyšují odolnost proti teplotě, zpomalují degradaci
barviva	dodávají potřebný barevný odstín
maziva	usnadňují zpracování, ovlivňují tekutost taveniny, vylepšují vzhled povrchu, lepší odolnost proti povětrnosti
retardéry hoření	zpomalují hořlavost plastů
změkčovadla	zlepšují houževnatost a ohebnost plastů,
tvrdidla	způsobují vznik příčných vazeb (vytvrzení)
nadouvadla	vznik lehčených hmot s pěnovou strukturou, na výrobku se vytvoří otevřené póry

Po určení přísady je nutno tuto přísadu dokonale smíchat se samotným materiálem polymeru. Míchání lze tedy definovat jako proces, ve kterém jsou dva nebo více materiálů spolu smíchány v míchacím prostoru, k dosažení co nejvhodněji rovnoměrné struktury. Míchání lze rozdělit na dva typy:

- a) Intenzivní míchání – míchací proces, ve kterém stupeň homogenity je závislý na intenzitě smykového namáhání v systému
- b) Extenzivní namáhání – míchací proces, ve kterém stupeň homogenity závisí na stupni toku nebo vytvoření nového povrchu

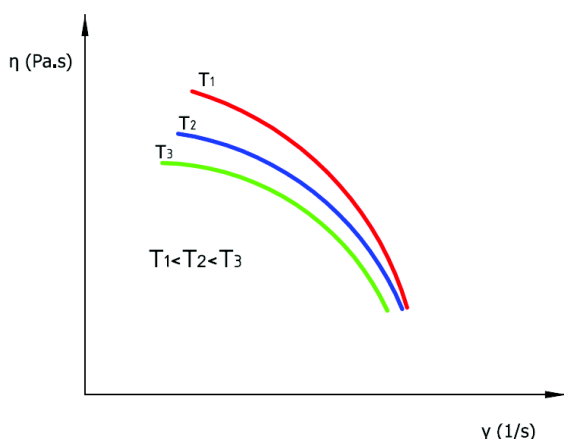
2.5 Vlastnosti polymerů [16]

Vlastnosti polymerů jsou závislé na struktuře, chemickém složení, molární hmotnosti, konfiguraci, konformaci a morfologii. Velkou roli na chování polymerů hraje teplota, způsob výroby a obsah přísad.

2.5.1 Reologické vlastnosti [8]

Tyto vlastnosti můžeme definovat jako zabíhavost taveniny. U taveniny určíme *objemový index toku taveniny (ITT)*. Tento index zjišťujeme pro popis tečení taveniny. Udává objem taveniny, která při dané teplotě a tlaku proteče kapilárou za dobu 10 min ($\text{cm}^3/10\text{min}$).

Toková křivka je popsána Newtovým zákonem:



$$\tau = \eta \cdot \gamma [Pa] \quad (2.1)$$

τ – smykové napětí [Pa]
 μ – dynamická viskozita [Pa·s]
 γ – smyková rychlost [1/s]

$$\gamma \in (10^0 - 10^5 \text{ 1/s})$$

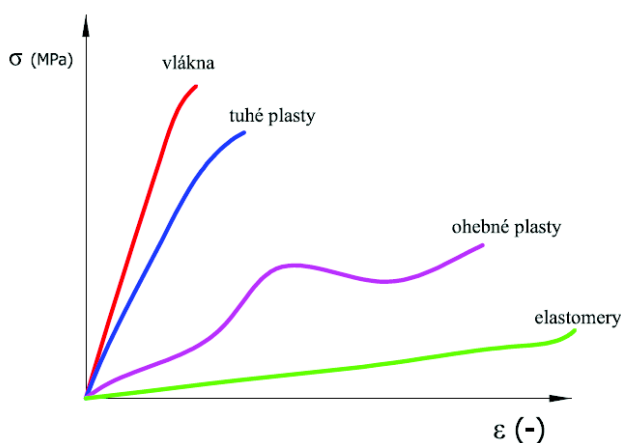
$$\eta \in (10^1 - 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s})$$

Obr. 4 Viskózní křivky [8]

2.5.2 Mechanické vlastnosti [16]

Mechanické vlastnosti polymerů se značně odlišují od materiálů kovových. Pro polymery je charakteristická závislost deformačního a pevnostního chování v závislosti na čase a teplotě. Toto jsou dvě základní veličiny u polymerů.

Plasticita polymerů



Z obr. č. 5 jde vidět, že elastomery při protahování dosahují relativně velkých deformací. Jedná se především o kaučuky a kaučukovité látky. Ohebné plasty mají méně lineární charakter, ale dosahují rovněž vysokých deformací. Vlákna a tuhé plasty vykazují menší deformace.

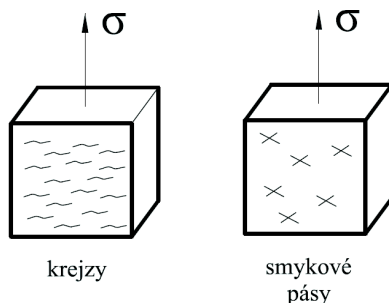
Obr. 5 Závislost napětí-deformace [16]

Za podmínek nízkého napětí a nízké teploty se polymery chovají jako ideálně elastická tělesa. Naopak při vyšším napětí, teplotě a rychlosti deformace se polymer může deformovat buď viskoelasticky nebo plasticky. Dle typu polymeru a podmínek namáhání lze rozdělit plastickou deformaci na dvě skupiny.

a) Krejzy – (přetvořené zóny a pukliny)

Iniciace tohoto druhu plastické deformace zapříčiňují defekty, nečistoty a zejména povrchové vady, ve kterých dochází k lokální koncentraci napětí. Směr puklin je natočen vždy kolmo na směr působení tahové síly.

- b) Smykové pásy - vznikají při namáhání ve smyku (případně v tlaku). Jsou orientovány pod úhlem 35° - 45° ke směru hlavního napětí. Jejich hustota a velikost závisí velikosti sférolitů a na pevnosti jejich hranic.



Obr. 6 Tvary typů plastických deformací [16]

Viskoelasticita

Pro mechanický popis chování polymerů se používá teorie lineární viskoelastivity. Je však omezena pro nízké napětí a jim úměrné malé deformace. Obr. 7 popisuje průběh deformace (napětí) na čase ideálně elastického tělesa a viskoelastického tělesa.

U *ideálního elastického tělesa* se deformace projevuje bez zpoždění časové změny napětí. Při působení napětí σ_0 nabývá deformace ε_0 okamžité hodnoty a s časem se nemění. Jakmile napětí σ_0 přestane působit, vymizí deformace ε_0 .

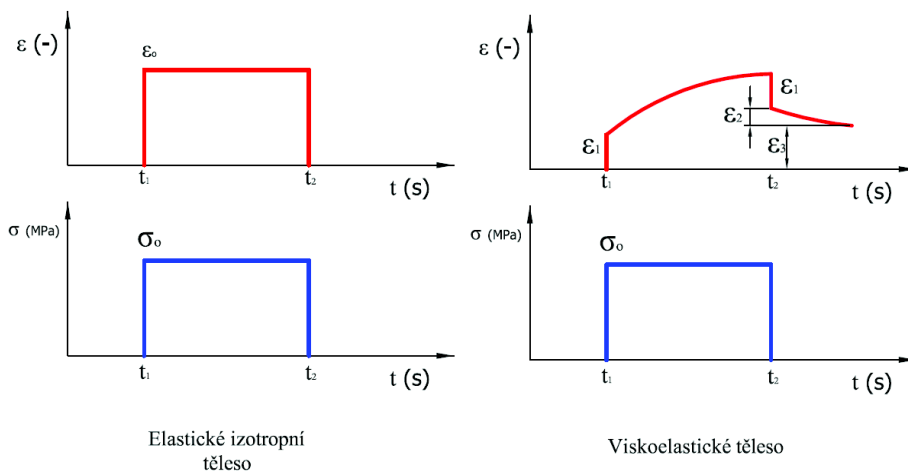
U *viskoelastického tělesa* se deformace projevuje v závislosti na čase. Po působení napětí σ_0 v čase t_1 se projeví okamžitá deformace ε_1 , která s časem narůstá na hodnotu ε_c . V čase t_2 přestane napětí působit a deformace okamžitě klesne o hodnotu ε_1 a další část deformace ε_2 vymizí po určité době. Po působení napětí zůstane v tělese deformace ε_3 .

$$\varepsilon_c = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad [\%] \quad (2.2)$$

ε_1 – okamžitá pružná deformace

ε_2 – zpožděná pružná deformace (časově závislá)

ε_3 – trvalá deformace vzniklá viskózním tečením



Obr. 7 Časová závislost deformace ideálně elastického a viskózně elastického tělesa [16]

2.5.3 Elektrické vlastnosti [16]

Polymery řadíme do skupiny elektricky nevodivých materiálů, tzv. izolanty. Elektroizolační vlastnosti polymerů vyplývají z omezené pohyblivosti elektronů, ale i iontů v prostředí nepolárních nasycených makromolekul. Jednou z vlastností polymerů je jejich elektrická průrazová pevnost definovaná jako mezní napětí ve vztahu k jednotce hloubky, při kterém se materiál elektricky prorazí, náhle se zvýší vodivost. Některé typy polymerů se používají jako polovodiče. Polymery, které dovedou vézt relativně větší vodivost, obsahují konjugovaný systém dvojitých vazeb.

2.5.4 Chemické vlastnosti [8], [16], [27]

Chemická odolnost polymerů je vlastnost odolávat proti určitým agresivním vlivům vnějšího prostředí, jako jsou třeba: teplota, vlhkost a obsah mikročástic povrchu. Většina polymerních materiálů je na rozdíl od kovových materiálů odolná proti působení různých chemikálií. Chemická stavba a struktura jsou základní parametry pro určení chemické odolnosti. Chemická činidla v tekuté nebo plynné formě difundují (přecházejí) do polymeru a mohou vyvolat bobtnání polymeru nebo s ním chemicky reagovat. Vliv chemikálií na polymery se většinou projeví přírůstkem nebo úbytkem hmotnosti, poklesem pevnosti, tažnosti a změnou barvy. Nejideálnějším polymerem je polytetrafluorethylén neboli teflon. Tento polymer odolává prakticky všem chemickým činidlům. Nacházejí-li se dvojně vazby v řetězci polymeru, významně se sníží jeho odolnost před vnějšími vlivy, a zejména vůči oxidaci.

2.5.5 Degradace a stárnutí [27]

Materiály z polymerů se proměňují a stárnou. Během času u plastů dochází k neúmyslné a nevratné změně jejich struktury, kterou nazýváme stárnutí.

Stárnutí můžeme také definovat jako určitý časový faktor, při kterém nemusí docházet ke zhoršování vlastností polymerů. Degradaci chápeme jako změnu struktury a vlastností polymerních látek, které zapříčiňují rozpad polymeru.

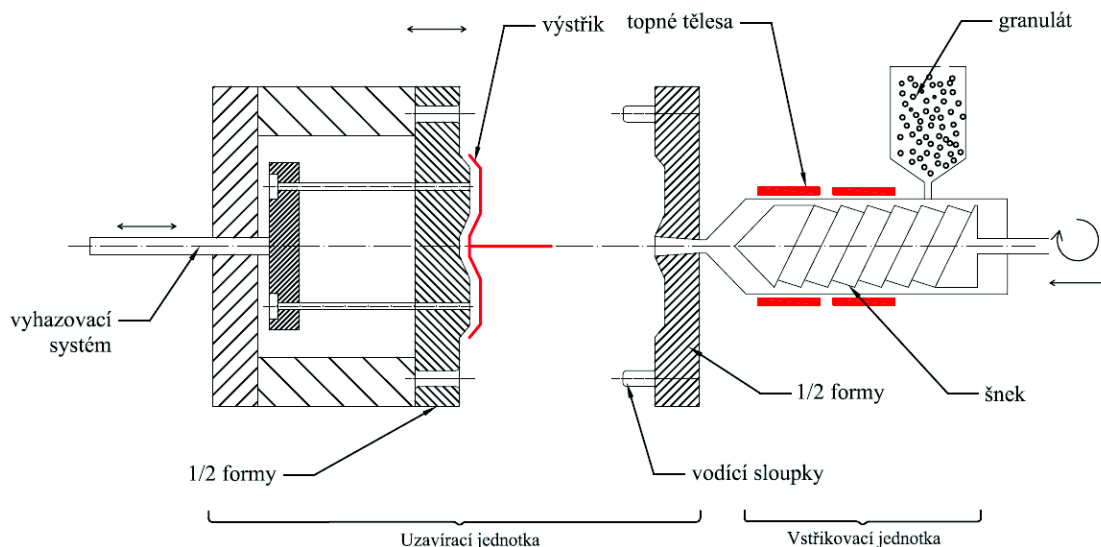
Fáze degradace lze rozdělit do dvou etap. První etapa degradace je velmi krátká, ale intenzivní. Probíhá ve zpracovatelském stroji. V tomto stroji je tavenina vystavena velmi vysoké teplotě a velkému smykovému namáhání. Příčinou této etapy degradace je odbourávání makromolekulárního řetězce spolu s uvolňováním plynných zplodin. Druhá etapa je vytvářena v pevném stavu. V průběhu plnění funkce, je tento výrobek nucen odolávat různým vnitřním a vnějším vlivům. Vnitřní vlivy: termodynamická nerovnováha. Vnější vlivy: teplota, sluneční záření a ozón. Tyto vnější a vnitřní vlivy působí na strukturu polymerů a tím mění jejich vlastnosti.

2.5.6 Jiné vlastnosti polymerů [8], [16]

Existují vlastnosti polymerů, které je zapotřebí řešit individuálně. Jsou jimi například odolnost proti korozi pod napětím, odolnost proti působení bakterií a hmyzu, odolnost proti hlodavcům, působení odpadních vod, nezávaznost ve styku s potravinami apod. Důležité jsou také sorpční vlastnosti (navlhavost materiálu).

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [30]

Výrobky vyrobené technologií vstřikování se vyznačují velmi dobrou rozměrovou a tvarovou přesností. Tato technologie se řadí mezi jednu z nejpoužívanějších na zpracování termoplastů. Vstřikování je způsob tváření plastů, který se skládá z několika fází. Materiál je pomocí vstřikovací jednotky stroje vstříknut vysokou rychlostí do tvarové dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Materiál ve formě granulát se taví přímo na vstřikovacím stroji. Vstřikovací stroj ovlivňuje temperační a vyhazovací systém formy.



Obr. 8 Schéma vstřikovacího procesu [30]

3.1 Základní pojmy [27]

Tavící komora – (vstřikovací komora) tlakový vytápěný válec, ve kterém se materiál výstříku plastifikuje, homogenizuje a připravuje pro vstřikování.

Plastikace – pracovní postup, při kterém se materiál uvede do plastického stavu.

Vstřikovací síla – síla šneku nebo pístu v tavící komoře stroje, kterou předá tavenině pro proces vstřikování.

Vstřikovací tlak – vstřikovací síla podělena plochou šneku nebo pístu.

Vstřikovací cyklus – sled technologických operací, které se opakují v přesném pořadí.

Výstřík – výrobek zhotoven vstřikováním.

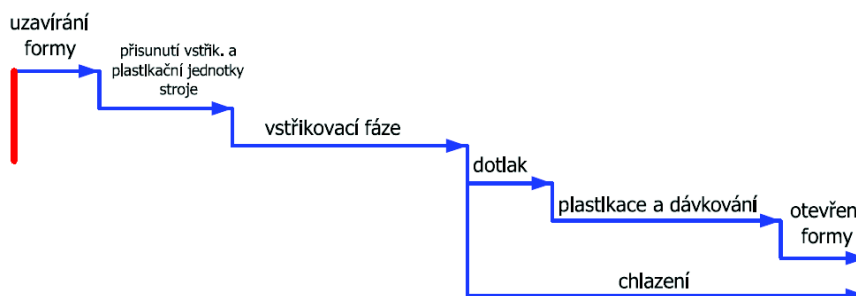
Prisouvací síla stroje – síla, která je potřebná k prisunutí pohyblivé části formy k pevné části formy. Z pravidla bývá menší než síla uzavírací.

Teplota vstřikování – je teplota taveniny, při počátku vstřikování na trysce komory.

Vstřikovací kapacita – je maximální objem taveniny, který píst nebo šnek vytlačí při jednom pracovním zdvihu z komory.

Plastikační kapacita – je množství taveniny, kterou lze na určitém stroji převést za jednu hodinu do plastického stavu.

3.2 Vstřikovací cykly [8], [6], [30], [27].



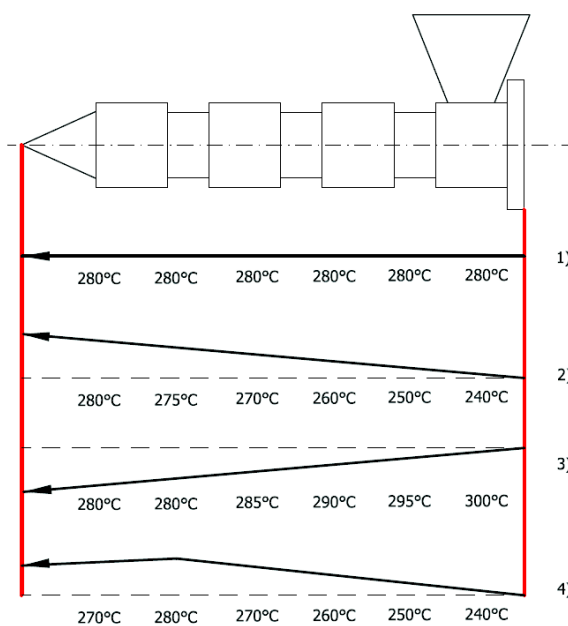
Obr. 9 Časový diagram vstřikovacího cyklu [8]

a) Dávkování a plastikace

Volená dávka taveniny má být využita pro naplnění formy a pro doplňování v průběhu chlazení výstřiku a jeho smršťování. Dávku navyšujeme zpravidla o 5-10%. Teplotní profily plastikačního válce jsou znázorněny v obr. 10.

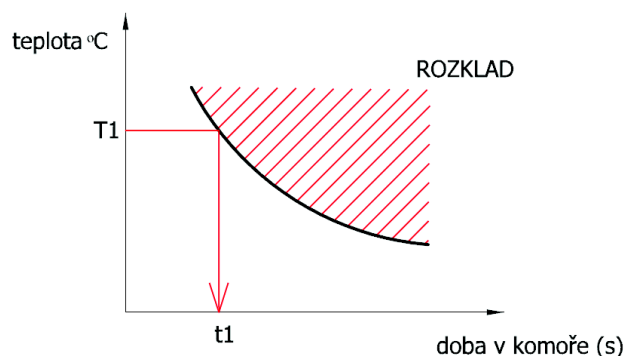
Pro rovnoměrné naplnění formy je zapotřebí, aby se v prostoru před šnekem nacházela teplotně a viskózně homogenní dávka taveniny. Není-li tomu tak, může dojít ke zhoršení kvality povrchu výstřiku. Čas plastikace musí mít své časové omezení. Existuje několik teplotních profilů, které se volí pro různé účely.

Obr. 11 ukazuje vztah mezi teplotou a dovolenou dobou setrvání v komoře.



Obr. 10 Teplotní profily plastikačního válce [6]

1. Horizontální profil – je vhodný pro vstřikování s rychlým cyklem nebo s velkou dávkou, profil zajišťuje dokonalé prohřátí materiálu.
2. Rostoucí profil – profil, který se používá pro většinu materiálů a běžné vstřikování, rovněž je vhodný pro materiály, které jsou citlivé na teplotní stabilitu.
3. Klesající profil – použití jen ve výjimečných případech.
4. Stoupající a klesající profil – při použití otevřené trysky, kde omezuje vytékání taveniny.



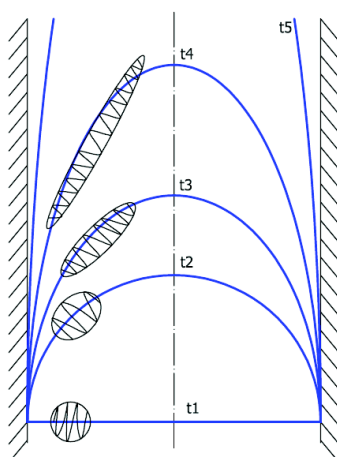
Obr. 11 Vztah mezi teplotou taveniny a přípustnou setrvačností taveniny v komoře [6]

b) Proces vstřikování

V tomto procesu se dutina formy plní nejdřív objemově (bez jakéhokoliv odporu). Ze samotného počátku vstřikování roste tlak plnění. Z tohoto důvodu se rovněž mění rychlost plnění. Z počátku je rychlost vysoká a v době, kdy se dosáhne tlaku 50-120 MPa je rychlost plnění nejmenší.

Pro proces plnění jsou rozhodujícími parametry vstřikovací tlak, teplota taveniny a vstřikovací rychlost. Doba vstřikování by měla být co nejmenší, protože tavenina se kontaktem s formou se ochlazuje a ztrácí tekutost. Z tohoto důvodu by mohl vzniknout nedostříknutý zmetek. Teplota formy má 3-4 krát nižší teplotu než teplota taveniny. Proto tavenina ve styku se stěnou formy rychle ztuhne, vzniknou vhodné podmínky pro vytvoření vrstvy nepohyblivé hmoty a také vrstvy tepelné izolace. Úkolem vstřikovací jednotky je udržovat tlak na takové hodnotě, aby vstřikovací rychlost neklesla pod požadovanou hodnotu a naopak nestoupala nad kritickou hodnotu. Vstřikovací rychlostí se rozumí, kolik taveniny proteče za určitou dobu rozváděcími kanálky. Profil rychlosti vstřikování musí být zvolen tak, aby tlaková dutina formy byla plněna rovnoměrně. Např. pro výstřiky malých tloušťek volíme vyšší rychlost plnění. V průběhu času se mění tvar makromolekul (obr. 12). Na tvar makromolekul má také vliv malý rozdíl teplot.

U vstřikování se setkáváme s termínem materiálový polštář. To je vrstva hmoty, která se nachází mezi čelem šneku a vnitřní plochou trysky. Tento polštář znemožňuje, aby čelo šneku nenarazilo na rám trysky.



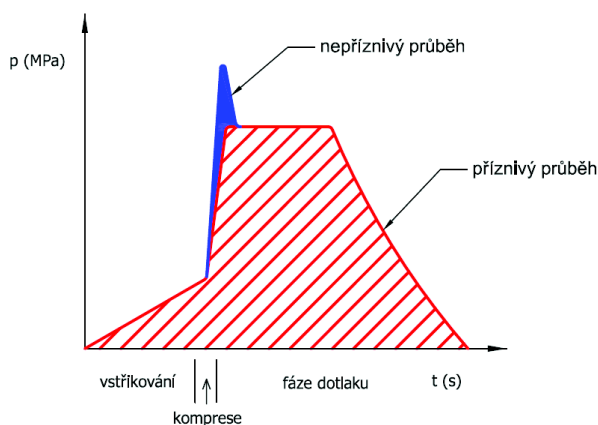
Obr. 12 Změna tvaru čela taveniny v průběhu plnění formy (t -čas)[6]

c) Dotlaková fáze

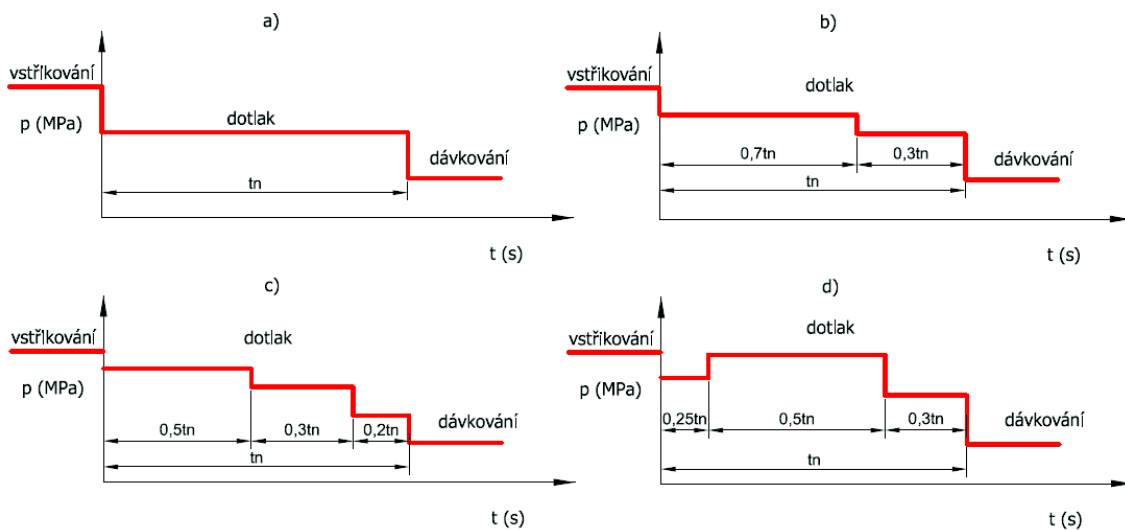
Následuje po procesu vstřikování. Po vyplnění tvarové dutiny formy náhle stoupne tlak a klesne rychlost. Pokud po tomto naplnění formy tlak zůstal na původní hodnotě, mohlo by dojít ke vzniku tzv. *tlakové špičky* (viz obr. 13).

Jakmile se naplní forma taveninou, dochází v okamžiku jejímu stlačování. Tlak náhle stoupne a rychlost klesne. Po tomto naplnění formy je nutné snížit vstřikovací tlak, aby nevznikla tlaková špička. Tato tlaková špička by měla za následek elastické stlačení, tj. přeplnění formy. Tento proces by měl negativní výsledky na formu, rozměry výstřiku a jeho hmotnost, která by narostla. Navíc může dojít také k tzv. dýchnutí formy. Tzn., že forma se pružně prohne a dojde tak k nepatrnému oddělení dělicích rovin. Z tohoto důvodu je nutné po naplnění dutiny formy přepnout vstřikovací tlak na dotlak (snížit tlak).

Tato fáze má vliv na hmotnost výstřiku, jeho rozměry a smrštění. V průběhu dotlaku se do formy dodá cca 5-10% objemu materiálu k vyrovnání objemového smrštění materiálu během fáze chlazení. Důležitá je velmi správná volba času, kdy má být dotlaková fáze spuštěna. Správnou volbu tohoto okamžiku zjistíme například podle tlaku v hydraulice, podle dráhy šneku nebo vstřikovacího času. Parametry této fáze je doba dotlaku, hodnota dotlaku, časový průběh dotlaku a rozptyl přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak. Důležité je zvolení správné doby pro přepnutí na dotlak. Přepneme-li na dotlak příliš brzo, může dojít k nedostřiku.



Obr. 13 Přepnutí na dotlak [6]

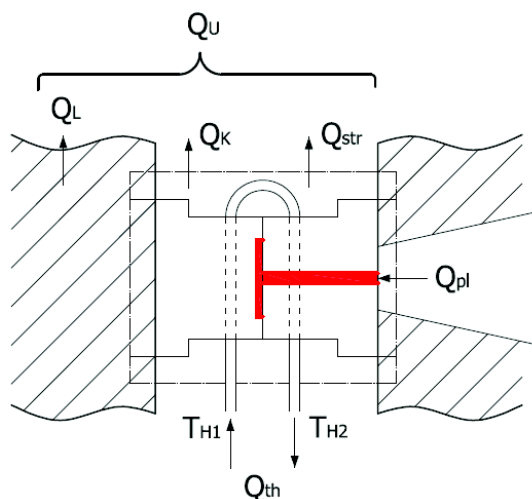


Obr. 14 Profily dotlaků [6]

- Profil a) vhodný pro semikrystalické polymery
- Profil b) vhodný pro semikrystalické a amorfní polymery
- Profil c) především pro amorfní plasty
- Profil d) vhodný pro silnostěnné výstřiky

d) Fáze ochlazování

Doba ochlazování tvoří více než 50% celé doby vstřikovacího cyklu. Proces ochlazování je započat v okamžiku objemovém vyplnění tvarové dutiny. Na procesu ochlazování závisí anizotropie materiálu. Na chlazení má za vliv rovněž: tvar výstřiku, tloušťka stěn, teplota taveniny, teplota formy, vstřikovací rychlost, průběh dotlaku, chlazení formy. Minimální doba chlazení je požadována dosažením minimální tuhosti, která je potřebná pro bezpečné vyhození dílce z formy.



- Q_{pl} – teplo přivedené taveninou
- Q_u – teplo odvedené přirozeným způsobem
- Q_{th} – teplo přivedené/odvedené temperačním systémem
- Q_L – teplo odvedené do upínacích desek
- Q_k – teplo odvedené prouděním do vzduchu
- Q_{str} – teplo odvedené sáláním do vzduchu

Obr. 15 Schéma tepelné bilance formy [6]

Vychází se z rovnice:

$$Q_{TH} = Q_U - Q_{PL} \quad [J] \quad (2.1)$$

Teperace formy má podstatný vliv na smrštění, přesnost geometrie tvaru a rozměru, jakost povrchu a mechanické vlastnosti výstřiku. Teplota formy při vstřikování bývá obvykle v rozmezí 30-120°C. Ochlazovací fáze určuje strukturu výstřiku, orientaci makromolekul, vnitřní pnutí a kvalitu povrchu.

e) Vyjmutí výstřiku z formy

Po cyklu vstřikování, dotlaku a chlazení se otevře forma a výstřik je nutno z formy vyjmout. Toto vyjmutí se provádí několika způsoby. Mechanicky, hydraulicky či pneumaticky. Pro vyjmutí výstřiku z formy se v praxi používají roboti. Tito roboti pomocí přísavek výstřik dopraví na pás, odkud je výstřik transportován k obsluze stroje, která posoudí, zda se jedná o zmetek či dobrý dílec.

3.3 Činitelé ovlivňující kvalitu výstřiku [8], [27], [30], [1]

Na mechanické a fyzikální vlastnosti výstřiku se podílejí 4 faktory:

- Druh plastu
- Technologické parametry
- Konstrukce formy
- Volba stroje

a) Druh plastu

- Rychlost plastikace polymeru – pokud možno co nejkratší
- Reologické vlastnosti
- Tepelná stabilita plastu
- Smrštění plastu

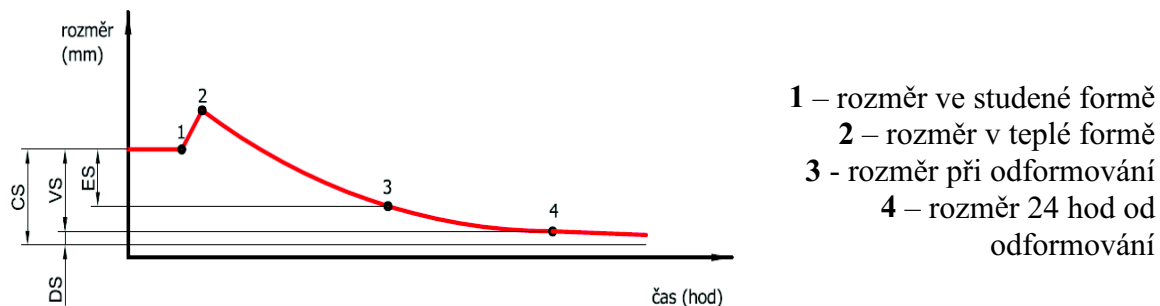
b) Technologické parametry

- Vstřikovací tlak – tento tlak určuje jaká bude rychlost plnění, uzavírací síla, vnitřní pnutí materiálu, smrštění a orientace makromolekul.
- Teplota taveniny – teplotu určuje druh plastu a ovlivňuje tekutost plastu, vstřikovací tlak, smrštění, dotlak atd., je žádoucí udržovat tuto teplotu na konstantní hodnotě.
- Teplota formy – z technologického hlediska má být teplota formy co nejvyšší (platí pro semikrystalické plasty), rovněž teplota závisí na druhu plastu a na způsobu použití výstřiku.
- Rychlost plnění dutiny formy – má být co největší, ovšem je nutné kontrolovat stav taveniny, aby nedošlo k degradaci. Tuto rychlost je žádoucí udržovat na konstantní hodnotě a ke konci cyklu je nutné rychlost plynule snížit kvůli již zmiňované tlakové špičce.
- Hodnota a doba dotlaku.

Konstrukce formy bude více rozebrána v kapitole 7. Pro zajištění dostačující uzavírací síly je rovněž důležitá volba stroje.

Smrštění

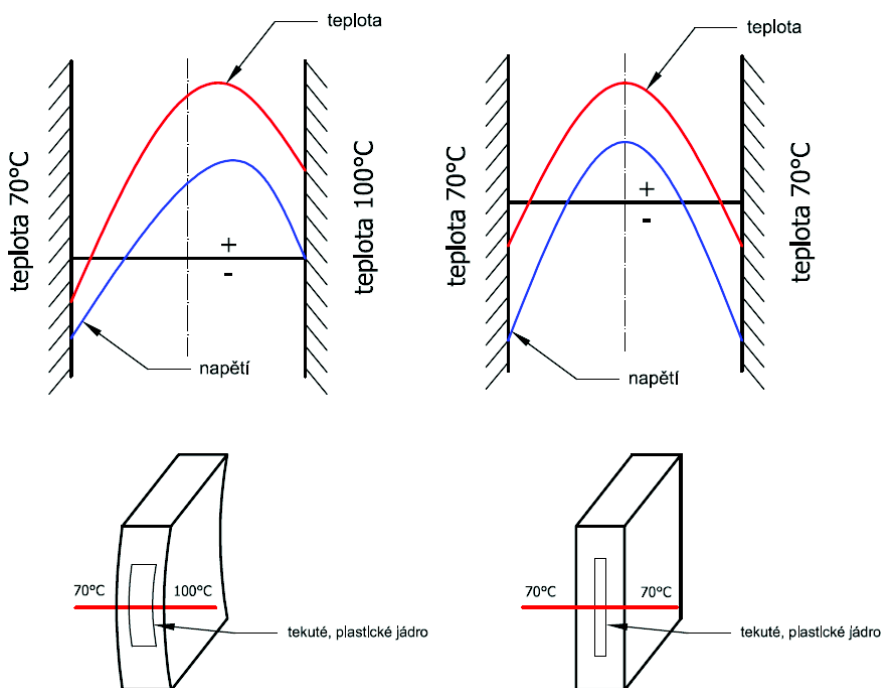
Smrštění je definováno jako změna objemu materiálu, který se nacházel ve stavu taveniny k objemu ztuhlého stavu. Obr. 16 ukazuje závislost smrštění na času. Čas pro měření smrštění je stanovený na 24 hod. po vyrobení. V Německu se smrštění stanovuje 16 hod. po vyrobení. Nejpozději však smrštění měříme do 168 hod.



Obr. 16 Závislost rozměrů na čase [8]

VS – výrobní smrštění, **CS** – celkové smrštění, **ES** – smrštění při odformování, **DS** – dodatečné smrštění

Rovněž můžeme smrštění definovat jako rozdíl v procentech mezi rozměry studeného nástroje a rozměry z něj vyrobeného dílu.



Obr. 17 Smrštění materiálu vlivem rozdílné teploty stěn [27]

Vlivem rozdílné teploty stěn se materiál deformuje na stranách rozdílně. Na straně větší teploty je napětí značně větší a dochází ke větším deformacím na této straně. Naopak jestliže jsou teploty stěn stejné, dochází k dokonalému tvaru výrobku.

Orientace makromolekul

Orientace se zjišťuje u termoplastů. U reaktoplastů se z důvodu zesíťování neobjeví. Pomocí vysokého tlaku se rychle ochlazující tavenina protlačuje a zkroucené makromolekuly se narovnají ve směru toku a v této nerovnovážné poloze ztuhnou. Na orientaci má vliv vysoký vstřikovací tlak a vysoká vstřikovací rychlost.

Důsledkem orientace je anizotropie výstřiku. Ve výstřiku vzroste pevnost a modul pružnosti ve směru orientace, změní se hodnoty výrobního a dodatečného smrštění, klesá odolnost proti korozi, klesá součinitel teplotní roztažnosti ve směru orientace a vzroste rovněž součinitel tepelné vodivosti.

3.4 Formy pro vstřikování [8], [9]

Forma je výměnnou částí uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. Funkcí této formy je dát výsledný tvar výrobku a zachovat jej až do ztuhnutí. Vstřikovací forma je velmi komplikované zařízení, které musí umožnit vyrábět dílce dobré rozměrové přesnosti a umožnit vyjmutí těchto dílců z formy.

Požadavky formy pro vstřikování:

- Odolnost proti vysokým tlakům
- Zajištění požadovaných rozměrů a kvalitu výstřiku
- Nízká cena a snadná výroba formy
- Snadné vyjmutí výstřiku z formy
- Jednoduchá obsluha a automatický provoz

Rozdělení forem:

- Jednonásobné, vícenásobné
- Dle konstrukčního řešení na: dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčecí
- Dle vstřikování do dělicí roviny a kolmo na dělicí rovinu

Funkční systémy forem

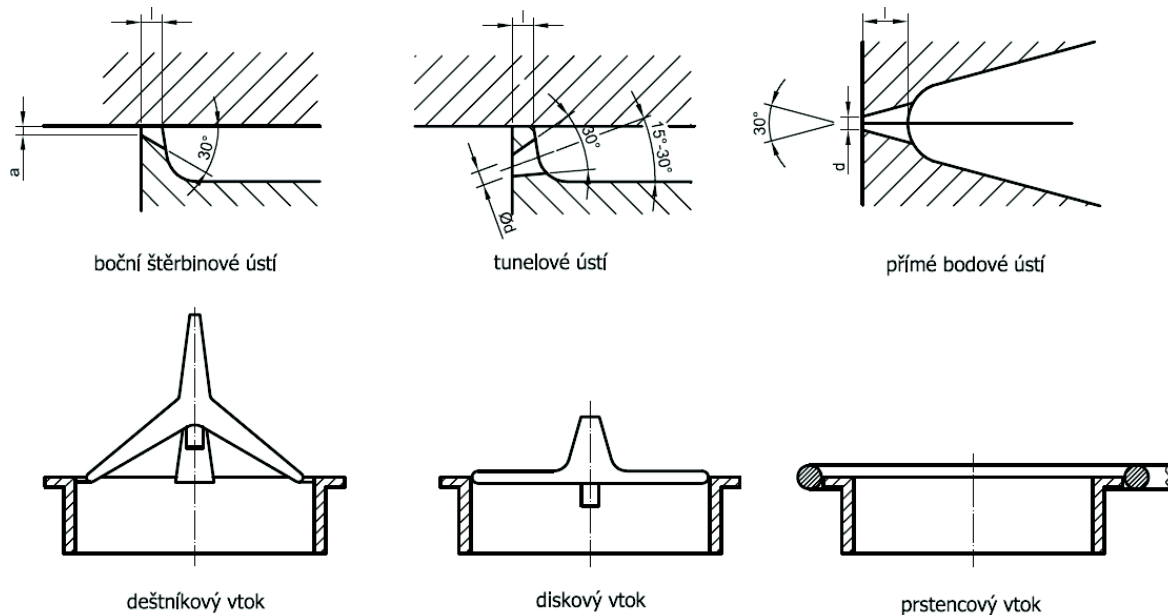
- a) Hlavní funkce – vtokový systém, temperační systém, tvarová dutina, vyhazovací systém
- b) Pomocné funkce - vodící a středící prvky, prvky pro převedení pohybu, upevňovací elementy

3.4.1 Vtokový systém [8], [6], [31]

Vtokovou soustavu definujeme jako jeden nebo více kanálů spojujících otvor v trysce plastikačního válce vstřikovacího stroje s tvarovou dutinou formy. Vtokovou soustavu navrhuje konstruktér tak, aby zajistila rovnoměrné plnění tvarové dutiny. Soustava by neměla být kvůli spotřebě materiálů příliš dlouhá. O každý milimetr delší vtoková soustava prodraží velkosériovou výrobu o tisíce. U vícenásobných forem se vtoková soustava skládá z vtokového kanálu, rozváděcích kanálků a ústí vtoku. Před samotným návrhem vtokové soustavy je třeba zvážit, zda bude konstruována jako studený nebo horký systém.

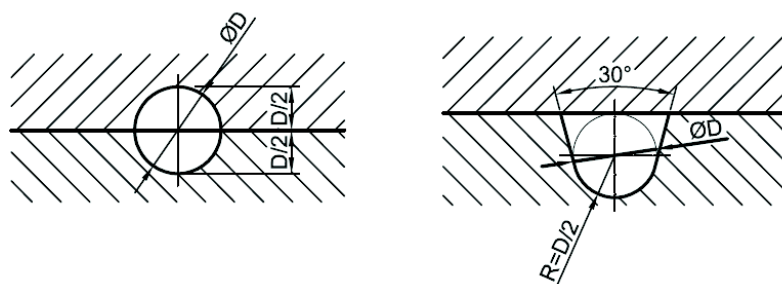
Při konstrukci je rovněž důležitá volba umístění ústí vtoku. Toto umístění určuje anizotropii materiálu, vytvoření studených spojů, správnou orientaci makromolekul apod. Ústí vtoku se vždy umísťuje do nejtlustšího místa. Po vyjmutí výstřiku z formy je nutné

oddělit ztuhlou vtokovou soustavu od výstřiku. Z tohoto důvodu je požadováno umístění vtoku na ty místa, které nejsou pohledová. V praxi obsluha používá skalpel, který takové místo upraví od odtržené vtokové soustavy. Dalším požadavkem na ústí vtoku je, že musí ztuhnout až po naplnění celé dutiny formy.



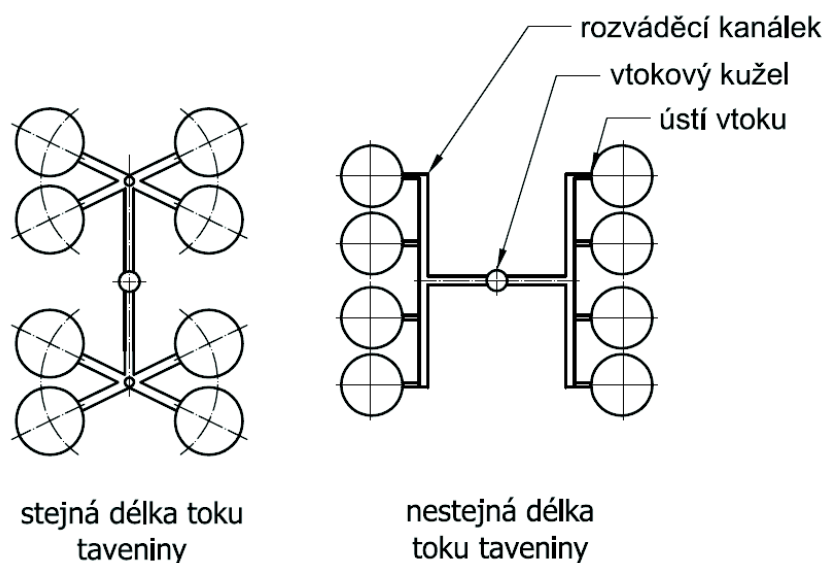
Obr. 18 Volba ústí vtoku [31]

Nejdelší částí vtokového systému jsou rozváděcí kanálky. Z tohoto důvodu kanálky z velké části ovlivňují tlakové a tepelné ztráty. Obr. 19 zobrazuje tvar rozváděcích kanálků. Kruhový průřez je z hlediska ztrát nejideálnější. Ovšem je nutné tento tvar rozdělit na dvě poloviny a tedy obě poloviny formy musí splňovat přesný půlkruhovitý tvar. Toto je z hlediska ekonomiky obrábění nelehký úkol.



Obr. 19 Vhodné průřezy rozváděcích kanálků [31]

U rozváděcích kanálků, které nemají stejnou délku toku taveniny k výstřikům, je nutná úprava ústí v toku. Obr. 20 ukazuje vtokový systém se stejnou a nesejnou délkou toku taveniny.



Obr. 20 Vtokový systém [31]

3.4.2 Vyhazovací systém [27], [6]

Úkolem vyhazovacího systému je vysunout nebo vytlačit zhotovený výstřík z jedné poloviny formy. Vyhazovací systém má dvě fáze. Dopředný pohyb – vyhazování, zpětný pohyb – návrat do původní polohy.

Pro snadné vyjmutí výstříku z formy je nutné použít úkosy. Tyto úkosy jsou pod úhlem menším jak $0,5^\circ$ - 1° ve směru vyhazování. U samotného vyjmutí výstříku nesmí dojít ke zpříčení výstříku a následně ke vzniku trvalých deformací.

Způsoby vyhazování výstříku:

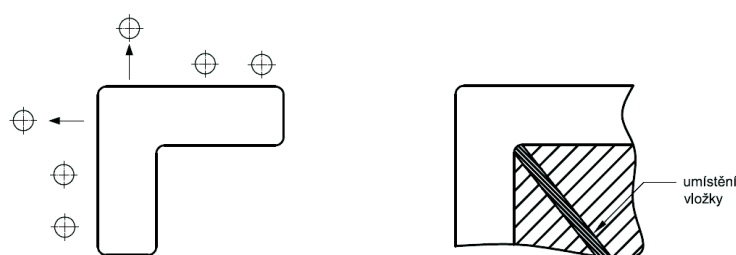
- a) mechanické vyhazovače
 - vyhazovací kolíky – nejčastější způsob vyhazování, avšak na výstříku vznikají stopy po těchto vyhazovačích
 - stírací deska – volí se pro výstříky s hlubokým tvarem, na výstříku nevznikají žádné stopy
 - stírací kroužek
 - trubkový vyhazovač
- b) vzduchové vyhazovače - použití pro rotační výstříky s tenkou stěnou, kombinují se s mechanickým vyhazovačem
- c) pomocí manipulátorů

Při návrhů vyhazovačů se používá různé úpravy. Tyto úpravy např. slouží k oddělení vtokového zbytku od samotného výstříku a následnému oddělení.

3.4.3 Temperační systém [8], [3]

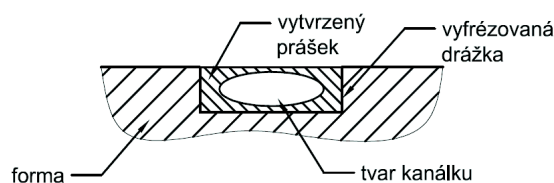
Temperovací systém forem je nezbytný pro kvalitu samotného výstřiku. Systém slouží k udržení konstantního teplotního režimu. Při vstřikování je do formy přivedeno určité množství tepla. Toto teplo je po vystříknutí taveniny do dutiny formy dále odvedeno z částí chladicího média a z částí přirozeným způsobem. Temperovací systém ovlivňuje smrštění, konečné rozměry výstřiku, mechanické vlastnosti a jakost povrchu. Jako médium temperovacího kanálu většinou volíme vodu (vodný olej).

Při návrhu temperovacího systému je důležité brát ohledy na rohy forem. V těchto rozích je odvod tepla nerovnoměrný a je proto nutné upravit chladicí systém forem. Existují různé varianty jak tento problém vyřešit. První variantou je zvětšení vzdáleností kanálků od dutiny formy. Druhou variantou je umístění vložek do formy, které mají lepší tepelnou vodivost. Tyto vložky bývají například z beryliového bronzu.



Obr. 21 Konstrukční řešení temperace rohů [8]

Teplotní rozdíly ve formě mají velký vliv na deformaci samotného výstřiku. Ne vždy se podaří vytvořit takový temperovací kanál, aby vznikaly na výstřiku co nejmenší deformace. S nově vyvíjecími se technologiemi oblasti Rapid Prototyping, vznikla nová metoda, která umožňuje složité temperovací kanálky vyrobit. Jedná se o metodu SLS – (Slinování laserem - obr. 22). Při použití této technologie je pak nutné zvolit třídeskový systém formy.



Obr. 22 Schéma výroby SLS [8]

Temperovací kanálky vyrobené touto technologií dokonale kopírují tvar dutiny a je tak dosaženo co největšího odvodu tepla. Velkou výhodou je, že čas cyklu se zkrátí až o 50%. Mezi další výhody rovněž patří snížení deformace výstřiku.

Řada firem po návrhu simuluje chladnutí výstřiku. Tato simulace probíhá ve specializovaném softwaru. Pořízení tohoto softwaru se pohybuje v nemalých částkách.

3.4.4 Odvzdušnění forem [6], [9], [19]

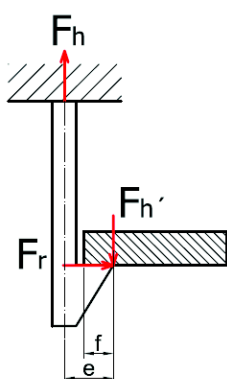
Odvzdušnění forem je velmi důležité. Při vstřikování tavenina tlačí před sebou množství vzduchu, které je nutno z dutiny formy vyloučit. Zabráníme-li úniku tohoto vzduchu z formy, vzniknou spálené plošky v dutině formy. V horším případě vzniknou na výstřiku zjevné vady, například bubliny. Odvzdušňovací otvory by měly být pravidelně kontrolovány. Existují i jiné způsoby odvzdušnění forem. Například přes vůli u vyhazovacích kolíků nebo použití porézních vložek.

4 PROBLEMATIKA OHYBOVÝCH ELEMENTŮ

[23], [33], [25], [22], [17]

Ohybové elementy jsou vystaveny namáháním ohybem a krutem. Proto je kladen na tyto elementy požadavek dobré houževnatosti. Mezi další požadavky těchto elementů je vysoká tažnost a malá tloušťka stěny.

Mezi nejpoužívanější ohybové elementy patří použití ohybného háku – karabina (viz obr. 23), dále pak použití plastových pružin a filmových kloubů (viz obr. 25). Ohybové elementy mohou nabývat různých tvarů dle možností konstruktéra.

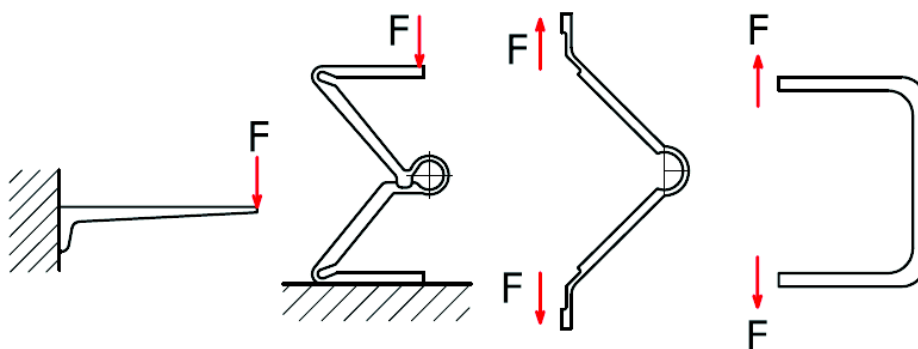


Vlivem deformace se mění i geometrické poměry na elementu. Tyto změny musíme brát v úvahu při výpočtu maximální přitlačné síly.

Obr. 23 Silové poměry na ohebné západce [25]

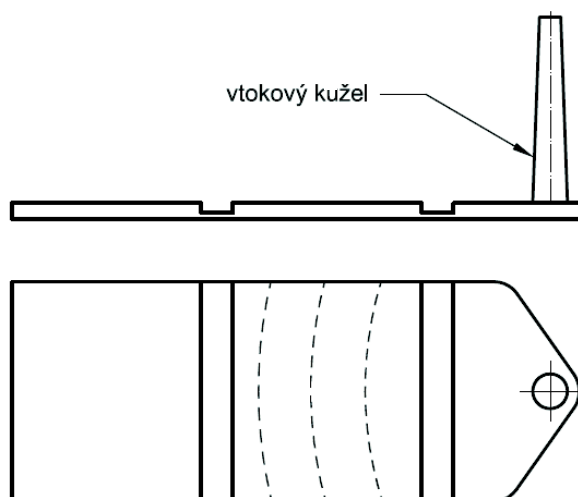
Pružné elementy jsou z velké části namáhané ohybem, namáhání krutem se objevuje u těchto elementů jen zřídka. Důležitá je volba geometrie elementu. Při správně zvolené geometrii bude ohybem namáhána pouze malá část elementu.

Při návrhu ohybového elementu je nutné rovněž zvolit správný materiál, který umožňuje tyto ohyby uskutečňovat. Vhodným materiálem je například POM – polyoxymethylen.



Obr. 24 Konstrukce plastových pružin [22]

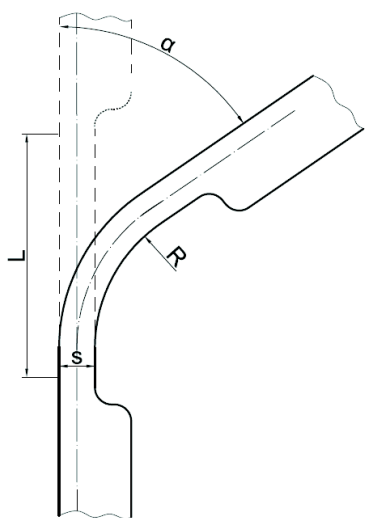
Velmi časté použití ohybového elementu je filmový ohebný kloub. Pro tento typ elementu je možno zvolit materiál POM a PP. Jeho využití je například v různých plastových pouzdech či ostatních mechanismech. Ve formě v místě nejužší části musí tavenina vyplnit celou šířku rovnoměrně a rychle bez prodlení, aby se molekuly nedostaly do nežádoucí polohy, která není vůči ohybu vhodná.



--- naznačení průtoku

Obr. č. 25 Filmový kloub [17]

Při návrhu ohybného kloubu je třeba dodržet parametry, které jsou důležité pro správnou funkčnost elementu.



$$\varepsilon = \frac{s}{2 \cdot R} (-) \quad (4.1)$$

$$R = \frac{L}{\Delta\alpha} (mm) \quad (4.2)$$

po dosazení

$$\varepsilon = \frac{s \cdot \Delta\alpha}{L \cdot 2} (-) \quad (4.3)$$

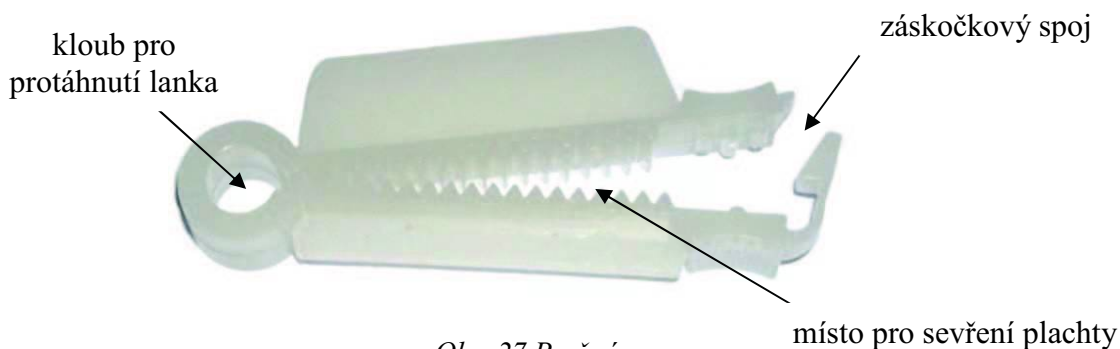
$$L = \frac{2 \cdot L \cdot \varepsilon}{\Delta\alpha} (mm) \quad (4.4)$$

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot \varepsilon}{\Delta\alpha} (mm) \quad (4.5)$$

Obr. 26 Omezení ohybu [17]

5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Před samotnou volbou technologie výroby je důležité znát potřebné informace o zadané součástce. Pružná plastová spona slouží k sevření plachty ve svařovacím sektoru. Mezi ozubené drážky se vloží plachta a sevření se zajistí háčkovým spojem. Skrz ohebný kloub se provleče lanka, které drží plachtu v prostoru. Namáhání ohybového kloubu nebude tedy intenzivní. Háčkový spoj bude rovněž namáhán minimálně.



Obr. 27 Pružná spona

5.1 Možné varianty výroby

Vstřikování termoplastů

Postup vstřikování termoplastů je popsán v 2. kapitole.

Vstřikování plastů se záliskem z pérové oceli

Tato varianta technologie je vhodná pro součást s vysokocyklovým namáháním. Pérová ocel by byla umístěna ve výstřiku v části pod ozubením a v oblasti ohybového kloubu.

Nevýhodou této výrobní technologie je prodloužení celého vstřikovacího cyklu z důvodu vkládání této oceli do dutiny formy a náklady na pořízení této oceli.

Volba technologie

Pro zadanou součást volím výrobní technologii vstřikování termoplastů. Hlavním důvodem této volby je zkrácení výrobního cyklu, tedy ekonomika provozu. Technologie vstřikování se záliskem není potřeba z důvodu nízkocyklového namáhání. Pro správnou funkčnost plastové spony je vhodný termoplastický materiál POM. Pro proces vstřikování je rovněž vhodný tento materiál, a to nejen z důvodu recyklace vtokových zbytků pro další využití.

5.2 Volba materiálu [12], [20], [26]



Obr. 28 Volba materiálu [13]

V praxi se volba materiálu volí po různých mechanických a funkčních zkouškách na prototypch, které jsou zhotoveny například metodou Rapid Prototyping. Materiál tohoto prototypu bývá totožný s originálním výrobkem nebo se mechanické vlastnosti tomuto originálu přibližují. Volbu materiálu může rovněž rozhodnout simulace vstřikování. Pro správnou funkčnost plastové spony volím materiál POM-C (polyoxymethylen kopolymer). Obchodní označení

materiálu od společnosti LPM s.r.o. Jičín je „POM-C 1202“. Cena tohoto materiálu je 66,3 Kč/kg. Tabulka 2 uvádí základní parametry tohoto materiálu. Tento materiál má dobrou rozměrovou stabilitu. Toto je vhodné pro zadaný výstřik, aby se po zchladnutí rozměry příliš nezměnily. Nevýhodou tohoto materiálu je citlivost na oxidaci. Materiál se dodává ve formě granulí a výrobce doporučuje ke zpracování tohoto materiálu použít technologii vstřikování, vytlačování a vyfukování.

Alternativní volbou by bylo použití materiálu PP. Tento materiál není určen na ohybové elementy, ale menší pružení snese a výhodný je v ceně.

Tab. 2 Parametry materiálu POM [12]

parametr	hodnota	jednotka
ρ - hustota	1,4	g/cm ³
Δl - prodloužení	27	%
E - modul v tahu	2700	MPa
smrštění	2	%
p_v - vstřikovací tlak	100	MPa
T_m - teplota taveniny	210	°C
T_w - teplota formy	100	°C
T_e - střední vyhazovací teplota	130	°C
a_{eff} - měrná teplotní vodivost	0,057	mm ² /s
p_d - dotlak	80	MPa

Je-li granulát materiálu POM delší dobu skladován, je nutné jeho sušení. K sušení granulátu můžeme použít horkovzdušné sušičky, vakuové sušičky nebo vysoušedlové sušičky. Chceme-li pak sušit granulát efektivněji, tak použijeme sušičky tlakovzdušné s označením Farragtech CARD. U těchto sušiček je jedinou podmínkou, o kterou je nutno se postarat, dodávka standardně upraveného stlačeného vzduchu, která však pro většinu společností není žádný problém. Výhodou těchto sušiček je, že nehrozí přesoušení citlivých materiálu jako např. PA a u těchto typu sušiček nedochází k dochlazování při kolísání odběru materiálu.

6 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY [8]

Objem výstřiku

Z programu Inventor 2011 od společnosti Autodesk byl vypočten objem výstřiku.

$$\underline{V=4414,7 \text{ mm}^3}$$

Výpočet hmotnosti

$$G = V \cdot \rho$$

$$= 4414,7 \cdot 10^{-9} \cdot 1400 \quad (6.1)$$

$$= 6,17 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = \underline{6,18 \text{ g}}$$

Pozn.: ρ - hustota materiálu POM [kg/cm^3].

Výpočet průměru rozváděcího kanálku

$$D_K = D^I \cdot K_1 \cdot K_2$$

$$= 3,56 \cdot 1,13 \cdot 1,04 \quad (6.2)$$

$$= 4,18 \text{ volím } \underline{D_K = 5 \text{ mm}}$$

Pozn.: D^I - průměr pro konkrétní parametry výstřiku [mm], K_1 - koeficient tekutosti materiálu, K_2 - koeficient délky rozváděcího kanálku.

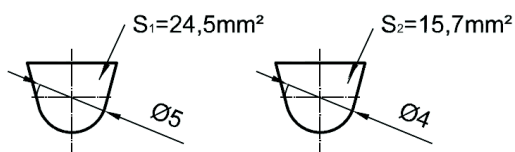
Výpočet objemu rozváděcích kanálků

$$V_K = S_1 \cdot L_1 + S_2 \cdot L_2$$

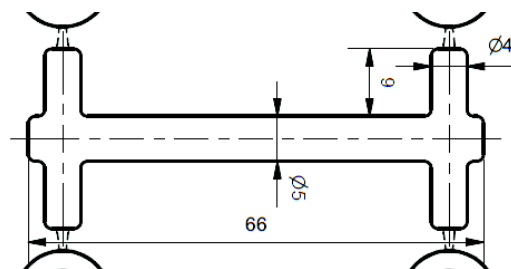
$$= 24,5 \cdot 66 + 15,7 \cdot 18 \cdot 2 \quad (6.3)$$

$$= \underline{2182,2 \text{ mm}^3}$$

Pozn.: S_1, S_2 - plocha rozváděcích kanálků [mm^2] viz obr.29, délka L získána z programu Inventor ($L=118=66+36\text{mm}$) (viz obr. 30).



Obr. 29 Plochy rozváděcích kanálků



Obr. 30 Délky rozváděcích kanálků

Stanovení praktické násobnosti formy z grafu

Pro zadaný počet 350 000 ks/ročně určuju 4 násobnou formu, $\underline{n_p=4}$ (viz příloha č.1)

Výpočet vstřikovacího objemu dávky

$$\begin{aligned}
 V_D &= n_p \cdot V + V_K + 300 \\
 &= 4 \cdot 4414,7 + 2182,2 + 300 \\
 &= \underline{\underline{20141 \text{ mm}^3}}
 \end{aligned}
 \tag{6.4}$$

Stanovení doby vstřikování v závislosti na vstřikovaném objemu a viskozitě plastu
 Po simulaci vstřikování plastů byl čas plnění upřesněn na $t_v=2,68$. Volím $t_v=2,7$ s.

Výpočet doby chlazení

$$\begin{aligned}
 t_k &= \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \\
 &= \frac{1,6^2}{\pi^2 \cdot 0,057} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{210 - 100}{130 - 100} \right) \\
 &= \underline{\underline{4,96 \text{ s}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.5}$$

*Pozn.: s – tloušťka výstřiku [mm], a_{eff} – měrná teplotní vodivost [mm^2/s],
 T_M – teplota taveniny [$^{\circ}\text{C}$], T_W – teplota formy [$^{\circ}\text{C}$], T_E – střední vyhazovací
 teplota [$^{\circ}\text{C}$].*

Výpočet doby vstřikovacího cyklu

$$\begin{aligned}
 t_C &= t_v + t_k + 3 \\
 &= 2,7 + 4,96 + 3 \\
 &= \underline{\underline{10,66 \text{ s}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.6}$$

*Pozn.: časový interval 3 s zahrnuje otevírání, uzavírání formy, přisunutí
 plastikační jednotky a prodlevu*

Výpočet termínované násobnosti formy

$$\begin{aligned}
 n_T &= \frac{O \cdot t_C}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} \\
 &= \frac{350000 \cdot 10,66}{350 \cdot 0,8 \cdot 3600} \\
 &= 3,7 \rightarrow \underline{\underline{4 \text{ násobná forma}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.7}$$

*Pozn.: O – počet kusů [ks], τ_p – požadovaný termín dodání [hod], K – faktor
 využití času [-]*

Výpočet minimální vstřikovací kapacity

$$\begin{aligned}
 C_v &\geq 1,1 \cdot (n_T \cdot V + V_K) \\
 &\geq 1,1 \cdot (4 \cdot 4414,7 + 2182,2) \\
 &= \underline{\underline{21825,1 \text{ mm}^3}}
 \end{aligned}
 \tag{6.8}$$

Výpočet minimální plastikací kapacity

$$C_p \geq \frac{4 \cdot \rho \cdot (n_T \cdot V + V_K)}{t_C}$$

$$= \frac{4 \cdot 1,4 \cdot (4 \cdot 4,4147 + 2,1822)}{10,66} \quad (6.9)$$

$$= \underline{\underline{10,42 \text{ kg / hod}}}$$

Pozn.: ρ - hustota materiálu POM [g/cm^3], V - objem součásti [cm^3],
 V_K - objem rozváděcích kanálků [cm^3]

Výpočet minimální přidržovací síly

$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n_T \cdot p_V \cdot (S_S + D_K \cdot L)$$

$$\geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 70 \cdot (1050 + 4 \cdot 9 + 5 \cdot 66 \cdot 1/4) \quad (6.10)$$

$$= \underline{\underline{359,9 \text{ kN}}}$$

Minimální přidržovací síla lisu musí být je 359,9 kN (35,9t).

Pozn.: p_V - vstřikovací tlak určený pro daný materiál 55-105 MPa, volím 70 MPa, S_S - plocha součásti v dělicí rovině [mm^2]

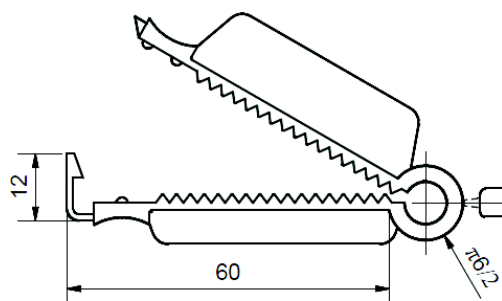
Stanovení maximální výpočtové délky dráhy toku taveniny

$$L_t = m \cdot s^n$$

$$= 80 \cdot 1,6^{1,81} \quad (6.11)$$

$$= \underline{\underline{187,3 \text{ mm}}}$$

Pozn.: m - koeficient rovnice dráhy toku taveniny plastu [-], n - exponent rovnice dráhy toku taveniny [-]

Skutečná délka toku taveniny

$f_C = 82 \text{ mm}$, podmínka $L_t > f_C$ je splněna.

Obr. 31 Naznačení délky toku taveniny

Výpočet tvářecího tlaku

$$\begin{aligned}
 p_A &= p_V \cdot 0,6 \\
 &= 70 \cdot 0,6 \\
 &= \underline{\underline{42 \text{ MPa}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.12}$$

Pozn.: tvářecí tlak volím 60% tlaku vstřikovacího

Určení optimálního průměru šneku

$$\begin{aligned}
 D_{S \min} &= 7,5 \cdot \sqrt{V_D} & D_{S \max} &= 10,5 \cdot \sqrt{V_D} \\
 &= 7,5 \cdot \sqrt{20,141} & &= 10,5 \cdot \sqrt{20,141} \\
 &= \underline{\underline{33,68 \text{ mm}}} & &= \underline{\underline{47,15 \text{ mm}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.13}$$

=> Volím $D_S = 35 \text{ mm}$

Pozn.: V_D – vstřikovací objem [cm^3]

Stanovení délky dráhy pohybu šneku

$$\begin{aligned}
 L_S &= 1273 \cdot \frac{V_D}{D_S^2} \\
 &= 1273 \cdot \frac{20,141}{35^2} \\
 &= \underline{\underline{25,46 \text{ mm}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.14}$$

Pozn.: V_D – vstřikovací objem [cm^3]

Určení otáček šneku

$$\begin{aligned}
 n_S &= \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_S} \\
 &= \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,25}{\pi \cdot 35} \\
 &= \underline{\underline{136,49 \text{ ot} / \text{min}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.15}$$

Pozn.: v – maximální obvodová rychlost šneku [m/s]

Výpočet vstřikovací rychlosti

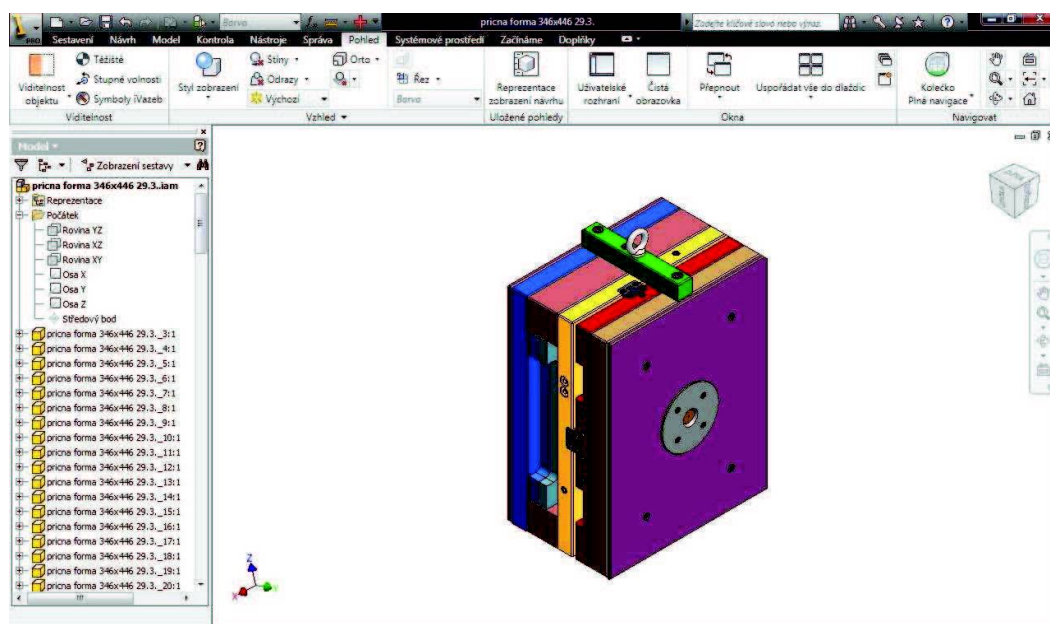
$$\begin{aligned}
 v_S &= \frac{V_D}{t_V} \\
 &= \frac{20,141}{2,7} \\
 &= \underline{\underline{7,45 \text{ cm}^3 / \text{s}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.16}$$

7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ FORMY [2]

Při konstruování formy se musí dodržet správný postup, který je nezbytný pro správný návrh formy:

- kontrola součástí z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek
- určení dělicí roviny a způsob zaformování
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě
- určení temperovacího, vyhazovacího systému a odvzdušnění formy
- správný návrh formy s ohledem na uložení do lisu
- správné umístění středících a upínacích částí formy
- kontrola technologických parametrů

Konstrukce formy byla řešena v programu Inventor od společnosti Autodesk. Program obsahuje modul pro vytváření vstřikovacích forem. Bohužel není zrovna nejdokonalejší, a pokud chci na formě volit součásti od jiných společností než od společnosti v knihovně, musím přepnout do základního modulu. Z tohoto důvodu tento modul nebyl na konstrukci použit.

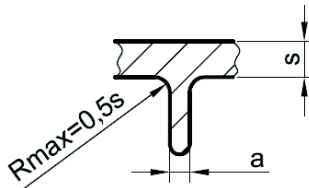


Obr. 32 Prostředí programu Inventor 2011

Před samotnou konstrukcí formy je důležitá úprava modelu dle konstrukčních zásad. Tj. např. tloušťka žebér, správná volba velikosti úkosů, správná geometrie funkčních částí modelu, úpravy modelu pro realizovatelnou výrobu dutiny formy, umístění dělicí roviny apod.

7.1 Úprava 3D modelu [9], [23], [2], [10]

- a) Žebra - použití žeber se volí pro zvýšení pevnosti a tuhosti výstřiku. Jejich tloušťka musí být v určitém poměru k hlavní tloušťce výstřiku a to abychom mohli eliminovat objemovou kontrakci při chladnutí výstřiku. Výchozí tloušťka zadané součásti je 1,6 mm. Tato tloušťka není konstantní a volím ji na základě interpolace dalších tloušťek součásti. Objemové kontrakce, tj. vtaženiny, jsou situovány na lesklých povrchových plochách. Vtaženiny je možno minimalizovat použitím dezénů. Tyto dezény aplikujeme elektroerozivně nebo fotochemicky. Dle níže uvedeného vztahu volím tloušťku žebra 1 mm.

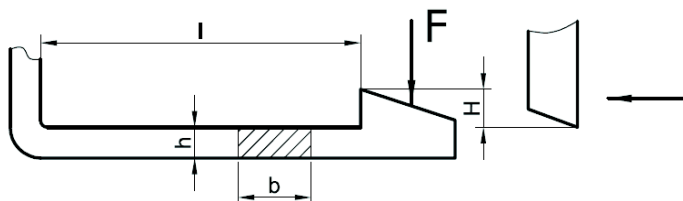


Obr. 33 Tloušťka žeber

$$\begin{aligned}
 s & \text{ - tloušťka stěny (mm)} & a & = (0,7 - 1) \cdot s = & (7.1) \\
 a & \text{ - tloušťka žebra (mm)} & & = (0,7 - 1) \cdot 1,6 \\
 & & & = 1,12 - 1,6 \text{ mm} \\
 & & & \text{volím } a = 1,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow R \text{ volím } 0,4 \text{ mm}$$

- b) Záskočkový spoj - k zajištění sevřené plachty na zadané součástce je použito záskočkového spoje (viz obr. 34). Tento spoj nelze řešit bez určitých zásad, bez kterých by mohlo dojít k nefunkčnosti tohoto spoje či lomu.



Obr. 34 Záskočkový spoj

H - průhyb (mm)
 l - délka ramene (mm)
 h - tloušťka ramene (mm)
 F - ohybová síla (N)

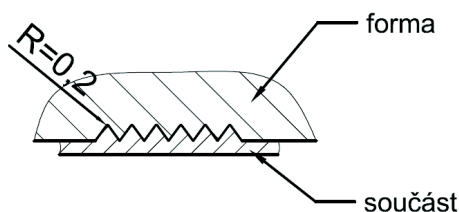
$$\begin{aligned}
 H & = C \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{h} = \\
 \text{Dovolený průhyb:} & \quad 0,67 \cdot \frac{0,06 \cdot 6,5^2}{1,2} \\
 & = 1,42 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } \underline{\underline{1,75 \text{ mm}}} & (7.2)
 \end{aligned}$$

Konstanta $C=0,67$ platí pro $b, h = \text{konstantní hodnotě}$, pro materiál POM je dovolené prodloužení $\varepsilon = 6\%$, $h = 1,2 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned}
 F & = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon}{l} \\
 \text{Ohybová síla:} & \quad = \frac{4 \cdot 1,2^2}{6} \cdot \frac{2700 \cdot 0,06}{6,5} & (7.3) \\
 & = \underline{\underline{23,93 \text{ N}}}
 \end{aligned}$$

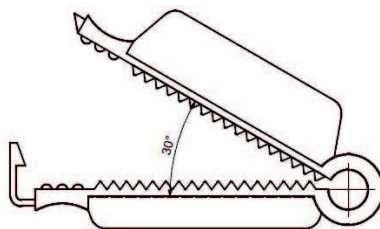
Pozn.: Modul pružnosti $E_s = 2700 \text{ MPa}$, $b = 4 \text{ mm}$.

- c) Poloměry ozubení - pro řešení ozubené upínací části výstřiku volím frézu pro obrobení průměru 0,2 mm. Toto zaoblení je na vnějších hranách ozubení (viz obr. 35).



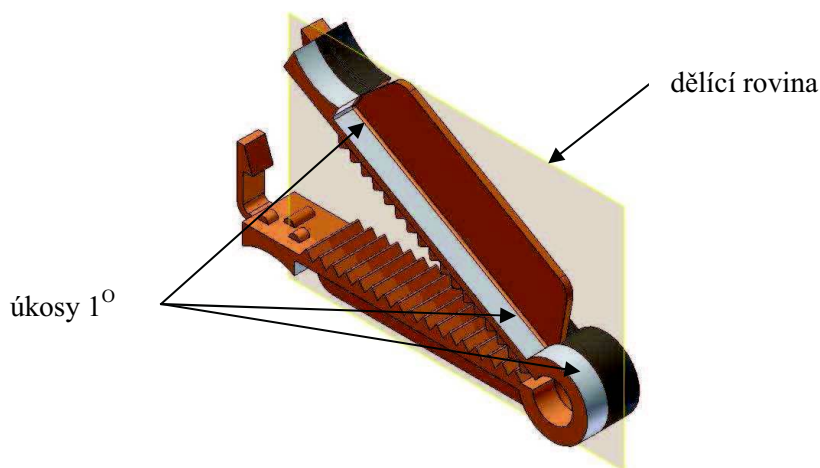
Obr. 35 Poloměr zaoblení zubů

- d) Úhel sevření ve formě – po konzultaci s vedoucím práce volím úhel sevření ve formě 30° (viz obr. 36). Tento úhel je vhodný z hlediska modulu pružnosti materiálu. Při sevření dochází k většímu zpevnění zaháčkového spoje.



Obr. 36 Úhel sevření při zaformování

- e) Dělicí rovina a úkosy na výstřiku – minimální velikost úkosů je $0,5^\circ$. Doporučená velikost úkosů je však $1-2^\circ$. Velikost úkosů na modelu volím 1° . Úkosy na modelu volíme na všech plochách, které jsou rovnoběžné ve směru vyhazování výstřiku. Naznačení některých ploch je na obr. 37. Volba dělicí roviny je nejvhodnější dle obr. 37. Tato dělicí rovina umožní vhodné odformování.



Obr. 37 Dělicí rovina a úkosy na výstřiku

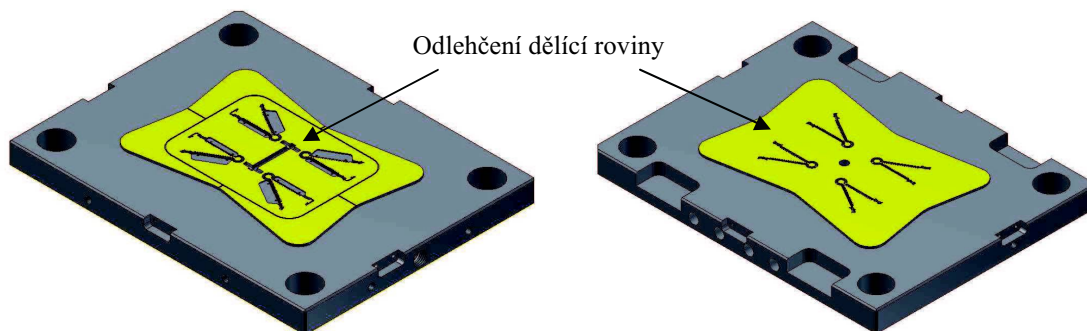
Správné stanovení dělicí roviny je velmi důležité z hlediska správného zaformování výstřiku. Na dělicí rovinu se rovněž váže většina prvků formy, tj. vtokový systém, vyhazovací systém, odvzdušnění, temperace formy aj.

- f) Smrštění – přesné smrštění materiálu je velmi obtížné určit. Mezi faktory ovlivňující smrštění patří: tvar výstřiku, konstrukce formy, technologie vstřikování (tlak, teplota taveniny, atd.). Dle katalogu dodavatele materiálu POM-C určuju 2% smrštění.

7.2 Konstrukce dutiny formy [2], [4]

Návrh dutiny formy je důležitou částí celé konstrukce formy. Při nedodržení zásad správné konstrukce dutiny formy se projeví chybně dimenzované rozměry výstřiku.

Rozměr tvárnice je 346x446-36 a deska je zakoupena od společnosti Meusburger se sídlem v Rakousku. Pro 4 - násobnou formu volím umístění součásti do dutiny formy dle obr. 38. Odlehčení dělicí roviny je zvoleno z důvodu minimalizace přidržovací síly lisu. Ideálně vytvořené odlehčení je pomocí offsetu původní plochy. Pro větší efektivitu je možnost použití jednoduché transformace ploch v ose. Výška odlehčení je 3 mm a zpravidla bývá ve vzdálenosti 10-20 mm offsetně od kontury dutiny. Povrch dutiny formy je matný a to z důvodu ekonomiky provozu. Pro splnění funkce výstřiku není potřeba volit lesklý povrch. Drsnost povrchu dutiny formy volím Ra 0,8. Materiál tvárníku a tvárnice je nástrojová ocel 19 655 (DIN 1.2767, X45NiCrMo4).

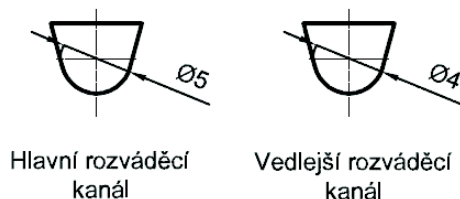


Obr. 38 Tvárník a tvárnice

7.3 Vtokový systém [8], [6], [9], [23], [2]

Tvar rozváděcích kanálků volím lichoběžníkový. Oproti kruhovému průřezu je výrobně výhodnější z důvodu zkrácení času obrábění druhé části dutiny formy. Průřez hlavních rozváděcích kanálků volím dle tab. 3. Průřez vedlejších rozváděcích kanálků volím o 1 mm nižší z důvodu poklesu tlaku v těchto kanálcích. Největší průměr rozváděcího kanálku D by neměl být větší než $1,54 H$ (maximální tloušťka výstřiku). Největší tloušťka na výstřiku je 4 mm. Tzn. podmínka: $4 \leq 1,54 \cdot 4 = 6,16$ je splněna.

U vícenásobných forem by měla tavenina vyplnit všechny ústí vtoku ze stejného tlaku a ve stejný čas.



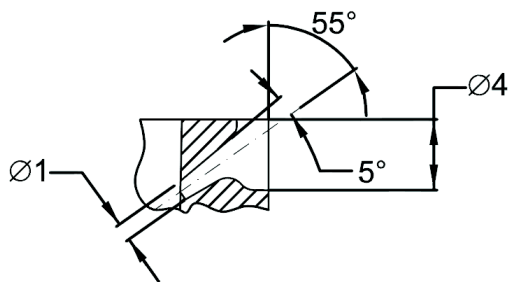
Obr. 39 Průřezy rov. kanálků [2]

Tab. 3 Nejvhodnější rozměry rozv. kanálků při relativní tekutosti taveniny [2]

Objem výstřiku (cm ³)	Délka kanálku (mm)	Průřez kanálku (mm ²)	Průřez ústí vtoku (mm ²)
2-5	do 20	6	0,3-0,6
	20-35	9	
	35-50	12	
	50-70	16	

$S_{\min}=12\text{mm}^2 \Rightarrow d=3,91 \dots$ volím průměr hlavního rozv.kanálku $d=5$ mm.

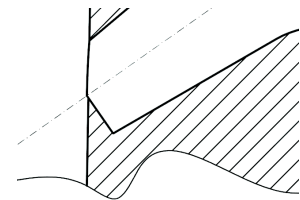
$S_{\min}=0,5\text{mm}^2 \Rightarrow d=0,707 \dots$ volím průměr ústí vtoku $d=1$ mm.



Obr. 40 Geometrie tunelového vtoku [2]

Pro plnění tvarové dutiny formy jsem použil tunelový vtok (viz obr. 40). Důvodem této volby byl ve výhodě odstranění vtokového zbytku od samotného výstřiku. Pro snazší odstranění vtokového zbytku je zapotřebí vytvoření ostré hrany ve směru vyhazování. Tento tunelový vtok není vhodný pro výstřiky větších tloušťek. Tloušťka výstřiku je 1,6 mm, která je pro tunelový vtok vhodná.

Pro plnění dutiny formy materiálem POM a PC je nutné k tunelovému toku konstruovat hradítko (viz obr. 41). Toto hradítko je v tunelovém vtoku z důvodu snížení rychlosti tečení taveniny plastu před plněním dutiny. Výroba tohoto hradítka není jednoduchá a je ekonomicky náročná.



Obr. 41 Hradítko tunelového vtoku [2]

Na formě je konstruován kuželový vtokový kanál, který je umístěn ve vtokové vložce s rovným čelem. Kuželový kanál je dán vtokovou tryskou a je pod úhlem 1°. Pod vtokovou vložkou je 0,5 mm volný prostor pro vyplnění plastu z důvodu tepelné dilatace trysky. Tato tryska má přibližnou teplotu vstříkovaného plastu (214°C). Z obr. 29 je průřez rozváděcího kanálku 24,5 mm². Dle vzorce 7.4 je vypočten dolní průřez vtokové trysky a následně průměr. Zajištění trysky proti pohybu je pomocí kolíku z boční strany.

Tab. 4 Souč. násobnosti n [2]

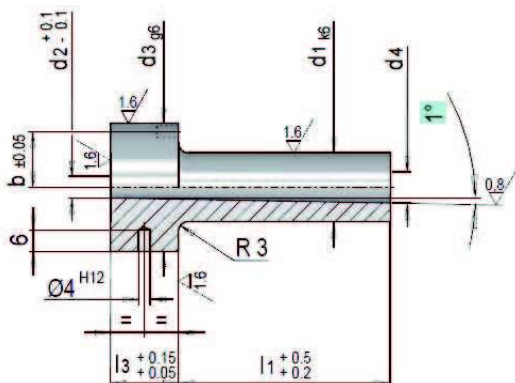
$$F_H = F_R \cdot K_x = 24,5 \cdot 1,25 = 24,54\text{mm}^2 \Rightarrow \underline{d=5,59\text{mm}}$$

(7.4)

Pozn. K_x – součinitel násobnosti n (viz tab. 4)

Volím dolní průměr vtokové vložky 5,8 mm.

n	K_x
2	1
4	1,25
6	1,67
8	2,5
8<	5



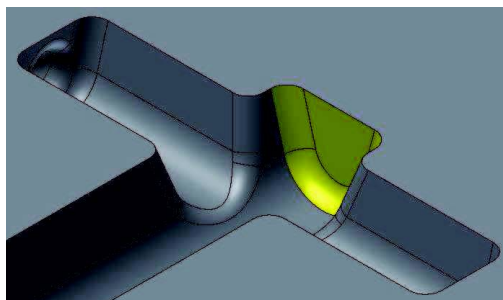
Tab. 5 Hodnoty vtokové vložky

kóta	rozměr
d ₁	12 mm
d ₂	3 mm
d ₃	28 mm
d ₄	5,8 mm
l ₁	66 mm
l ₃	13 mm

Obr. 42 Zvolená vtoková vložka [15]

Všechny ostré hrany na rozváděcích kanálcích jsou zaobleny z důvodu plynulejšího tečení taveniny plastu do ústí vtoku. Plynulost tečení taveniny zaručuje i malá drsnost povrchu kanálek.

Hlavní rozváděcí kanálek je prodloužen o 4 mm (viz obr. 43). Při toku kanálkem se v čele taveniny nachází částečně zchlazená hmota. Tato nechtěná část taveniny narazí na prodloužené čelo kanálku a tavenina o vyšší teplotě může zatékat do dutiny formy.



Obr. 43 Prodloužení rozváděcího kanálku

7.4 Temperační systém [9], [4]

Při návrhu temperačního systému tvárnice se naskytuje problém s vyhazovacím systémem, kdy vyhazovací prvky brání v umístění temperačních kanálek. Proto volím ve tvárnici pouze jednodruhový temperační systém s přepážkou. Tato přepážka směřuje temperační médium do střední části formy a zpět. V temperačním systému jsou také použity záslepky, přípojky a uzavírací šrouby. Náústky je nutné chránit proti mechanickému poškození. Toto se provádí zahlabením pod povrch formy. Osy vyústění jednotlivých temperačních kanálek by neměly být od sebe vzdáleny méně jak 25 mm. Na formě je tato minimální vzdálenost splněna.

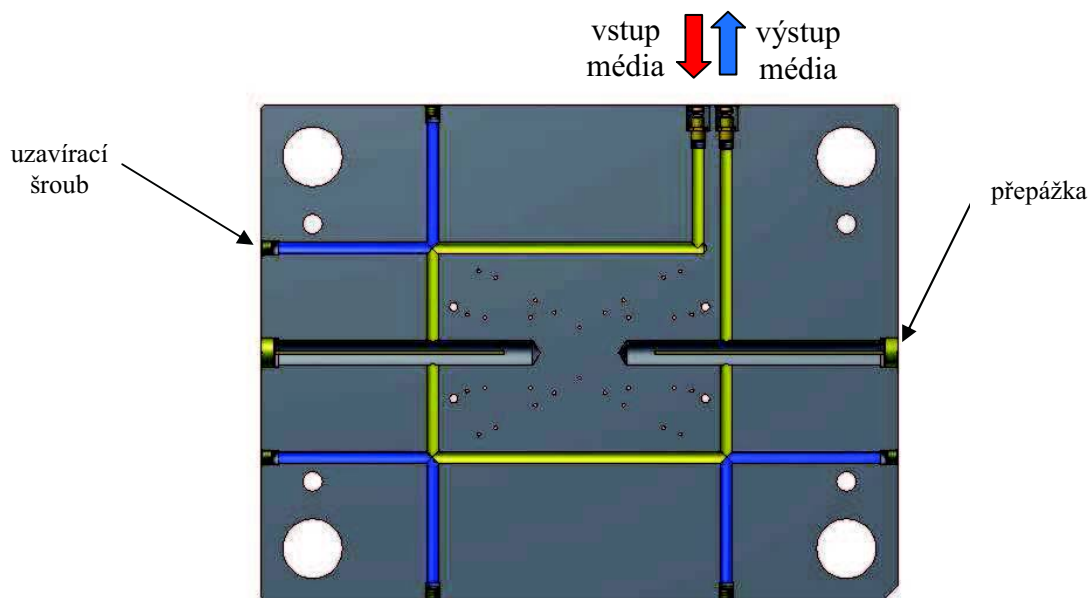
Délka záslepek by měla být větší než je průměr kanálku. Tato délka je důležitá při vkládání záslepky skrz kolmý kanálek, aby nedošlo ke zpříčení této záslepky. V závislosti na velikosti rámu formy volím průměr kanálek 8 mm dle tab. 7. V praxi se průměr kanálek volí vyšší než 6 mm z důvodu častého ucpávání kanálek nečistotami. Vhodné je také použít čistící filtr pro temperační médium. Průměr kanálek pro přepážku je dán vztahem $2,2 \times d$, tj. pro $d=8\text{mm}$, volím $D=18\text{mm}$. Vzdálenost konce přepážky ke konci díry pro tuto přepážku, doporučuje společnost Meusburger volit 18mm. Dále pak společnost Meusburger doporučuje volit teplotu temperačního média pro tuto přepážku a to maximálně 160°C .

Tab. 6 Aktivní temperační prostředky [27]

Voda	Dobrý přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	Použitelná do 90°C, vznik koroze, usazování kamene
Olej	Možnost temperance nad 100°C	Zhoršený přestup tepla
Glykoly	Omezení koroze a ucpání systému	Stárnutí, znečišťování prostředí

Tab. 7 Orientační hodnoty volby průměru kanálu v závislosti na výstřiku a rámu formy [9]

rám formy (mm) / hmotnost výstřiku (g)	do 1	1-3	3-5	5-8	8-10	10-15	15-20	20-30	30-50	50-100	100-200
160x160	6	6	6	6	6						
160x230		6	8	8	8	8	8	8	8		
230x230		8	8	8	8	8	8	8	8	8	
230x300			8	8	8	8	8	8	8	10	10
300x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10
300x370				8	8	8	8	8	8	8	10
370x370				8	8	8	8	8	8	8	10
370x440					8	8	8	8	8	8	10
440x440					8	8	8	8	8	10	10
440x510						8	8	8	10	10	10
510x510						8	8	8	10	10	10
510x650							8	8	10	10	12



Obr. 44 Řez temperačním okruhem tvárníku

Na zařízení temperačního systému se nastaví teplota chlazení formy pro daný materiál. Pro materiál POM volím teplotu formy 80°C (40-120°C). V případě nižší teploty formy je možné do temperačního okruhu zvolit plastovou přepážku, která je určena do teploty 60°C. Pokud by naopak forma byla chlazená nad 95°C bylo by potřeba aktivně chladit tvarovou část i rám formy. Připojení vstupní a výstupní hadice temperance situuji na zadní stranu formy z důvodu ochrany obsluhy lisu v případě havárie.

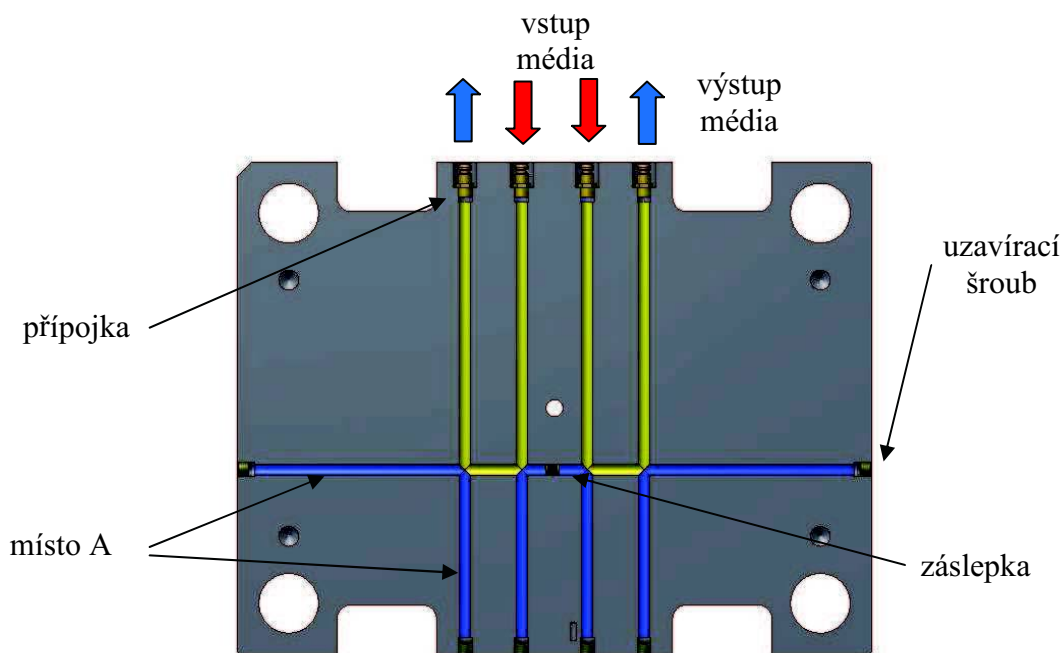
Umístění temperačních kanálků se volí dle tab. 8. Minimálně však 5 mm od dutiny formy. Tato vzdálenost by měla být dodržena z důvodu koroze vnitřní plochy kanálku. V umístění přepážky je částečně mrtvé místo. Po konzultaci s konstruktérem nechávám toto místo bez úpravy z důvodu chlazení větší části formy a menší cirkulace média díky přepážce.

Tab. 8 Vzdálenost temperačních kanálků [4]

Průměr kanálků (mm)	6	8	10	12	14	16	18	20
Vzdálenost kanálků od stěny (mm)	4	6	8	12	15	20	25	30
Vzdálenost povrchu kanálků (mm)	4	5	7	8	10	11	12	14

Návrh temperačního okruhu tvárníku byl zvolen dvouokruhový. Pokud je to konstrukčně možné, je vhodné situovat přívod chladícího média přímo ke zdroji tepla, tj. vtokové ústí dutiny formy. Z tohoto důvodu volím přívod chladícího média nejdříve do středu formy (viz obr. 45). Z důvodu nezajištění stejnoměrného průtoku vody na formě neuvažuji paralelní zapojení temperačních okruhů, tzn. 1 vstup a 2 výstupy.

Obr. 45 ukazuje místo A. V tomto místě není vrtání zapotřebí a je možné vrtat temperační kanálek pouze z jedné strany. Po konzultaci s vedoucím práce volím vrtání z obou stran z důvodu použití vrtáku menší délky. V dnešní době moderní obráběcí stroje dokážou vrtat díry s velmi malými odchylkami.

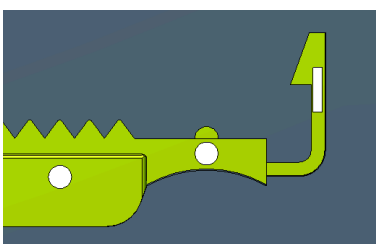


Obr. 45 Řez temperačním okruhem tvárnice

7.5 Odvzdušnění [6], [9], [11]

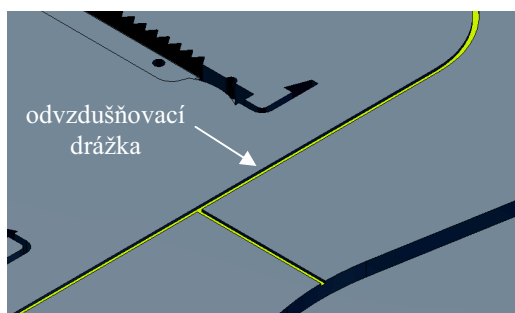
Aby nevznikl Dieselův efekt je nutno na formě konstruovat odvzdušňovací prvky. Odvzdušnění je na formě řešeno dvěma způsoby.

První způsob odvzdušnění je pomocí vyhazovačů. Místo, kde se bude nejvíce situovat nahromaděný vzduch je na konci tvarové dutiny, kde tavenina doteče za nejdelší čas. Z tohoto důvodu, pokud je to možné, se navrhuje umístění vyhazovačů na konec tvarové dutiny formy. Uložení vyhazovačů obvykle bývá H7/g6, H7/h6, H7/j6. Toto uložení se odvíjí dle tekutosti plastu. Uložení vyhazovačů, dle použitého materiálu pro vstřikování, volím H7/g6. Ve většině případů je tento typ odvzdušňování dutiny formy nejúčinnější a druhého způsobu odvzdušňování se používá jen zřídka.



Obr. 46 Odvz.vyhazovačem

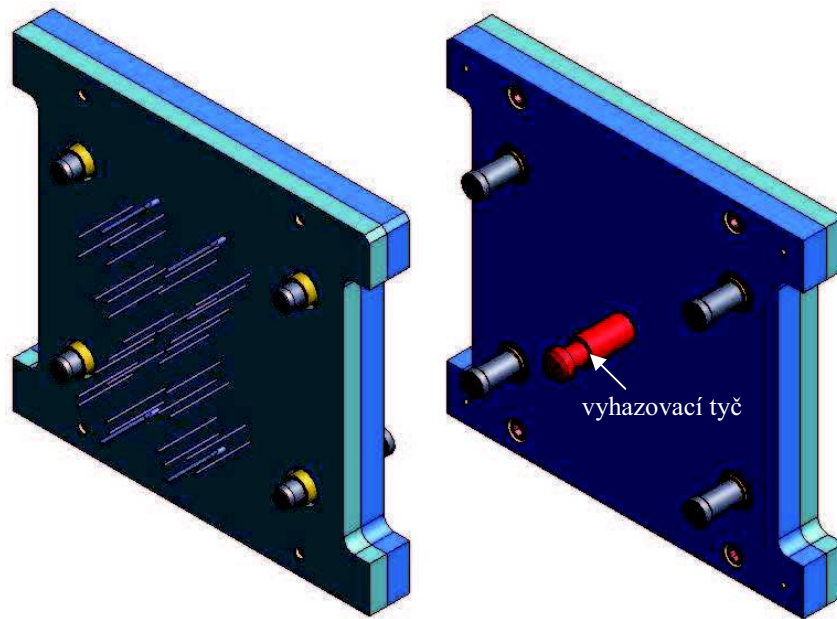
Druhý způsob odvzdušnění je pomocí vyfrézované drážky kolem tvaru dutiny na tvárnici (viz obr. 47). Tato vyfrézovaná drážka je hluboká 0,5 mm a široká 1 mm. Drážka ústí skrz odlehčenou dělicí rovinu do prostoru. Jestliže se po několika vstřikovacích cyklech objeví v dutině formy spálené plošky, je nutno propojit odvzdušňovací drážku s tvarovou dutinou pomocí vyfrézované drážky hloubky 0,01-0,02 mm a šířky 1-2 mm.



Obr. 47 Odvzdušňovací drážka

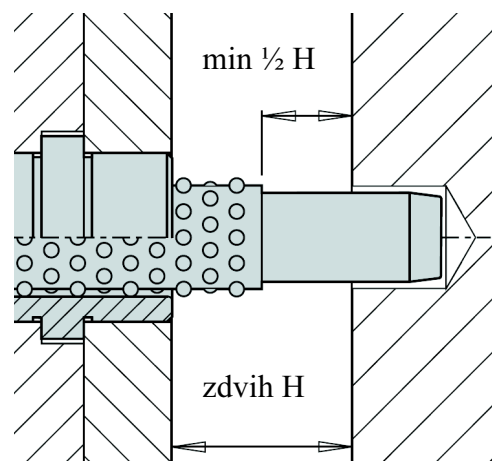
7.6 Vyhazovací systém [4]

Ve vyhazovacím systému formy se používají ve většině případů kalené vyhazovače. Nitridované s měkkým jádrem zcela zřídka. Díra pro tyto vyhazovače je v toleranci uložení H7. Délka této díry v tomto uložení bývá délky 2 - násobně větší, než je průměr vyhazovače. Tato délka je z důvodu předpokládaného pružení těchto vyhazovačů mezi kotevní deskou vyhazovací a tvárníkem. Pokud se na formě použije vyhazovačů větších délek je tato vzdálenost až polovina délky vyhazovačů. V praxi se vyhazovače průměru menšího než 2 mm lámou.



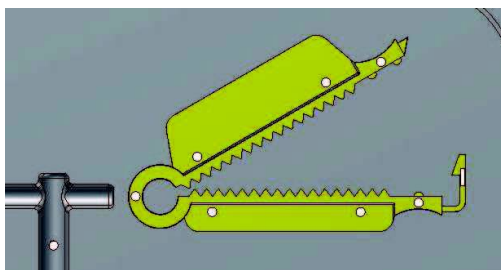
Obr. 48 Vyhazovací sestava

Kotevní deska vyhazovací je vedena středícími prvky. Tyto středící prvky je nutno umísťovat tak, aby vzdálenost od čela mezikroužku k tvárnici byla větší než polovina celkového zdvihu (viz obr. 49). Zdvih vyhazovačů musí být větší, než je hloubka zaformování. Umístění vyhazovačů volím dle obr. 50. Tedy na každý výstřik volím 8 vyhazovačů, z toho jeden plochý. Pokud je to konstrukčně možné konstruovat jeden z vyhazovačů co nejbližší k tunelovému ústí pro snadné ulomení vtokového zbytku. Umístění dvou vyhazovačů volím i na vtokový zbytek pro vyhození tohoto zbytku. Všechny dosedací plochy na výstřiku pro vyhazovače jsou ploché a není třeba jejich další úprava a přesné uložení v kotevní desce vyhazovací.

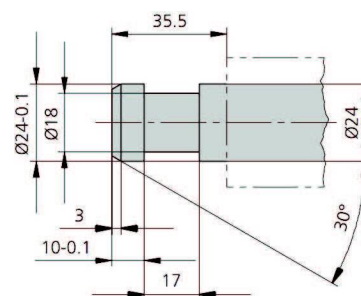


Obr. 49 Umístění vedení s nákrůžkem [15]

Způsob spojení vyhazovací tyče s kotevní deskou je pomocí šroubu s šestihřannou hlavou, který je zajištěn v drážce v opěrné vyhazovací desce. Tento šroub je zašroubován do vyhazovací tyče metrickým závitem M16. Druhá strana vyhazovací tyče je upravena pro komptabilitu se vstřikovacím lisem viz obr. 51. Opěrnou a kotevní vyhazovací desku je nutné upravit ze stran z důvodu umístění upínek k upevnění formy na lis.



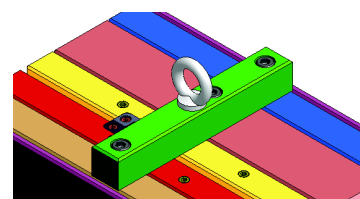
Obr. 50 Umístění vyhazovačů na výstřiku



Obr. 51 Úprava konce vyhazovací tyče [28]

7.7 Ostatní systémy formy [4]

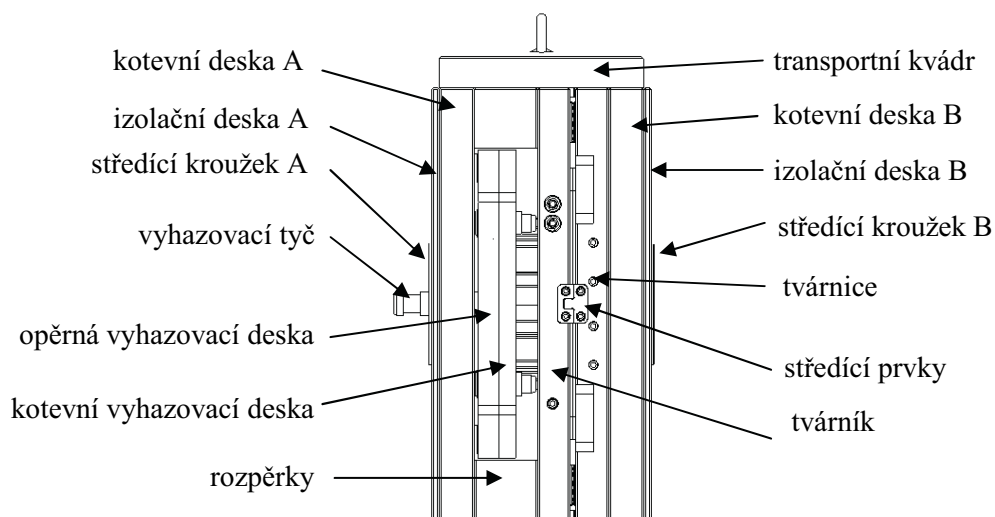
Pro snazší manipulaci formy je použita transportní deska, která je přišroubována třemi šrouby s vnitřním šestihranem o závitě M10. Závit o velikosti M10 je rovněž umístěn v transportním oku pro manipulaci jednotlivých částí formy. Tento závit společnost Meusburger doporučuje volit pro hmotnost formy do 240 kg (hmotnost celé sestavy vypočtena z programu Inventor 2011 viz obr. 53).



Obr. 52 Transportní deska

Umístění transportního oka je důležité z důvodu vkládání formy do lisu, aby forma byla co nejvíce vyvážená (opět z programu Inventor 2011 vypočteno těžiště sestavy formy). Pro dostatečnou tuhost je průřez transportní desky čtvercový o hraně 32 mm.

Kontrola hmotnosti sestavy formy pro určení transportního oka



Obr. 53 Boční pohled formy

Hmotnosti deskových tvarů:

$$\begin{aligned}
 m_D &= m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8 + m_9 \\
 &= 9 + 40,8 + 16,26 + 12,71 + 18,75 + 37,62 + 38,14 + 41,46 + 9 \\
 &= \underline{\underline{223,74\text{kg}}}
 \end{aligned}
 \tag{7.5}$$

Pozn.: m_1 – hmotnost izolační desky A [kg], m_2 – hmotnost kotevní desky A [kg], m_3 – hmotnost opěrné vyhazovací desky [kg], m_4 – hmotnost kotevní vyhazovací desky [kg], m_5 – hmotnost rozpěrek [kg], m_6 – hmotnost tvárníku [kg], m_7 – hmotnost tvárnice [kg], m_8 – hmotnost kotevní desky B [kg], m_9 – hmotnost izolační desky B [kg].

Hmotnosti válcových tvarů:

$$\begin{aligned} m_V &= m_{10} + m_{11} + m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15} + m_{16} \\ &= 0,24 + 0,76 + 0,93 + 1,92 + 5,12 + 0,06 + 0,15 \\ &= \underline{9,18kg} \end{aligned} \quad (7.6)$$

Pozn.: m_{10} – hmotnost vyhazovací tyče [kg], m_{11} – středící kroužek A [kg], m_{12} – středící kroužek B [kg], m_{13} – hmotnost šroubů [kg], m_{14} – hmotnost vodičích elementů [kg], m_{15} – hmotnost vyhazovačů [kg], m_{16} – hmotnost temperančních přepážek [kg].

Hmotnost ostatních dílů:

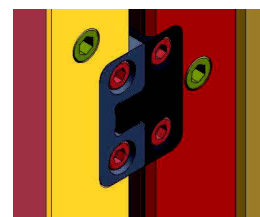
$$\begin{aligned} m_O &= m_{17} + m_{18} \\ &= 0,3 + 1,56 \\ &= \underline{1,86kg} \end{aligned} \quad (7.7)$$

Pozn.: m_{17} – středící prvky a vtoková tryska [kg], m_{18} – transportní kvádr [kg].

Hmotnost sestavy

$$\begin{aligned} m_S &= m_D + m_V + m_O \\ &= 223,74 + 9,18 + 1,86 \\ &= \underline{234,78kg} \end{aligned} \quad (7.8)$$

Forma pro vstřikování plastů obsahuje standardně 3 stupně středění. V první řadě jsou to středící kruhy v upínacích deskách a díry na beranech vstřikovacích lisů. Dalším stupněm středění jsou sloupkové kolíky a pouzdra. Důležitým prvkem středění jsou středící kameny v dělicí rovině (viz obr. 54). Tyto kameny se používají pro zachycení uzavíracích a vstřikovacích sil. Tyto síly se přenášejí do axiálních směrů a mohlo by docházet k přesazení jednotlivých polovin formy proti sobě. Jako středící prvky na formě jsou použity koncové ploché středění se šroubem s vnitřním šestihranem. Toto ploché středění je konstruováno na každé straně formy pro nejefektivnější zachycení axiálních sil. Z konstrukčních důvodů nebylo možné umístit středící prvky v polovině jednotlivých hran formy, ale pro správnou funkci těchto prvků není třeba toto dodržet.

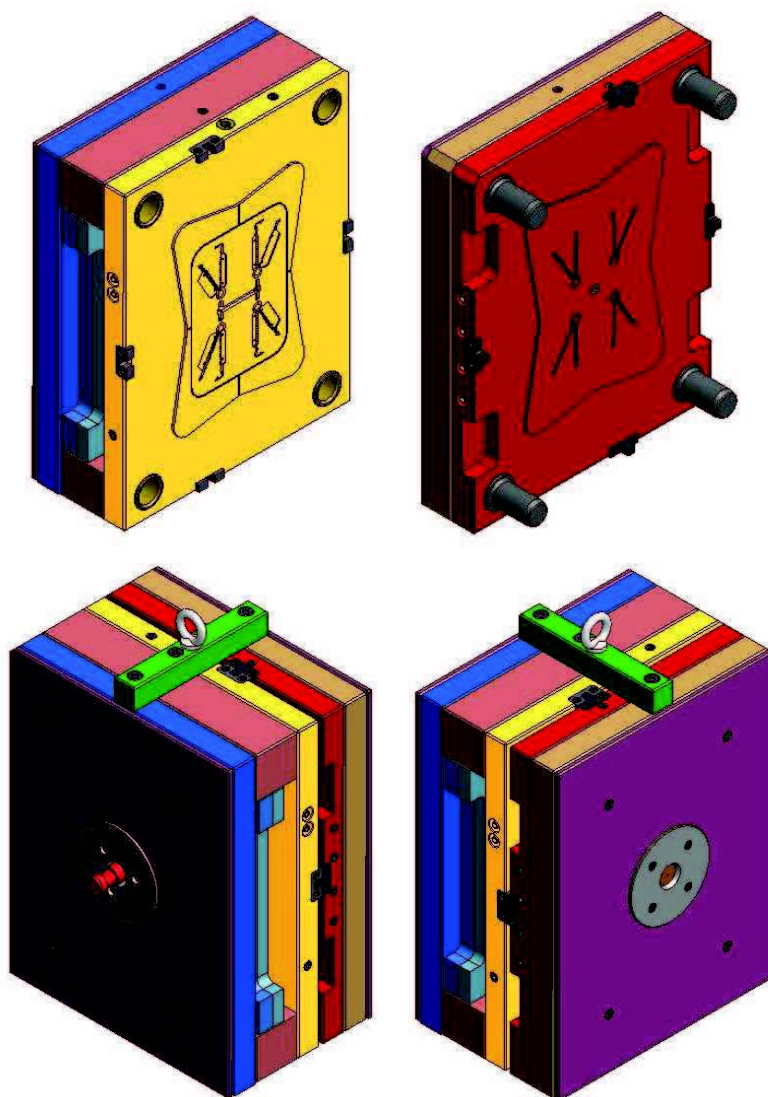


Obr. 54 Středící prvky

Aby byla forma co nejméně tepelně namáhána od vstřikovacího stroje používají se izolační desky. Tloušťka těchto desek se obvykle volí 5, 6, 8, 10 a 12mm dle půdorysných rozměrů formy. Materiál izolačních desek je používán např. Glatherm. Na formě je použita izolační deska tloušťky 8 mm s dovoleným zatížením 330 N/mm². Výrobce desek omezuje použití pro maximální teplotu 240°C. Po bocích formy se v praxi používají izolační desky ze sklotextitu nebo sklotexu. Na formě navrhuji zvolit pouze

izolační desky ze stran upínání. K přichycení desky k formě je použit šroub se zápusťnou hlavou o velikosti závitu M6.

Pro snazší montáž navrhuji zkosit hrany v jednom místě celé formy pod úhlem 45° (viz obr. 55).



Obr. 55 Sestava formy

7.8 Volba vstřikovacího lisu [27]

Pro správnou volbu lisu je nutné brát v úvahu několik zásad a omezení. Na správné volbě lisu závisí celá ekonomika provozu. Možnost zvolení lisu s menší uzavírací silou jen o několik tun nižší, by při ve velké sérii, např. 500 000 kusů ročně, znamenalo úsporu několik desítek tisíc korun.

Hlavní parametry pro správnou volbu vstřikovacího lisu jsou: velikost přidržovací síly, průměr šneku stroje, velikost plastikací kapacity, rozměry formy a průměr středícího kroužku.

Pro vstřikovanou součást volím vstřikovací lis od firmy Arburg s obchodním označením Allrounder 370S 700-290. Tento lis je s horizontálním vstřikovacím šnekem.

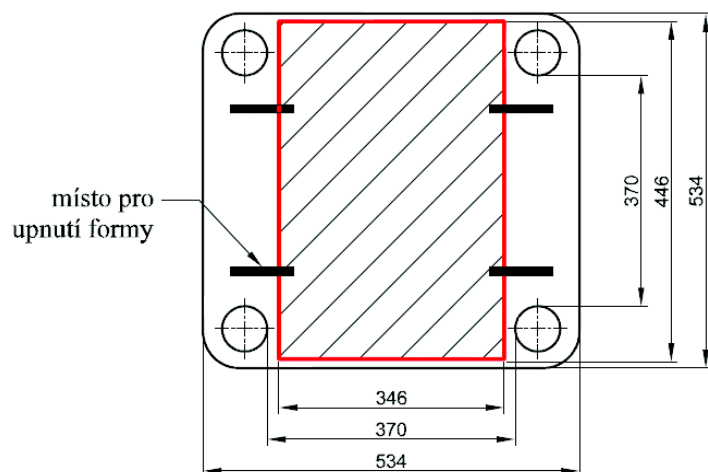


Obr. 56 Allrounder 370S [29]

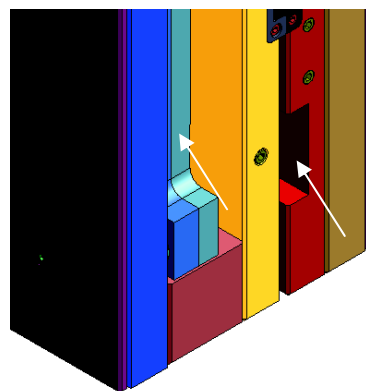
Tab. 9 Vypočtené parametry a parametry lisu

	vypočtené hodnoty	Allrounder 370S 700-290
uzavírací síla	360 kN	700 kN
plastikační kapacita stroje	10,42 kg/hod	20,5 kg/hod
průměr šneku	35 mm	35 mm
vstřikovací rychlost	68 cm ³ /s	140 cm ³ /s
rozměry formy/světlost mezi sloupky lisu	346x446 mm	370x370

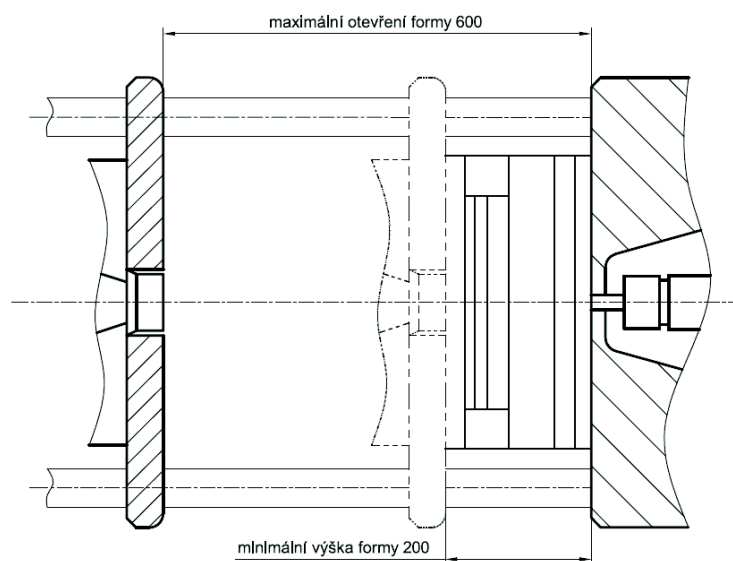
Tab. 9 ukazuje porovnání vypočtených parametrů a parametrů lisu. Příloha č.2 ukazuje všechny parametry a rozměry vstřikovacího lisu. Jedna strana rozměru formy je delší než světlost sloupku na lisu. Formu lze umístit dle obr. 57, kde se forma vloží mezi půdorysné sloupky ($346 < 370 \Rightarrow$ VYHOVUJE). Vybrání pro upínací prvky je ve tvárnici a v kotevní vyhazovací desce (viz obr. 57).



Obr. 57 Umístění formy na lisu



Obr. 58 Upínací části formy



Obr. 59 Kontrola výšky formy

Obr. 59 kontroluje výšku formy pro uložení ke konkrétnímu vstřikovacímu lisu. Minimální výška pro zvolený lis je 200 mm. Výška zkonstruované formy je 227 mm. Podmínka minimální výšky formy je tedy splněna. Společnost Engel je výrobcem vstřikovacích lisů, kde uzavírací síla není vedena pomocí vodících sloupků, ale pomocí loží. Toto umožňuje zvolení forem větších rozměrů a není potřeba kontrolovat světlost sloupků.

Důvod zvolení lisu od společnosti Arburg byl z několika důvodů. Společnost na svých lisech používá servoelektrické pohony, které jsou chlazeny kapalinou. Z tohoto důvodu klesá hlučnost celého provozu lisu. U lisů řady Allrounder je výhoda, že všechny pohybové osy pracují nezávisle na sobě. Tímto se zkracuje celý výrobní cyklus. U novějších řad lisů došlo ke snížení spotřeby energie až o 40%. Vstřikovací lisy jsou vhodně konstruovány z hlediska ergonomie. Toto se projevuje při vstřikování výstřiku se záhlaví. Při plně automatickém provozu, kdy je na lisu použito robotického zařízení, se snižují náklady na obsluhu stroje.

8 SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ [7], [26]

Ověření procesu vstřikování plastů pomocí simulačního softwaru je dnes nezbytnou součástí každé společnosti, která se tímto vstřikováním plastů zabývá. Existuje několik simulačních programů, které toto umožňují. Tyto simulační programy se řadí do vyšší cenové kategorie softwarů a většina společností si proces vstřikování nechává simulovat, než aby zakupovali drahé licence.

Díky simulačním softwarům se předchází různým výrobním vadám. Tyto analýzy značně ušetří peníze, před výskytem výrobní vady při plném provozu formy. Mezi nejčastější výrobní vady zjištěné simulací patří nedotečení taveniny do celé dutiny formy, špatný průběh teploty a značná deformace po zchlazení výstřiku.

V současné době je na první příčce v oblasti simulaci vstřikování plastů software **Moldex3D**. Tento jako jediný v oboru dokáže nasimulovat celou sestavu formy, tzn. vtokovou soustavu, temperační soustavu a řešení vložek ve formě. Moldex3D počítá s metodou konečných objemů, která se používá v oblasti dynamiky tekutin. Software dokáže nasimulovat plnění formy, přehřívání materiálu při toku soustavou a dutinou, dokáže analyzovat nedostřiky, vznik studených spojů, místa uzavírání vzduchu, vyhodnocuje design chlazení, minimalizuje cyklus a určuje i výsledné deformace po procesu vstřikování. Pokud pro výstřik zvolíme transparentní materiál, Moldex3D dokáže rozpoznat i optické vady dílců.



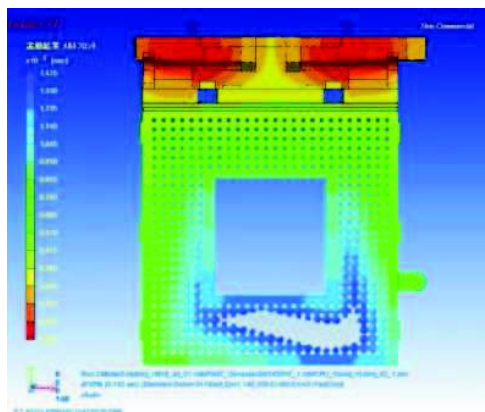
Obr. 60 Postup při zpracování analýzy [7]

Obr. 60 ukazuje postup při zpracování simulace vstřikování. Z objemového modelu vygenerujeme plnoobjemovou síť dílu. Tato plno objemová síť slouží jako vstup pro zadání simulace vstřikování.

Příprava sítě je časově velmi náročná a nezkušení uživatelé mohou tuto přípravu nesprávně zadat. Z tohoto důvodu software umožňuje zvolit automaticky vygenerovanou plnoobjemovou síť přímo z CAD modelu. Tuto síť není pak nutné nijak upravovat. Tato funkce je velmi užitečná, kdy není potřeba profesionálního zaučení v procesu analýzy.

Jednotlivé představení modulů softwaru Molex3D:

- a) *Tečení plastu* – je možnost analyzovat čelo toku taveniny v dutině formy, možnost vzniku nedostřiku (viz obr. 61), kde dojde ke vzniku studených spojů a místa uzavírání vzduchu.

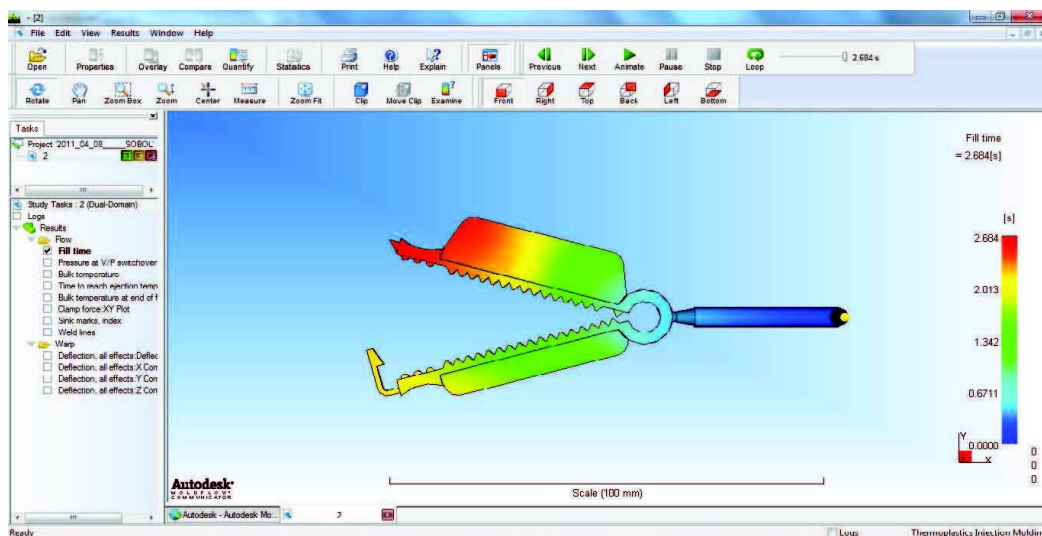


Obr. 61 Analýza toku taveniny - nedostříknutý dílec [26]

- b) *Průběh dotlaku* – efektivně je možno určit ideální dobu dotlaku a hodnotu tohoto tlaku.
- c) *Chlazení* – jak už bylo řečeno, software počítá s chlazením celé soustavy a neuvažuje pouze přirozené chlazení formy, nedostatky chlazení jsou např. nevyvážené chlazení, horká místa a dlouhý čas chlazení.
- d) *Deformace* – umožňuje předpovědět konečný tvar dílu po procesu vstřikování, důvod deformace v jednotlivých místech formy, např. z důvodu nevyváženého chlazení.
- e) *Kontrola vláken* – program umožňuje simulaci orientace vláken při procesu plnění, na orientaci těchto vláken má vliv umístění vtoku.
- f) *Obstřík zálisků* – v případě procesu vstřikování se zálisky, program umožňuje analýzu obstříku tohoto zálisku, tento zálisk se musí v programu namodelovat a určit vstupní parametry.

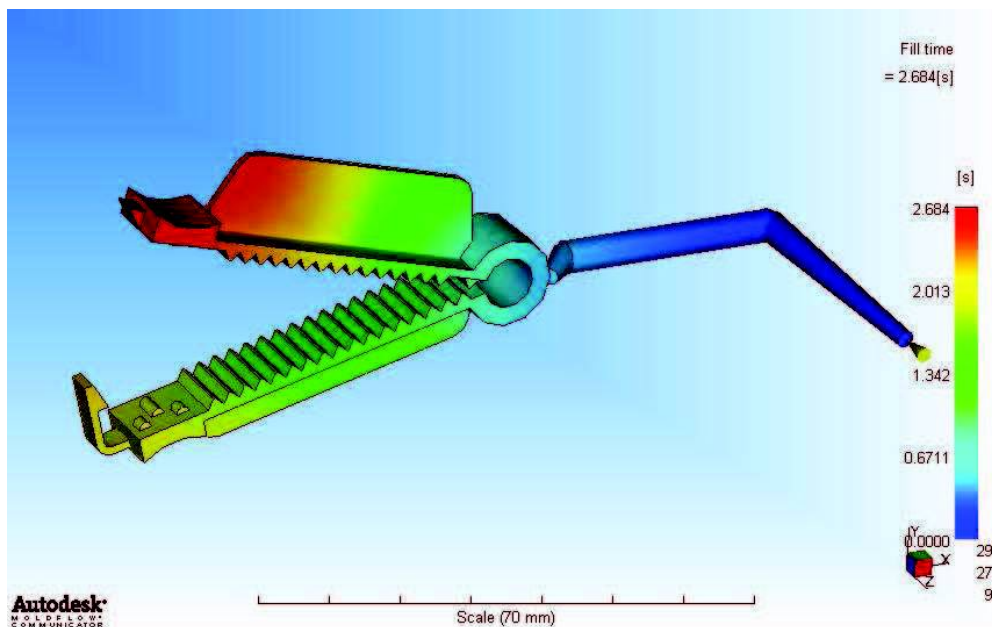
Software je schopen převést výstupy do typu souborů, pro vstupy do pevnostních analýz (Ansys, MSC Nastran aj.).

Simulace pro plastovou sponu byla provedena v simulačním softwaru společnosti **Autodesk Moldflow**. Software zakoupila společnost Autodesk v roce 2008 a dostala se tímto na přední příčky v oblasti simulaci vstřikování plastů. Tento program je však méně vhodný s porovnáním softwaru Moledx3D a to z důvodu nedostatku zvolení okrajových podmínek, např. procesu chlazení. Naopak mezi výhodu řadím např. knihovnu s více než 8000 polymerních materiálů s charakteristikami. Další výhodou je možnost bezplatného stažení Autodesk Moldflow komunikátoru, který dokáže demonstrovat výsledky zadané simulace a není potřeba převádět tyto výsledky simulace do dokumentace. Konstruktor si sám prohlédne daný proces a edituje chyby. Po celé analýze procesu je možné exportovat výstupy do programu Autodesk Showcase, který umožňuje shlédnout design takto navrhnutého dílce ve skutečnosti pro vstřikování.



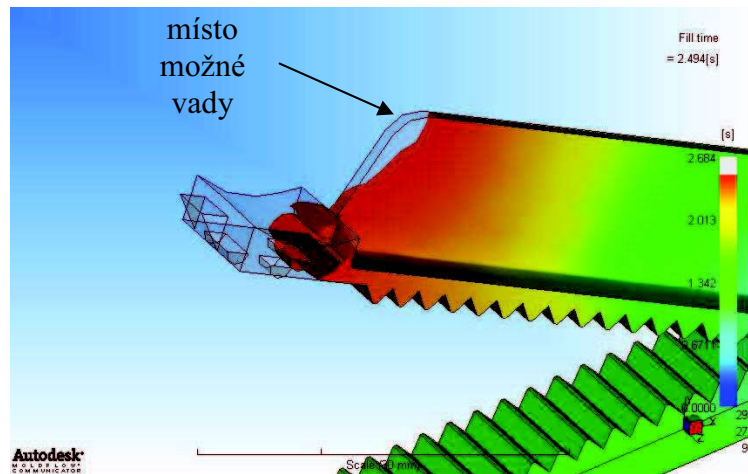
Obr. 62 Prostředí programu Moldflow komunikátor

Obr. 63 ukazuje časový průběh plnění. Jedná se o jednu z nejzákladnějších simulací, které konstruktér vyžaduje. Simulace nám ukazuje, v kterých místech můžeme předpokládat místa studených spojů nebo místa, kde se bude nejvíce uzavírat vzduch. Existuje vlastní analýza vzniku studených spojů, kterou popisuje obr. 68. Modré plochy označují místa při samotném počátku vstřikování. Červené naopak místa, kde tavenina doteče za nejdelší čas. V horní části součásti (strana s větším žebrem) doteče tavenina na konec dutiny za delší čas, než je tomu v dolní části (strana s menším žebrem). Toto není ideální. Vhodnější plnění by bylo, kdyby v obou částech dutiny tavenina zatekla ve stejný čas.



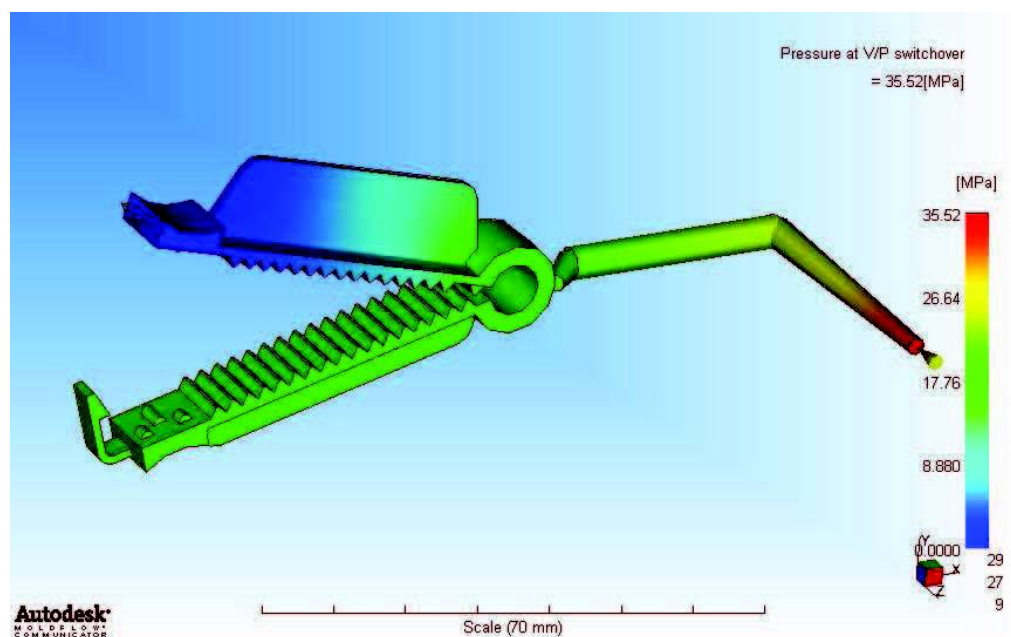
Obr. 63 Simulace - čas plnění

Dieselův efekt by mohl vzniknout v místě ukončení velkého žebra (viz obr. 64). Pokud by se na výstřiku objevovaly spálené plošky a odvzdušnění pomocí vůle u vyhazovačů by nestačilo, musela by se propojit odvzdušňovací drážka s dutinou formy. Tento jev může nastat i analogicky na konci tvarové dutiny formy.



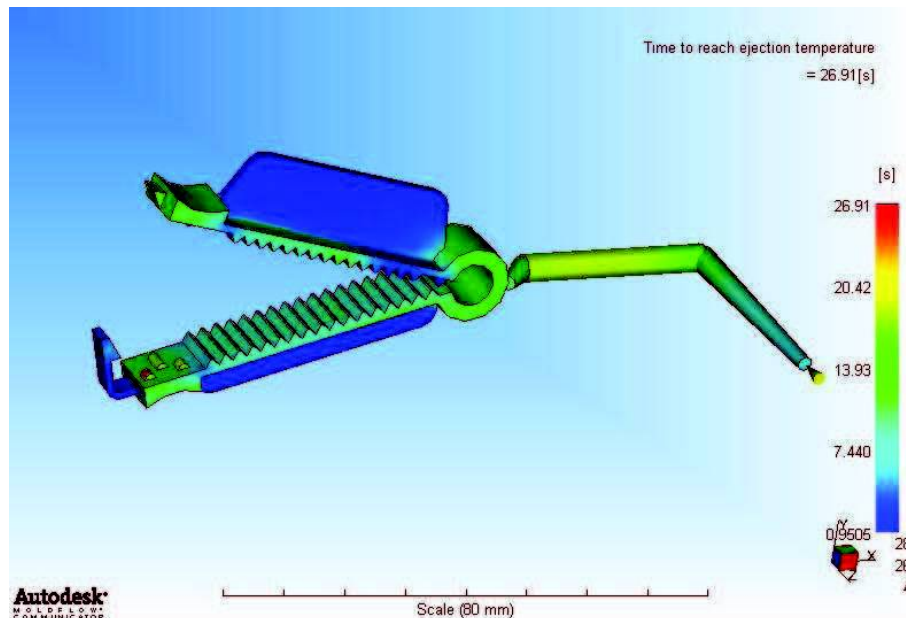
Obr. 64 Analýza možné vady při plnění

Obr. 65 představuje průběh tlaků v dutině formy. V průběhu plnění dutiny formy tlak klesá. Na konci součásti se doporučuje volit tlak 10% tlaku vstřikovacího. Tzn. 10% ze 70 MPa je něco málo pod 10 MPa. Tento tlak by byl ideální na konci dutiny formy. Po simulacích konstruktér přesněji určí tento tlak a může předejít výrobním vadám, při kterých by mohlo dojít v průběhu vstřikování.



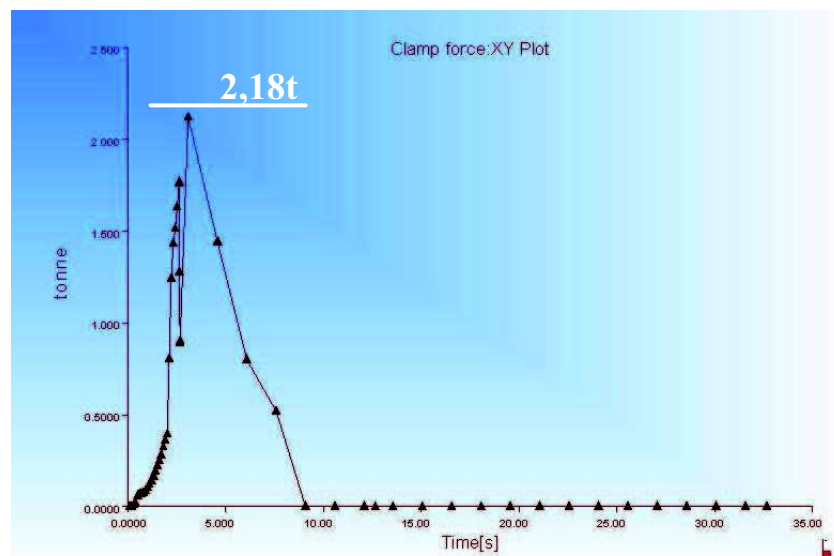
Obr. 65 Simulace - průběh tlaku

Dále simulací kontrolujeme čas, za který je možno vyjmout výstřik z dutiny formy (viz obr. 66). Z finančních důvodů je simulace prováděna bez počítání temperačních kanálků. Tj. tato simulace počítá pouze přirozené chlazení formy. Tzn. při přirozeném chlazení formy by se mohl výstřik z dutiny formy vyjmout za necelých 27 s.



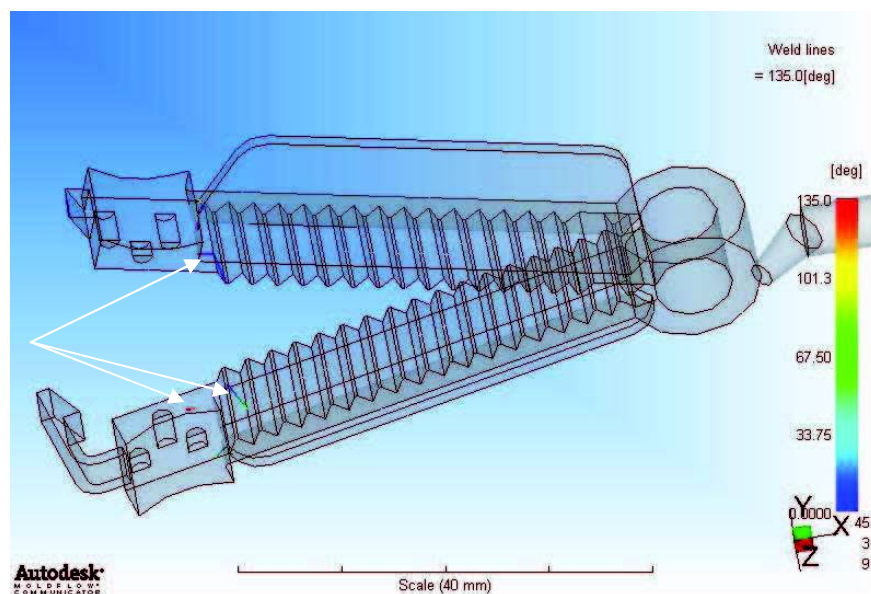
Obr. 66 Simulace - čas pro vyhození výstřiku

Kontrola hodnoty uzavírací síly je rovněž velmi důležitým parametrem výstupu simulačního softwaru. Obr. 67 ukazuje max. hodnotu uzavírací síly v závislosti na čase plnění. V úvahu musíme brát 4-násobnou formu. Max. hodnota uzavírací síly dle obrázku je 2,18 t ($2,18 \times 4 = 8,72 \text{ t} = 87,2 \text{ kN}$). Vypočtená hodnota uzavírací síly dle vzorce 6.10 je 359. Hodnoty ukazující simulace jsou skutečné a slouží pouze k porovnání a ke kontrole vypočtených hodnot. Vypočtené hodnoty uzavíracích sil se z důvodu bezpečnosti navyšují. Podmínka minimální přidržovací síly je tedy splněna.



Obr. 67 Simulace – uzavírací síla

Analýza studených spojů ukazuje, v kterých místech se může očekávat vznik trhlin či ulomení. U méně namáhaných součástí jsou tyto studené spoje neškodné, ale neměli by být na pohledových částech výstřiku. Studené spoje patří nejzávažnější ze všech vad na výstřiku. Tyto čelní spoje nesmí obsahovat výstřiky, na které je kladeno vyšší mechanické namáhání. Existují součásti, kde není možné se těmto studeným spojům vyhnout a je nutné konstrukční úprava buďto samotného výstřiku nebo rozváděcích kanálků. Reálná by byla i úprava drsnosti povrchu dutiny pro rozdílnou zatěkávnost jedné z částí přítoku. V mém případě není vhodné, aby studený spoj vznikl v místě kloubu. Obr. 68 ukazuje, že tomu nedochází. Studené spoje vznikají na konci výstřiku, kdy se mísí s taveninou přitékající z místa žebra.



Obr. 68 Simulace – vznik studených spojů

9 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nedílnou součástí každého projektu je technicko ekonomické zhodnocení. Do tohoto zhodnocení je důležité zahrnout náklady na konstrukci formy, pořízení vstřikovací formy, náklady na granulát, režijní náklady na provoz vstřikovacího stroje (obsluha, spotřeba, odpisy, atd.).

Po tomto zhodnocení je potřeba uvážit, zda se vyplatí pro zadanou výrobní sérii formu zrealizovat a začít s výrobním procesem. Velmi důležité je znát všechny vstupní parametry tohoto zhodnocení. Ne vždy se dokážou tyto parametry zjistit a je zapotřebí je co nejpřesněji určit.

9.1 Náklady na pořízení formy

Náklady na konstrukci formy a její technologický postup

Tyto náklady tvoří velkou část celkové ceny zhotovení formy a je nedílnou součástí tohoto zhodnocení. Náklady na konstrukci a technologický postup jsou 70 000,- Kč. Do této ceny se započítává i kalkulace simulací, které tvoří nezbytnou část této položky.

Náklady na pořízení normalizovaných součástí společnosti Meusburger

Dle přílohy č.3 je cena nakupovaných normálií 66 300,3 Kč. V seznamu není započítána kalkulace vyhazovačů z důvodu nedostupnosti zboží. Cena všech vyhazovačů je 1 870,- Kč. Cena pořízení normalizovaných součástí od společnosti Meusburger je tedy 68 170,3 Kč. Musíme brát v úvahu, že některé nakupované normálie je potřeba obrábět.

Náklady na obrábění nakupovaných dílů společnosti Meusburger

Po konzultacích ve firmě Formex Brno s.r.o. jsou náklady na obrábění formy a náklady technických pracovníků stanoveny na hodnotu 130 000,- Kč. V tomto není započteno tepelné zpracování částí formy, které se blíží k částce 20 000,- Kč. Konečná hodnota nákladů na obrábění činí 150 000,- Kč.

Náklady na ostatní části formy a jejich obrábění

Tj. náklady na nenormalizované části formy nebo normalizované části nakupované u jiné společnosti než Meusburger (středící kroužek A, středící kroužek B, transportní kvádr, šrouby pro transportní kvádr, vyhazovací tyč a ostatní spojovací materiál). Tyto náklady jsou 20 000,- Kč.

Náklady na výrobu formy pro započítání do ceny jednoho výstřiku

$$\begin{aligned}
 N_{pf1} &= \frac{N_{pf}}{O} \\
 &= \frac{308170,3}{350000} \\
 &= \underline{\underline{0,8804 \text{ Kč} / ks}}
 \end{aligned}
 \tag{9.1}$$

Pozn.: O – objem výroby (-)

Celkové náklady na pořízení formy jsou 0,8804 Kč/ks.

9.2 Náklady na granulát materiálu

Náklady na pořízení granulátu potřebného pro jeden výstřik materiálu POM

$$\begin{aligned}
 N_{gran1POM} &= P_g \cdot G + \frac{G_{VZ}}{n} \cdot (P_g - P_R) \\
 &= 66,3 \cdot 0,00618 + \frac{0,05}{4} \cdot (66,3 - 12) \\
 &= \underline{\underline{1,088 \text{ Kč} / ks}}
 \end{aligned} \tag{9.2}$$

Pozn.: P_g – cena granulátu POM (Kč/kg), G – hmotnost výstřiku (kg), G_{VZ} – hmotnost vtokového zbytku (kg), n – násobnost formy (-), P_R – cena regenerátu (Kč/kg).

Náklady na pořízení granulátu pro celou výrobní sérii materiálu POM

$$\begin{aligned}
 N_{CgranPOM} &= N_{gran1POM} \cdot O \\
 &= 1,088 \cdot 350000 \\
 &= \underline{\underline{380800 \text{ Kč}}}
 \end{aligned} \tag{9.3}$$

Pozn.: O – velikost výrobní série (ks)

Celkové náklady na granulát jednoho výstřiku jsou 1,088 Kč/ks.

Pro srovnání níže uvádím cenovou kalkulaci granulátu materiálu PP a jeho porovnání s cenou materiálu POM. Polypropylen je nejběžnější plast, který nachází svá využití v mnoha odvětvích. Tento materiál je možno zvolit jako materiál zadaného výstřiku, ovšem není to nejideálnější řešení z hlediska funkce zadaného výstřiku. Obchodní označení materiálu PP je Taren IM 12 59 a cena tohoto materiálu je 38,56 Kč/kg. Cena regenerátu je 7 Kč/kg.

Náklady na pořízení granulátu potřebného pro jeden výstřik materiálu PP

$$\begin{aligned}
 N_{gran1PP} &= P_g \cdot G + \frac{G_{VZ}}{n} \cdot (P_g - P_R) \\
 &= 38,56 \cdot 0,00618 + \frac{0,05}{4} \cdot (38,56 - 7) \\
 &= \underline{\underline{0,632 \text{ Kč} / ks}}
 \end{aligned} \tag{9.4}$$

Náklady na pořízení granulátu pro celou výrobní sérii materiálu PP

$$\begin{aligned}
 N_{CgranPP} &= N_{gran1PP} \cdot O \\
 &= 0,632 \cdot 350000 \\
 &= \underline{\underline{221200 \text{ Kč}}}
 \end{aligned} \tag{9.5}$$

Celkové náklady na granulát jednoho výstřiku jsou 0,632 Kč/ks.

9.3 Režijní náklady na provoz

Hodinovou mzdu dělníka dělím dvěma z důvodu obsluhy dvou lisovacích strojů najednou.

Výpočet výrobních nákladů na jeden výstřik

$$\begin{aligned}
 N_{V1} &= \frac{(N_{PS} + \frac{N_{PD}}{2}) \cdot t_C}{3600 \cdot n} \\
 &= \frac{(600 + \frac{90}{2}) \cdot 10,66}{3600 \cdot 4} \\
 &= \underline{\underline{0,477 \text{ Kč} / ks}}
 \end{aligned} \tag{9.6}$$

Pozn.: N_{PS} – náklady na provoz stroje (Kč/hod), N_{PD} – náklady na plat dělníka (Kč/hod)

Výpočet celkových výrobních nákladů pro celou výrobní sérii

$$\begin{aligned}
 N_{CV} &= N_{V1} \cdot O \\
 &= 0,477 \cdot 350000 \\
 &= \underline{\underline{166950 \text{ Kč}}}
 \end{aligned} \tag{9.7}$$

Výpočet odpisových nákladů pro jeden měsíc

$$\begin{aligned}
 N_o &= \frac{C_s}{n_o} \\
 &= \frac{1325500}{72} \\
 &= \underline{\underline{18409,7 \text{ Kč}}}
 \end{aligned} \tag{9.8}$$

Pozn.: C_s – cena vstřikovacího lisu bez robotického zařízení (Kč), n_o – odpisová doba stroje v měsících

Výpočet doby výroby celkové výrobní série

$$\begin{aligned}
 t_{V\dot{R}} &= \frac{N \cdot t_C \cdot K_Z}{3600 \cdot n \cdot K'} \\
 &= \frac{350000 \cdot 10,66 \cdot 1,02}{3600 \cdot 4 \cdot 0,9} \\
 &= \underline{\underline{293,6 \text{ h}}}
 \end{aligned} \tag{9.9}$$

Pozn.: K_Z – faktor zmetkovitosti (-), K' – faktor využití času (-)

Přepočet doby výroby na měsíce

$$\begin{aligned}
 t_{VM} &= \frac{t_{V\dot{Y}R}}{n_{DM} \cdot n_{HD}} \\
 &= \frac{293,6}{20 \cdot 24} \\
 &= \underline{\underline{0,611}}
 \end{aligned}
 \tag{9.10}$$

Pozn.: n_{DM} – počet pracovních dní v měsíci, n_{HD} – počet hodin pracovního dne

Odpisové náklady na vstřikovací stroj

$$\begin{aligned}
 N_{OV} &= N_O \cdot t_{VM} \\
 &= 18409,7 \cdot 0,611 \\
 &= \underline{\underline{11248,33 \text{ Kč}}}
 \end{aligned}
 \tag{9.11}$$

Odpisové náklady na vstřikovací stroj pro započítání ceny do jednoho výstřiku

$$\begin{aligned}
 N_{OV_1} &= \frac{N_O \cdot t_{VM}}{O} \\
 &= \frac{18409,7 \cdot 0,611}{350000} \\
 &= \underline{\underline{0,0321 \text{ Kč}}}
 \end{aligned}
 \tag{9.12}$$

Celkové režijní náklady na provoz stroje s odpisem stroje na jeden výstřik jsou 0,5091 Kč/ks.

Náklady pro celý proces výroby plastové pružné spony z materiálu POM jsou:

$$\begin{aligned}
 N_C &= N_{pf} + N_{Cgran_{POM}} + (N_{Cv} + N_{Ov}) \\
 &= 308170,3 + 380800 + (166950 + 11248,3) \\
 &= \underline{\underline{867168,6 \text{ Kč}}}
 \end{aligned}
 \tag{9.13}$$



Obr. 69 Graf závislosti ceny na jednotlivých částí zhodnocení pro POM

Náklady pro celý proces výroby plastové pružné spony z materiálu PP jsou:

$$\begin{aligned} N_C &= N_{pf} + N_{Cgran\ PP} + (N_{Cv} + N_{Ov}) \\ &= 308170,3 + 221200 + (166950 + 11248,3) \\ &= \underline{\underline{707568,6\ Kč}} \end{aligned} \quad (9.14)$$



Obr. 70 Graf závislosti ceny na jednotlivých částí zhodnocení pro PP

Cenový rozdíl pro celý proces výroby plastové pružné spony obou materiálů je 159 600,- Kč.

10 ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce je probírána problematika vstřikování plastů, která pojednává o jednotlivých systémech vstřikovacích forem, konstrukčních zásadách a v neposlední řadě o problematice ohybových elementů. Rešeršní část práce je doplněna řadou schémat a obrázků, jenž napomáhají čtenáři lépe porozumět danému problému.

Pro správnou funkčnost zadané pružné plastové spony byla důležitá nutná konstrukční úprava. Tato úprava spočívala v návrhu záskočkového spoje, který slouží k zajištění sevření plachty. Následovalo určení správného zaformování součásti a v neposlední řadě svírající úhel sevření v dutině formy. Tento úhel byl s ohledem na tuhost materiálu zvolen 30°. Další součástí práce byl výpočet technologických parametrů, kde byla vypočtena uzavírací síla stroje. Po tomto výpočtu byl navržen vstřikovací stroj od společnosti Arburg s označením 370 S 700-290.

Pro zadanou výrobní sérii (350 000 ks) byla navržena 4-násobná forma. S ohledem na velikost součásti, temperační systém a násobnost formy byl rozměr tvárníku a tvárnice zvolen 346 x 446 mm, tloušťky 36 mm. Důležitou volbou byl rovněž typ vtoku, který jsem z důvodu odlomení součásti od vtokového zbytku zvolil tunelový. Tunelový vtok bylo nutno konstrukčně upravit pro typ vstřikovaného materiálu z důvodu snížení rychlosti tečení taveniny do dutiny formy. Z ekonomických důvodů je ve tvárníku konstruován lichoběžníkový vtokový kanál. Konstrukční návrh temperační soustavy tvárníku je složitější než tvárnice a to z důvodu umístění děr pro vyhazovače. Tento problém jsem vyřešil použitím přepážky, která nasměruje temperační médium do středu formy a zpět. Pro případ uzavírání vzduchu je ve tvárníku vyfrézována odvzdušňovací drážka. Tato drážka je konstruována pro případ, že odvzdušnění skrz vůli vyhazovačů nebude stačit.

Po konstrukčním řešení formy bylo nutné simulovat vstřikování plastů do již navržené formy. Tato simulace byla vytvořena v programu Moldflow od společnosti Autodesk. Výsledkem simulace byla kontrola zatékání taveniny plastu do dutiny formy, průběh tlaku, minimální čas pro vyhození výstřiku z formy, kontrola minimální uzavírací síly a kontrola vzniku studených spojů. Důležitým poznatkem simulace vstřikování bylo, že studené spoje nevznikají v oblasti kloubu. Toto se dalo předpokládat z důvodu umístění ústí vtoku do tohoto kloubu. Podmínka minimální uzavírací síly byla rovněž splněna.

V závěru práce je ekonomická kalkulace pořízení formy a její provoz. Z hlediska ekonomického je důležitá volba technologie, jakou bude součást vyráběna a jaký materiál bude zvolen. Plastovou sponu lze vyrábět technologií vstřikováním se záliskem nebo technologií vstřikováním s použitím materiálu POM nebo PP. Z důvodu nízkocyklového namáhání spony není potřeba volit vstřikování se záliskem. Touto technologií by se celý vstřikovací cyklus značně prodloužil a prodražil. Materiál POM je vhodnější pro ohybové elementy a PP je obvyklý plast pro standardní výstřiky. Pro sponu byl zvolen materiál POM bez vstřikování se záliskem. Ekonomické zhodnocení ukázalo, že náklady na granulát PP jsou o 159 600,-Kč levnější než materiál POM. I přesto volím materiál POM, který je vhodnější pro správnou funkčnost součásti. Celkové náklady na pořízení a provoz formy jsou 867 169,-Kč. V této částce jsou započteny i odpisy, které je nutno počítat po dobu amortizace stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Technická univerzita Liberec* [online]. 2010 [cit. 2011-04-20]. Technologie vstřikování. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c2/Jevy.pdf>.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : I.díl - vstřikování termoplastů*. UNIPLAST . Brno : [s.n.], 1998. 134 s.
- [3] Brána do světa 3D simulací vstřikování plastů. *MM spektrum*. 2010, 11, s. 58-61.
- [4] FIŠA, Pavel. Všeobecné konstrukční směrnice. *Směrnice*. 25.11.2007, 1, s. 1-18.
- [5] *Formex Brno s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Fotogalerie. Dostupné z WWW: <<http://www.formex.cz/cs/fotogalerie/vstrikovaci-formy.html>>.
- [6] Gabriel, Jiří; Novák, Jaroslav; Jurnečková, Jindřiška. Kurs optimalizace vstřikování plastů - doprovodné texty. Brno : Kompozity Brno s.r.o., 2000.
- [7] *Inovace.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. 3D software pro simulaci vstřikování plastů. Dostupné z WWW: <<http://www.inovace.cz/for-high-tech/strojirenstvi/clanek/3d-software-pro-simulaci-vstrikovani-plastu/>>.
- [8] KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů – přednášky a cvičení*. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Obor technologie tváření kovů a plastů. 2010.
- [9] Krebs, Josef; Sova, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.
- [10] KŘÍŽ, Rudolf; VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka 8. svazek : V-Tváření, W-Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z-Protikorozní ochrana materiálu*. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-718-3054-2.
- [11] Lenfeld, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů*. [Online] Technická univerzita Liberec - Fakulta strojní – Katedra strojní technologie - Oddělení tváření kovů a plastů, 2008. <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm >
- [12] *LPM Jičín* [online]. 2003 [cit. 2011-04-21]. Materiálový list. Dostupné z WWW: <<http://www.lpm.cz/>>.
- [13] Maloun [online]. 2011 [cit. 2011-04-21]. Plastové odpady. Dostupné z WWW: <<http://www.maloun.cz/maloun-vykup-plastovych-odpadu.php>>.

- [14] *Maturita.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-04-20]. Plasty. Dostupné z WWW: <<http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=4639>>.
- [15] *Meusburger* [online]. 2011 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://ecom.meusburger.com/index/index.asp?rnd=31471>>.
- [16] MÍŠEK, Bohumil. *Polymery, keramika, kompozity*. 1. vyd. Brno : VUT Brno, 1993. 155 s. ISBN 80-214-0521-x.
- [17] N.N.: Filmgelenke aus technischen Kunststoffen. Firmenschrift, Nr. B.3.5, Hoechst .
- [18] *Pedagogická fakulta MU* [online]. 2005 [cit. 2011-04-20]. Keramika, kompozity, polymery. Dostupné z WWW: <<http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>>.
- [19] *Plastic troubleshooter* [online]. 2007 [cit. 2011-04-21]. Odvzdušnění forem. Dostupné z WWW: <http://www.plastictroubleshooter.com/ThePlasticTroubleshooter/mold_venting.htm>.
- [20] Polyoxymethylene. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 8.4.2011 [cit. 2011-04-21]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyoxymethylene>>.
- [21] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno : CERM, 2002. 392 s. ISBN 80720424832.
- [22] ROTH, K.: Anregungen zum Einsatz unkonventioneller Gestaltungsmöglichkeiten bei Kunststoff-Konstruktionen, Konstruktion, Fertigung und Anwendung feinwerktechnischer Kunststoffteile, VDI-Verlag Dusseldorf 1976.
- [23] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem*. [s.l.] : Sekurkon, 2009. 226 s.
- [24] Servisně nenáročná a energeticky úsporná sušení plastů. *Vstřikování plastů : Sborník přednášek z 12. Mezinárodní konference konané v Praze ve dnech 13.-14.3.2008*. 2008, 12, s. 223-228. ISSN 1213-2632.
- [25] SCHONEWALD, H.: Schnappverbindungen in der Anwendung, *Kunststoffe* 79 (1989) Heft 8, S. 732/737
- [26] *SimulPlast s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2011-05-14]. Moduly moldex3D. Dostupné z WWW: <<http://www.simulplast.cz/moduly.php>>.
- [27] SOVA, Miloš; KREBS, Josef. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha : Dashöfer, 1999. ISBN 80-862-2915-7.

- [28] *Školní listy* [online]. 2008 [cit. 2011-04-20]. Polymery. Dostupné z WWW: <<http://adam.gyzamb.cz/sl/doku.php?id=wikinotes:ref:polymery>>.
- [29] *Technical data* [online]. 2010 [cit. 2011-04-27]. Arburg. Dostupné z WWW: <http://www.arburg.de/com/common/download/Web_527555_EN_GB.pdf>.
- [30] *Technická univerzita Liberec* [online]. 2008 [cit. 2011-04-20]. Vstřikování plastů. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>.
- [31] *Technická univerzita Liberec* [online]. 2008 [cit. 2011-04-21]. Vstřikovací formy. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf>.
- [32] *Tiskové zprávy* [online]. 2011 [cit. 2011-04-27]. Arburg. Dostupné z WWW: <http://www.arburg.de/com/common/press/picture/0000023006-01_370S.jpg>.
- [33] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2009. 246 s. ISBN 978-807-3002-503.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

zkratka	jednotka	popis
ITT	cm ³ /10min	objemový index toku taveniny
τ	Pa	smykové napětí
μ	Pa.s	dynamická viskozita
γ	1/s	smyková rychlost
σ	MPa	napětí
ε	%	deformace
p	MPa	tlak
Q _{pl}	J	teplo přivedené taveninou
Q _{th}	J	teplo přivedené/odvedené temperačním systémem
Q _u	J	teplo odvedené přirozeným způsobem
Q _l	J	teplo odvedené do upínacích desek
Q _k	J	teplo odvedené prouděním do vzduchu
Q _{str}	J	teplo odvedené sáláním do vzduchu
SLS		Selective laser sintering – slinování laserem
PP		Polypropylen
POM		Polyoxymethylen
R	mm	poloměr ohybu
L	mm	délka ohybové části
s	mm	tloušťka ohybové části
POM-C		Polyoxymethylen kopolymer
ρ	g/cm ³	hustota
ΔL	%	prodloužení
E	MPa	modul v tahu
p _v	MPa	vstřikovací tlak
T _m	°C	teplota taveniny
T _w	°C	teplota formy
T _e	°C	střední vyhazovací teplota
a _{eff}	mm ² /s	měrná teplotní vodivost
p _d	MPa	dotlak
V	mm ³	objem výstřiku
G	g	hmotnost výstřiku
D _k	mm	průměr rozváděcího kanálku
D ₁	mm	průměr pro konkrétní parametry výstřiku
K ₁	-	koeficient tekutosti materiálu
K ₂	-	koeficient délky rozváděcího kanálku
V _k	mm ³	objem rozváděcího kanálku
S ₁	mm ²	plocha hlavního rozváděcího kanálku
S ₂	mm ²	plocha vedlejšího rozváděcího kanálku
L ₁	mm	délka hlavního rozváděcího kanálku
L ₂	mm	délka vedlejšího rozváděcího kanálku
n _p	-	praktická násobnost formy
V _d	mm ³	vstřikovací objem dávky
t _v	s	doba vstřikování
t _k	s	doba chlazení

t_c	s	doba vstřikovacího cyklu
n_t	s	termínovaná násobnost formy
τ_p	hod	požadovaný termín dodání
K	-	faktor využití času
O	ks	objem výroby
C_v	mm ³	minimální vstřikovací kapacita
C_p	mm ³	minimální plastikací kapacita
F_p	kN	minimální přídržovací síla
S_s	mm ²	plocha součásti v dělicí rovině
L_t	mm	výpočtová délka dráhy toku taveniny
m	-	koeficient rovnice dráhy toku taveniny
n	-	exponent rovnice dráhy toku taveniny
f_c	mm	skutečná délka dráhy toku taveniny
p_a	MPa	tvářecí tlak
D_{smin}	mm	minimální průměr šneku
D_{smax}	mm	maximální průměr šneku
D_s	mm	průměr šneku
L_s	mm	dráha pohybu šneku
n_s	1/s	otáčky šneku
v	m/s	maximální obvodová rychlost šneku
v_s	cm ³ /s	vstřikovací rychlost
a	mm	tloušťka žebra
R_{max}	mm	maximální poloměr žebra
F	N	ohybová síla
h	mm	tloušťka ramene
l	mm	délka ramene
H	mm	průhyb
C	-	konstanta pro výpočet průhybu
b	mm	podélný rozměr spoje
K_x	-	součinitel násobnosti n
H	mm	zdvih vyhazovačů
m_d	kg	hmotnost deskových tvarů
m_1	kg	hmotnost izolační desky A
m_2	kg	hmotnost kotevní desky A
m_3	kg	hmotnost opěrné vyhazovací desky
m_4	kg	hmotnost kotevní vyhazovací desky
m_5	kg	hmotnost rozpěrek
m_6	kg	hmotnost tvárníku
m_7	kg	hmotnost tvárnice
m_8	kg	hmotnost kotevní desky B
m_9	kg	hmotnost izolační desky B
m_v	kg	hmotnost válcových tvarů
m_{10}	kg	hmotnost vyhazovací tyče
m_{11}	kg	hmotnost středícího kroužku A
m_{12}	kg	hmotnost středícího kroužku B
m_{13}	kg	hmotnost šroubů
m_{14}	kg	hmotnost vodících elementů
m_{15}	kg	hmotnost vyhazovačů
m_{16}	kg	hmotnost temperančních přepážek

m_o	kg	ostatní díly
m_{17}	kg	hmotnost středících prvků
m_{18}	kg	transportní kvádr
m_c	kg	hmotnost sestavy
N_{pf}	kč	náklady na pořízení formy
N_{pfl}	kč/ks	náklady na poř. formy pro započtení do ceny 1 výstřiku
$N_{gran1POM}$	kg/ks	nákl. na pořízení granulátu potřeb. pro 1 výstřik POM
$N_{gran1PP}$	kg/ks	nákl. na pořízení granulátu potřeb. pro 1 výstřik PP
P_g	kč/kg	cena granulátu
G_{vz}	kg	hmotnost vtokového zbytku
P_r	kč/kg	cena regenerátu
$N_{CgranPOM}$	kč	nákl. na pořízení granulátu pro celou výrobní sérii POM
$N_{CgranPP}$	kč	nákl. na pořízení granulátu pro celou výrobní sérii PP
N_{v1}	kč/ks	výpočet výrobních nákladů na 1 výstřik
N_{ps}	kč/hod	náklady na provoz stroje
N_{pd}	kč/hod	náklady na platy dělníka
N_{cv}	kč	celkové výrobní náklady
N_o	kč	odpisové náklady stroje na 1 měsíc
C_s	kč	cena vstřikovacího stroje
n_o		odpisová doba
$t_{výr}$	h	doba výroby celkové série
K_z	-	faktor zmetkovitosti
K'	-	faktor využití času
t_{vm}		přepočet doby výroby na měsíce
n_{dm}		počet pracovních dnů v měsíci
n_{hd}		počet hodin pracovního dne
N_{ov}	kč	odpisové náklady na vstřikovací stroj
N_{ov1}	kč	odp. náklady na stroj do započtení ceny do 1 výstřiku
N_c	kč	celkové náklady pro celý výrobní proces výroby

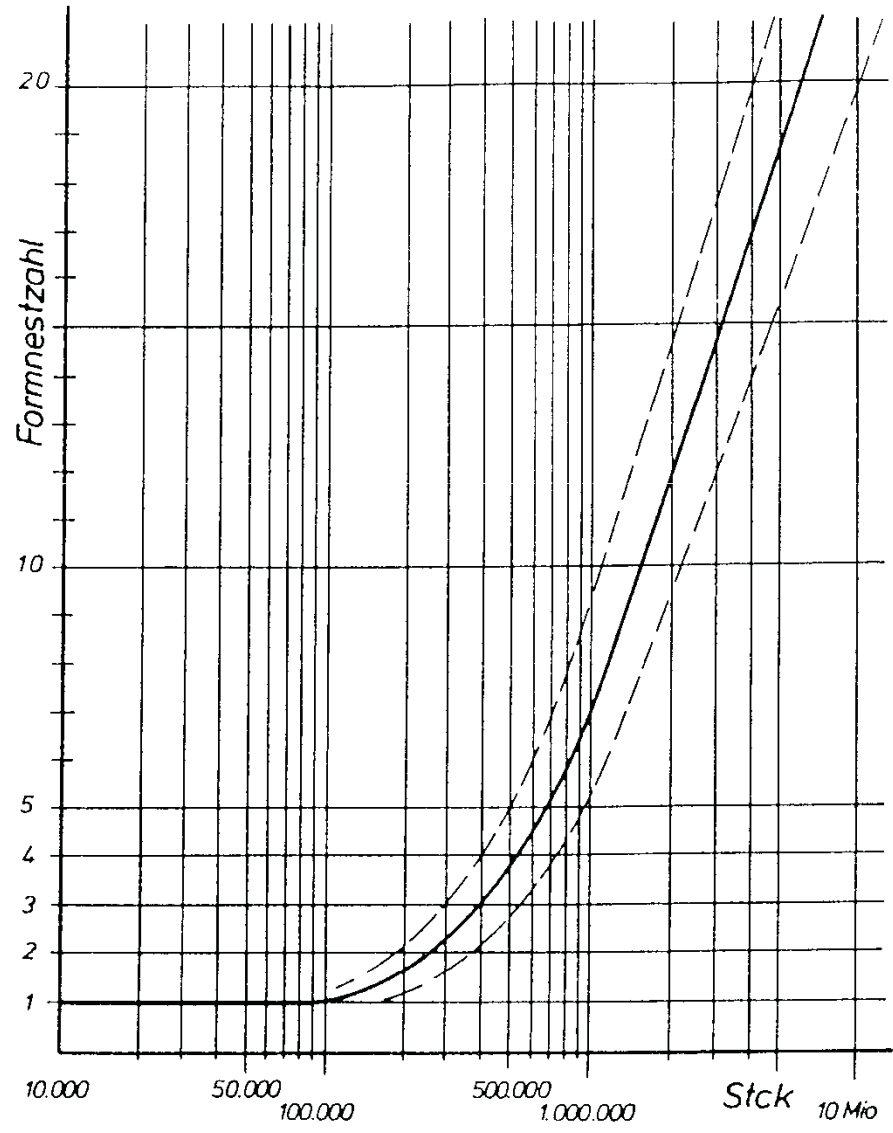
SEZNAM VÝKRESŮ

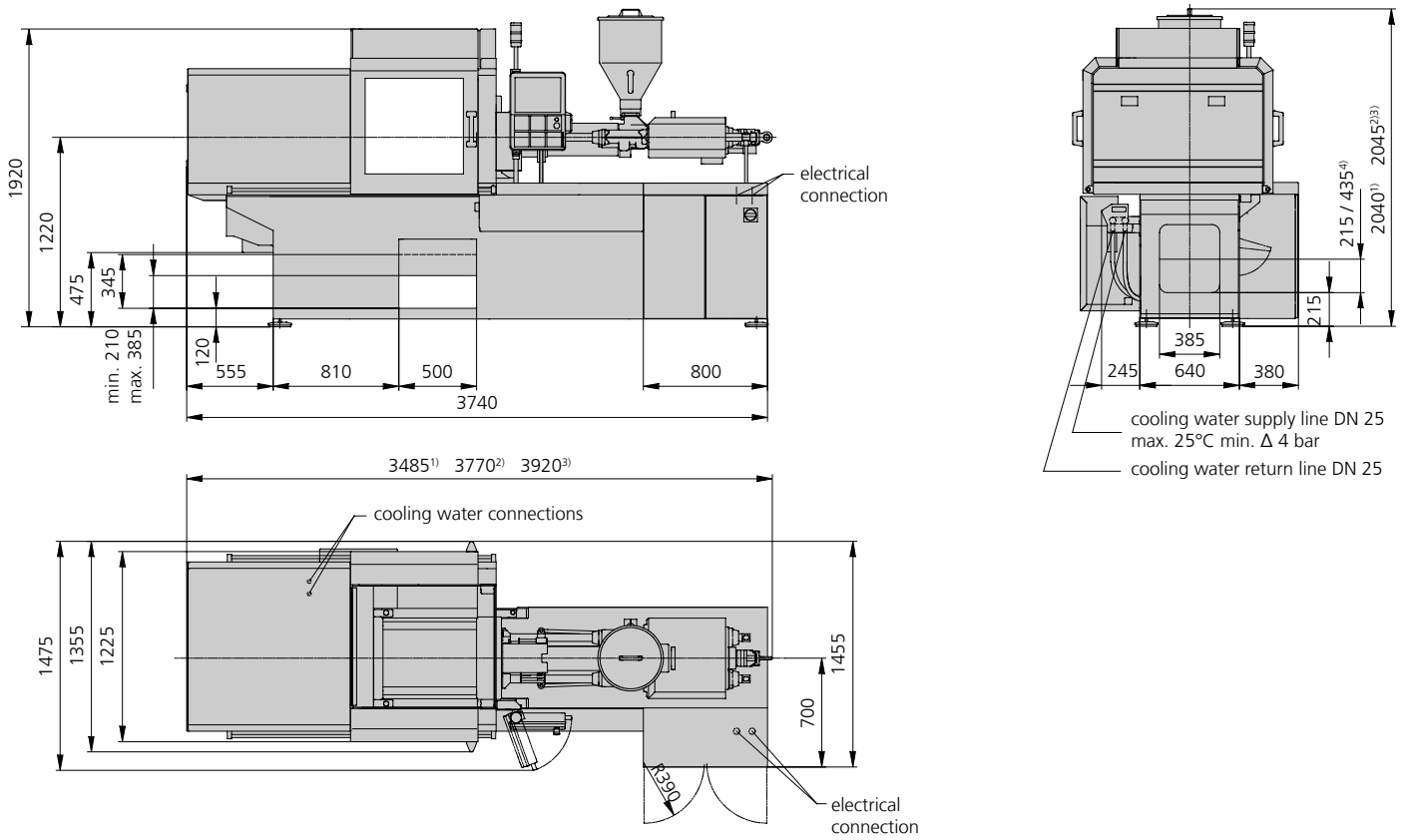
09052011-A4	Plastová pružná spona
DIP-2011/000	Vstřikovací forma
DIP-2011/001	Tvárnice
DIP-2011/002	Tvárník

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1	Určení praktické násobnosti formy
Příloha č.2	Parametry lisu Arburg 370S
Příloha č.3	Objednávka z online katalogu Meusburger
Příloha č.4	Rozpadová prezentace formy

Příloha č.1





- 1) Dimension applies to injection unit 100
- 2) Dimension applies to injection unit 170
- 3) Dimension applies to injection unit 290
- 4) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model		370 S	370 S	370 S
EUROMAP size indication ¹⁾		500-100 600-100 700-100	500-170 600-170 700-170	600-290 700-290
Clamping unit				
Clamping force	max. kN	500 600 700	500 600 700	600 700
Closing force	max. kN	38	38	38
Opening force / increased	max. kN	24 / 160	24 / 160	24 / 160
Opening stroke	max. mm	400	400	400
Mould height	min. mm	200	200	200
Daylight	max. mm	600	600	600
Distance between tie bars	mm	370 x 370	370 x 370	370 x 370
Platen size (hor. x vert.)	mm	510 x 510	510 x 510	510 x 510
Weight of mov. mould half	max. kg	360	360	360
Ejector force	max. kN	30	30	30
Ejector stroke	max. mm	125	125	125
Hydraulics, drive, general				
Drive power of the hydraulic pump	kW	11 11 15	11 15 15	15 15
Dry cycle time for opening stroke ⁴⁾	s-mm	2,1 (1,2)-259 2,0 (1,2)-259 1,4 (1,3)-259	2,1 (1,2)-259 1,9 (1,2)-259 1,4 (1,3)-259	1,9 (1,2)-259 1,4 (1,3)-259
Total connected load ²⁾	kW	18,4 18,4 22,4	22,9 26,9 26,9	23,9 23,9
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow				
Control cabinet				
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit				
		100	170	290
Screw diameter	mm	20 / 25 / 30	25 / 30 / 35	30 / 35 / 40
Effective screw length	L/D	25 / 20 / 16,7	24 / 20 / 17	23,3 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	100	120	150
Calculated injection volume	max. cm ³	31 / 49 / 71	59 / 85 / 115	106 / 144 / 188
Shot weight	max. g PS	29 / 45 / 65	54 / 77 / 105	97 / 132 / 172
Material throughput ⁵⁾	max. kg/h PS	5,5 / 8 / 9,5	10 / 13,5 / 16	17 / 20,5 / 24,5
	max. kg/h PA 6.6	2,8 / 4 / 4,9	5 / 7 / 8	8,5 / 10,5 / 12,5
Injection pressure ³⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1390	2500 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530
Injection flow ³⁾	max. cm ³ /s	64 / 100 / 146 90 / 142 / 204	66 / 96 / 132 94 / 136 / 186	102 / 140 / 182
		90 / 142 / 204	94 / 136 / 186	
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	172 / 268 / 388	216 / 312 / 424	316 / 430 / 562
Back pressure positive/negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	28 / 35 / 42 39 / 49 / 59 39 / 49 / 59	35 / 42 / 49 49 / 59 / 69 49 / 59 / 69	46 / 54 / 62
Screw torque	max. Nm	120 / 150 / 180	210 / 250 / 290	320 / 380 / 430
Nozzle contact force	max. kN	50	50	60
Nozzle retraction stroke	max. mm	180	210	240
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	4,3 / 4	8,8 / 4	5,8 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6	0,6
Material hopper capacity	l	50	50	50
Horizontal injection position	max. mm	125	125	125
Machine dimensions and weights of the basic machine				
Oil capacity	l	135	135	135
Net weight	approx. kg	3200	3250	3300
Electrical connection ²⁾	A	63	63 80 80	80

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

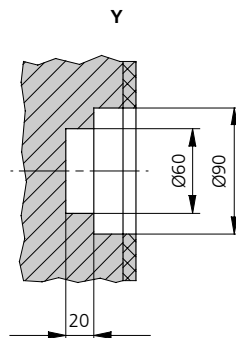
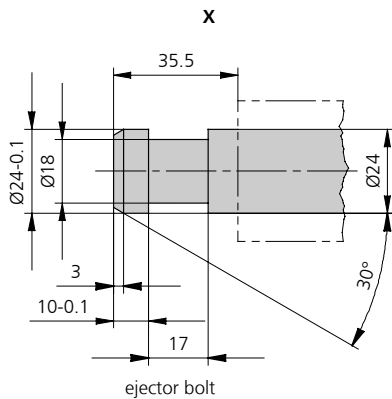
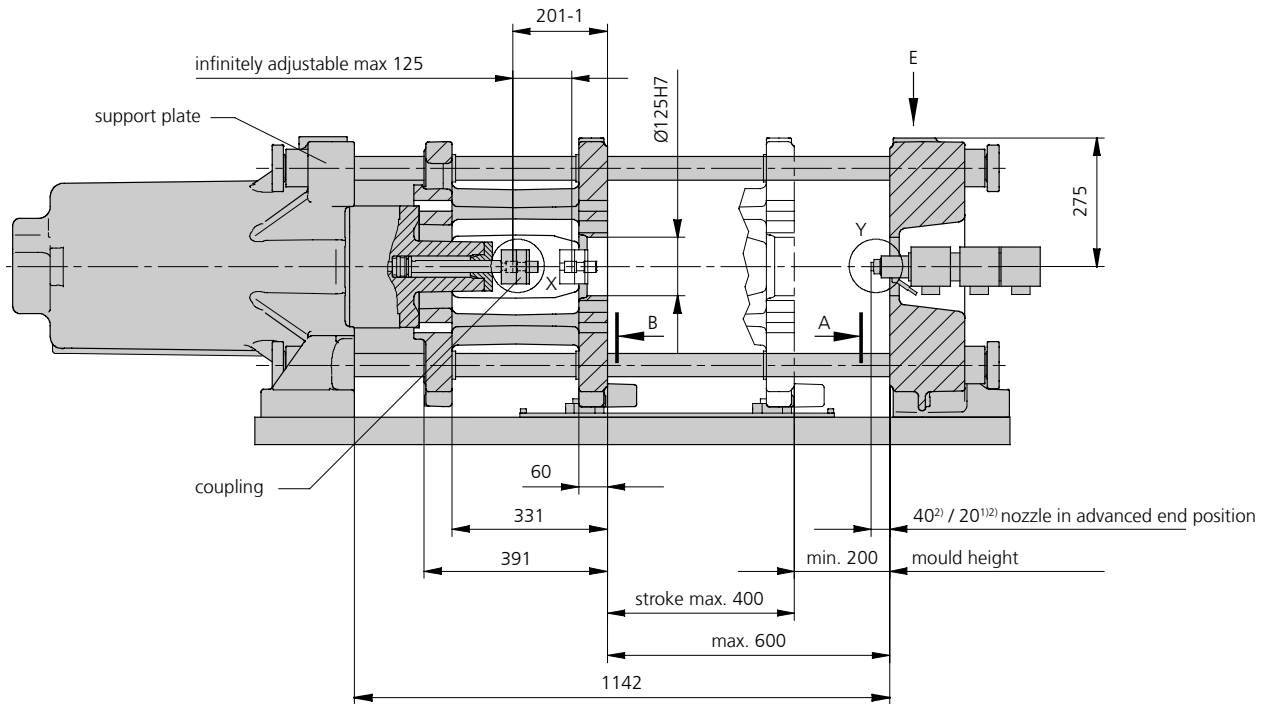
2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases (observe phase loading when installing new equipment).

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

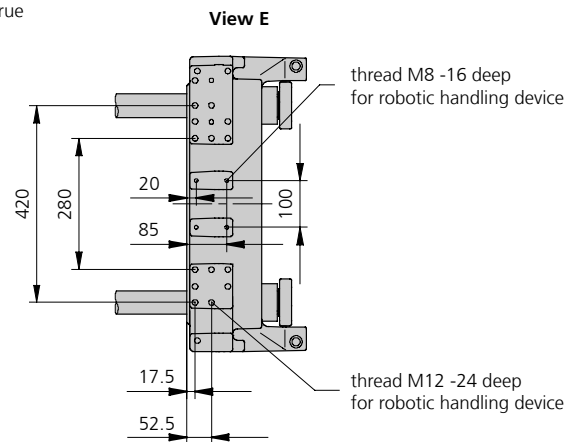
4) According to EUROMAP for the basic machine (values in brackets apply to hydraulic accumulator technology)

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

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

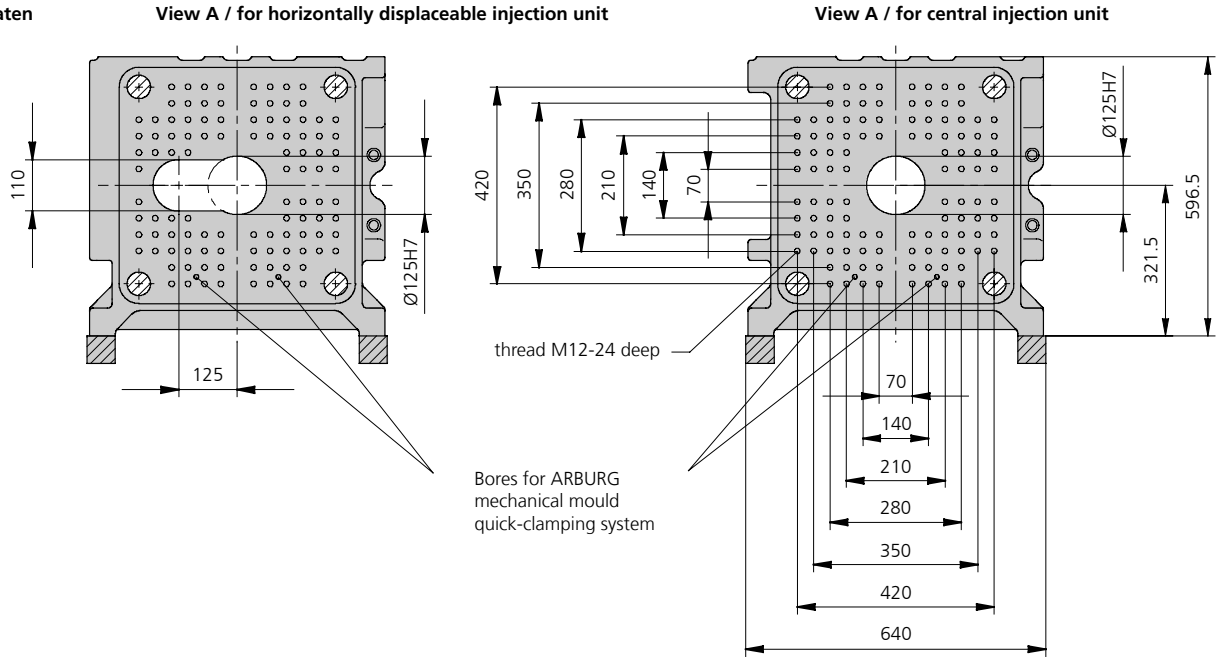


counter bore in the mould required only for short sprue

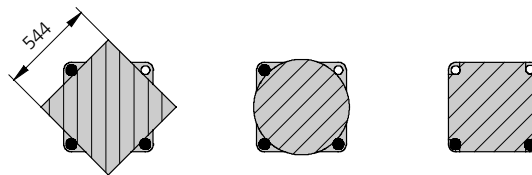
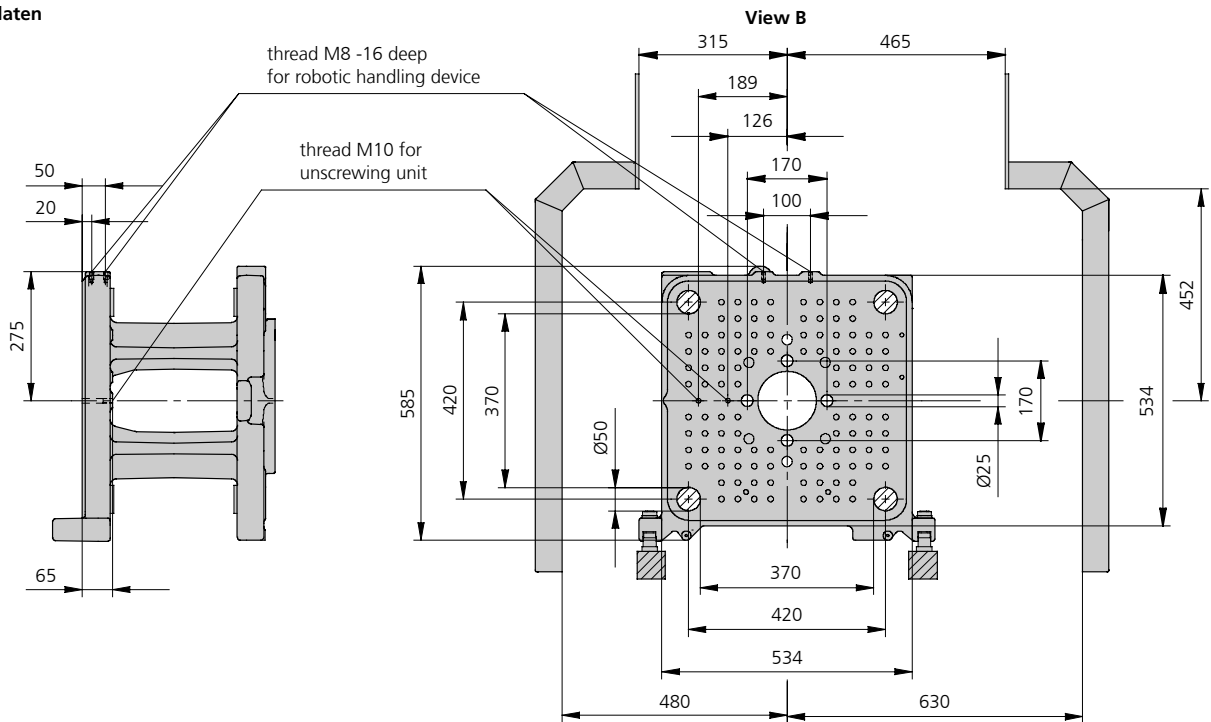


1) Dimensions are valid for thermoset moulds
 2) Dimensions for horizontally displaceable injection unit reduced by 20 mm
 For parting line device see separate dimension sheet (on request)

Fixed platen



Movable platen



Usable mounting surface with tie bars removed



-
-
-
CZ-- -
Mikulanka Martin
2004

Meusburger Georg GmbH Co KG

Rámy forem
A-6960 Wolfurt, Kesselstr. 42
T 0043 (0) 5574 / 6706 - 0
F 0043 (0) 5574 / 6706 - 11
sales@meusburger.com
www.meusburger.com

Objednávka 1

Datum 27.4.2011

List 1/1

Pozice	Označení	Název	ks	CZK/1	Hodnota v CZK
01	F 010 /346 446/ 36/1730	Upínací deska	1	5859,00	5859,00
02	F 050 /346 446/ 36/1730	Tvarová deska	1	5473,00	5473,00
03	F 050 /346 446/ 36/1730	Tvarová deska	1	5473,00	5473,00
04	F 070 /346 446/ 62 / 66/1730	Lišta	2	2459,00	4918,00
05	F 090 /346 446/ 318 /1730	Vyhazovací paket	1	5931,00	5931,00
06	F 010 /346 446/ 36/1730	Upínací deska	1	5859,00	5859,00
07	E 1000/30- 36/ 55	Vodící sloupek	1	388,20	388,20
08	E 1000/32- 36/ 55	Vodící sloupek	3	388,20	1164,60
09	E 1105/30- 36	Vodící pouzdro	1	978,90	978,90
10	E 1105/32- 36	Vodící pouzdro	3	978,90	2936,70
11	E 1160/42 x 60	Centrovací pouzdro	4	219,40	877,60
12	E 1200/16 x 40	Imbusový šroub	4	21,70	86,80
13	E 1200/16 x 110	Imbusový šroub	4	50,60	202,40
14	E 1400/396 446/8/90	Izolační deska	2	2326,60	4653,20
15	E 1725/3,8/0,8x250	Plochý vyhazovač	4	Poptávka	Poptávka
16	E 1710/2x80	Vyhazovač	30	Poptávka	Poptávka
17	E 1270/10	Závisné oko	1	36,20	36,20
18	E 1325/18x100/45	Jednotka kuličkového	4	1301,90	5207,60
19	E 2075/8/10	Uzavírací šroub	12	14,50	174,00
20	E 1308/40	Koncové středění	4	3688,80	14755,20
21	E 1600/12 x 66/3	Vtoková tryska	1	863,10	863,10
22	E 2000/ 9/10	Přípojka	6	16,90	101,40
23	E 2078/ 8	Záslepka	1	43,40	43,40
24	E 2100/ 10/200	Přepážka se závitem	2	123,00	246,00
25	E 1220/ 6 x 12	Šroub se zápusťnou hlavou	15	4,80	72,00
Celková částka bez DPH					66300,30

Příloha č.4

