



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRCH TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉHO KRYTU VRTAČKY

DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR THE PLASTIC COVER OF A DRILL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN HOVAD

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Jan Hovad

který/která studuje v **magisterském 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:

### **Návrh technologie výroby plastového krytu vrtačky**

v anglickém jazyce:

### **Design of manufacturing technology for the plastic cover of a drill**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešení 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 plastový kryt vrtačky podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

- ŠTEPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN 678.5(075.8)
- SOVA, Miloš a Josef KREBS. 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 and Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 2nd ed. München. Wien: Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandung

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11 2013

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Hovad Jan: Návrh technologie výroby plastového krytu vrtačky

---

V práci je zpracována literární studie na téma plastů a vstřikování plastů včetně nástrojů pro vstřikování. Následuje praktická část návrhu výroby plastového krytu vrtačky. V rámci návrhu výroby jsou vypočteny výrobní parametry, navržena konstrukce vstřikovací formy, zvolen vstřikovací stroj a technicko ekonomické hodnocení.

Klíčová slova: plasty, vstřikování, forma

## **ABSTRACT**

Hovad Jan: Design of manufacturing technology for the plastic cover of a drill

---

This thesis contains literary studies about plastics and injection of plastics including tools for the injection. Practical part of the thesis is focused on design manufacturing of plastic cover of drill. Manufacturing parameters, design construction of injection form, selected injection machine and technical economic evaluation are solved within the manufacturing proposal.

Keywords: plastics, injection, mold

### **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HOVAD, J. *Návrh technologie výroby plastového krytu vrtačky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

## **ČESTNÉ 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 Brně dne 24.5 2014

---

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Bohumilu Kandusovi za věcné připomínky, pročitání textu a čas strávený nad vznikající prací. Dále pak Ing. Janu Svobodovi staršímu a Ing. Janu Svobodovi mladšímu z firmy Svoboda s.r.o. za poskytnuté podklady a konzultace.

# Obsah

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1. ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU</b> .....	10
1.1 Výrobní možnosti .....	10
<b>2. MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	13
2.1 Stavba polymerů .....	13
2.2 Rozdělení polymerů .....	14
2.3 Přísady do polymerů .....	16
2.3.1 Plniva .....	17
2.4 Tranzitní teploty polymerů .....	19
2.5 Reologie tavenin termoplastů .....	20
2.6 Mechanické vlastnosti polymerů .....	20
2.7 Tepelné vlastnosti plastů .....	22
2.8 Další vlastnosti polymerů .....	23
2.9 Závěry pro volbu vhodného materiálu .....	23
<b>3. TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	24
3.1 Průběh vstřikovacího cyklu .....	24
3.2 Fáze ovlivňující vlastnosti výstřiku .....	25
3.3 Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu .....	28
3.4 Rozměrové změny výstřiku z termoplastů .....	29
3.5 Orientace .....	30
3.6 Smrštění .....	31
<b>4. VSTŘIKOVACÍ STROJE</b> .....	32
<b>5. FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	34
5.1 Návrh konstrukce formy .....	34
5.2 Vtokový systém .....	35
5.3 Temperační systém .....	37
5.4 Vyhazovací systém .....	39
5.5 Odvzdušnění .....	40
<b>6. KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY</b> .....	41
6.1 Volba materiálu výstřiku .....	41
6.2 Technologičnost tvaru výstřiku .....	43
6.3 Výpočet výrobních parametrů .....	45
6.4 Průhyb desek .....	49
6.5 Návrh sestavy .....	50
6.6 Materiál formy .....	50
6.7 Horká vtoková soustava .....	51
6.8 Temperační systém formy .....	52
6.9 Boční jádra .....	54
6.10 Vyhazovací systém .....	57
6.11 Odvzdušnění .....	57
6.12 Další konstrukční prvky .....	58
6.13 Volba vstřikovacího stroje .....	60

<b>7. TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ</b> .....	61
7.1 Náklady na materiál výstřiků.....	61
7.2 Náklady na stroj a obsluhu .....	61
7.3 Výpočet nákladů na výrobu formy .....	62
7.4 Celkové náklady .....	63
7.5 Kontrola výhodnosti horkého vtokového systému.....	64
<b>8. ZÁVĚRY</b> .....	65

**Seznam použité literatury**

**Seznam použitých symbolů a zkratek**

**Seznam příloh**

**Seznam výkresů**

## ÚVOD [22][33][51]

Historie zpracování plastů sahá hluboko do dob středověku a pravděpodobně i dále. V dobách minulých se jednalo především o zpracování makromolekulárních přírodních látek, jako je například rohovina. Dnešní podoba technologie zpracování plastů se začala formovat okolo roku 1870, kdy byl poprvé v USA patentován stroj pro vstřikování i se vstřikovaným materiálem, z kterého později vznikl celuloid.

Technologie vstřikování plastů zaznamenala prudký vývoj až půl století poté a to v 30. letech 20. století, kdy byl poprvé na trh uveden sériově vyráběný pístový vstřikovací stroj. Následoval až bouřlivý vývoj technologie vstřikování, který přinesl dnes již samozřejmé věci jako vyhřívaný plastikační válec, hydraulický uzavírací systém forem, časové ovladače pro řízení procesu vstřikování, konstrukci formy z typizovaných dílů a mnoho dalších vylepšení. Všeobecně lze říci, že se pokrok zaměřil na maximalizaci homogenity vstřikovaného materiálu, zjednodušení výroby forem, automatizaci vstřikovacího cyklu a zvýšení přesnosti výstřiku. Velký zájem o technologii vstřikování je dán tím, že umožňuje výrobu přesných a tvarově komplikovaných dílců a to ve velkých sériích. Nesporným přínosem jsou také klady plastů jako konstrukčních materiálů, které přináší úsporu hmotnosti, odolnost proti korozi, chemickou stálost, elektrickou nevodivost, malou tepelnou vodivost, jednoduchost složení a struktury až po dobrou zpracovatelnost při relativně malé energetické náročnosti. Pro tyto vlastnosti si dnes plasty našly uplatnění v mnoha oblastech (viz obr.1), kde vytlačily především kovy, sklo a papír. Vlastnosti plastů ve spojitosti s technologií vstřikování předurčují takto vyrobené dílce k použití ve strojních aplikacích. Velice rozšířené jsou v automobilovém průmyslu, kde byly například první plastové dílce použity značkou Ford Motor Co. již v roce 1930, dále pak v leteckém průmyslu, elektrotechnice, výpočetní a sdělovací technice, oblasti spotřebního zboží atd.

Do budoucna lze očekávat především pokrok ve vlastnostech plastů, který pravděpodobně povede k dalšímu nahrazení kovů, neboť již dnes jsou plasty schopny v méně silově a tepelně exponovaných konstrukčních řešeních kovy nahradit.

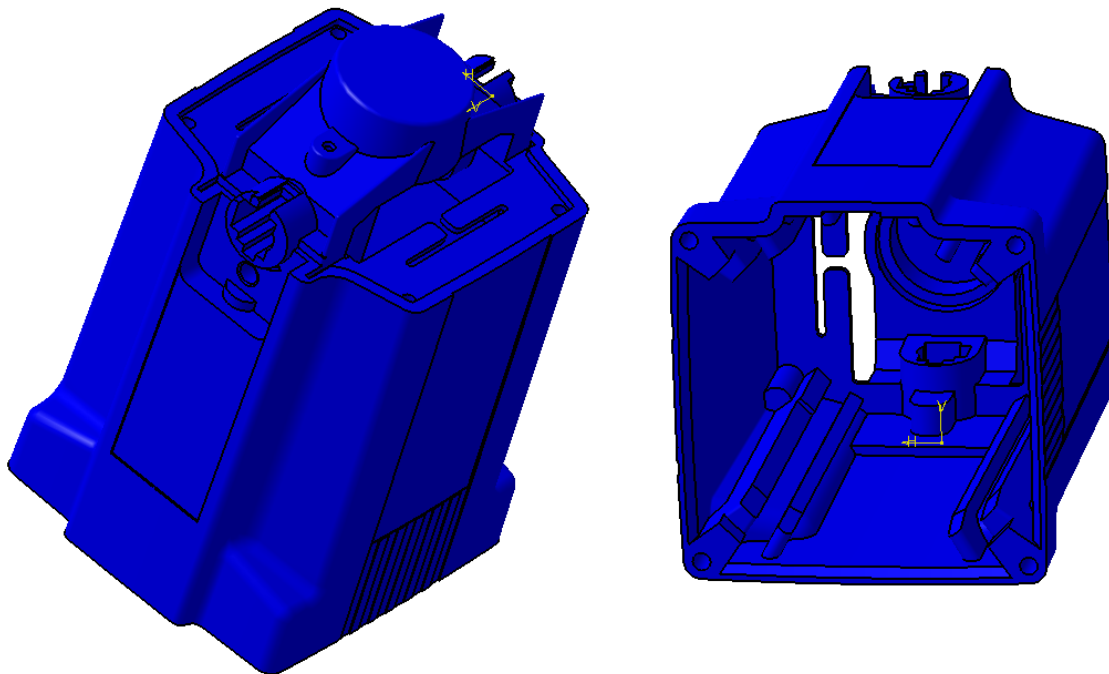


*Obr.1 Možnosti využití plastů [33]*

## 1. ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU

Řešenou součástí je plastový kryt vrtačky. Díl bude sloužit nejen jako kryt, ale také jako držák bloku statorových plechů elektromotoru, které do něho budou zasunuty. Dílec se bude vyrábět v sérii 300 000 kusů. Materiál dílu není definován. Bude zde tedy nejprve řešena otázka volby vhodného plastu pro danou součást. Následně výpočet technologických parametrů, konstrukce formy a technicko-ekonomického zhodnocení.

Vzhledem k předpokládanému vyššímu mechanickému a tepelnému zatížení by měl být kryt dostatečně pevný a odolný proti zvýšené teplotě. Geometrie krytu je již dána a tak tyto požadavky musí být splněny pomocí vhodné volby plastu.



Obr.2 3D model krytu vrtačky.

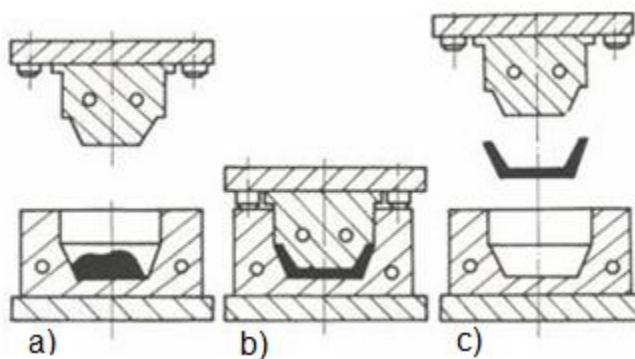
### 1.1 Výrobní možnosti [31][32][33][38]

Zadaná součást je plastová a se značně komplikovaným tvarem. To vymezuje technologie zpracování plastů na technologie tvářecí, protože tvarovací a doplňkové zcela nepřipadají v úvahu. Výroba dílce tvářecími technologiemi pro zpracování plastů probíhá za současného působení tlaku a teploty. Zvýšený tlak a teplota vedou k zásadním změnám tvaru tvářeného materiálu. Mezi tvářecí technologie se řadí lisování, přetlačování a vstřikování plastů.

#### ➤ Lisování plastů

Lisování reaktoplastů je jednou z prvotních technologií pro zpracování plastů a probíhá ve vytápěné ocelové formě. Schematicky jsou jednotlivé kroky technologie znázorněny na obr.2 a samotný proces tváření je následující.

a) Do tvárnice formy je vložen tvářený materiál, který je v podobě tablety,



Obr. 3 Obr.2 Lisování reaktoplastů.[31]

prášků či kašovitě hmoty.

**b)** Následně dojde k uzavření formy. Za působení tlaku a tepla probíhá tvarování a vytvrzení. Vytvrzování je proces, při kterém dochází k zesílení reaktoplastu a je značně časově náročný. Při procesu vytvrzování je nutné dutinu formy odplynit.

**c)** Když je dílec vytvrzen může dojít k odformování a očištění dutiny formy stlačeným vzduchem a natření separačním prostředkem.

Nejdůležitější parametry metody jsou lisovací tlak, teplota formy a doba vytvrzování, které se volí s ohledem na zpracovávaný typ reaktoplastu, tloušťku stěny, geometrii výrobku a kvalitu povrchu.

Tato technologie skýtá několik negativ, kde ta nejpodstatnější lze shrnout následujícím seznamem.

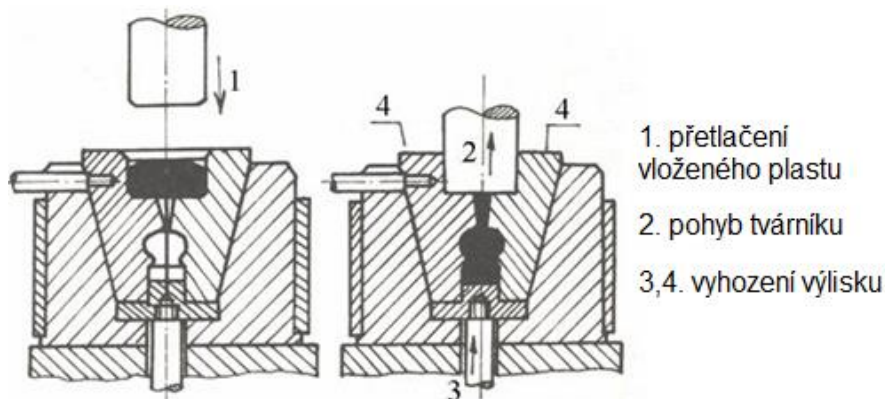
Negativa:

- nutnost plnění formy větším objemem materiálu než má konečný dílec o 5-50%
- dlouhá doba vytvrzování reaktoplastu
- nutnost odstranění přetoků z hotového dílce
- špatná homogenizace tvářené hmoty
- nutnost čištění tvarové dutiny po odformování
- aplikace separačních prostředků na dutinu formy
- pro tvarově jednodušší díly

Zadaný dílec by byl touto technologií vyrobitelný, ale za předpokladu zásadního zjednodušení jeho tvaru.

### ➤ Přetlačování plastů

Jedná se také o technologii pro zpracování především reaktoplastů. Od lisování se liší tím, že tvářený materiál se nekládá přímo do dutiny formy, ale je přetlačen z pomocné dutiny, jak je znázorněno na obr.3. Vzhledem k tomu, že materiál musí projít vtokovým kanálem, který spojuje pomocnou a tvarovou dutinu, dochází k jeho lepší homogenizaci než u lisování. Další výhodou je možnost tváření tvarově komplikovanějších dílců, ale na úkor složitější konstrukce formy. Ačkoliv zde nedochází k přetokům, je nutné dávku materiálu navýšit o materiál, který zůstane ve vtokovém systému a pomocné dutině. Dalším negativem je delší pracovní cyklus než u lisování, což je zapříčiněno více operacemi, i když doba vytvrzování je kratší.



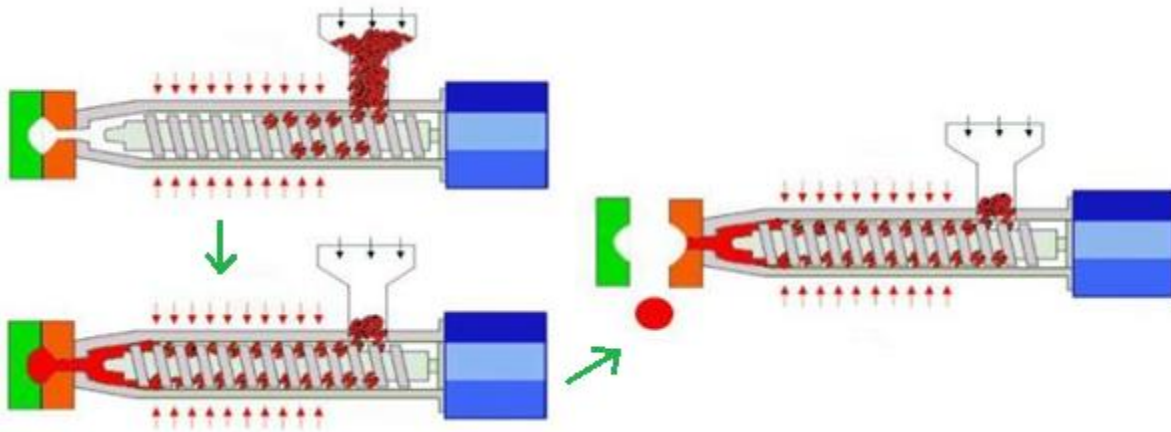
Obr.3 Přetlačování reaktoplastů. [31]

Mezi zásadní negativa této metody lze řadit:

- dlouhý pracovní cyklus
- komplikovaná konstrukce formy
- nutnost speciálního lisu pro zajištění pohybu tvárníku a vyhazovače
- nevyužité materiálové přebytky ve vtokovém systému a pomocné dutině
- nutnost odstranění přebytku z vtokového systému

#### ➤ Vstřikování plastů

Tato technologie se od předcházejících liší tím, že se využívá především pro zpracování termoplastů. Při samotném vstřikování dochází k rychlému plnění dutiny formy taveninou, která vznikla v plastikačním válci. Proces vstřikování je znázorněn na obr. 4. Jak je zřejmé, nejprve dochází k uzavření formy a vstříknutí taveniny. Během tuhnutí výstřiku dochází k plastikaci další dávky taveniny, která je vstříknuta po odformování a opětovném uzavření formy.



Obr.4 Vstřikování plastů.[38]

Technologie vstřikování sebou přináší mnoho zlepšení vůči lisování a přetlačování. Jedná se především o zkrácení výrobního cyklu, zlepšení homogenity taveniny, nejsou nutné dodatečné operace, snižuje se prašnost. Dále mají výstřiky velice dobrou rozměrovou přesnost a lze vyrábět dílce s komplikovanou geometrií. V neposlední řadě je přínosem minimalizace odpadu, který je u forem s horkým vtokovým systémem prakticky nulový. Díky těmto kladům se jedná o nejrozšířenější technologii pro zpracování plastů.

#### ➤ Volba technologie

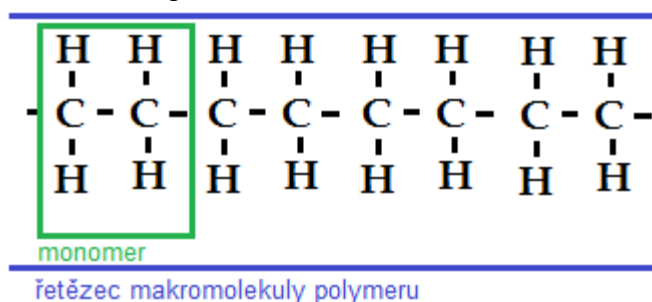
Zadaný dílec má složitější geometrii, což vymezuje volbu technologie dle výše uvedeného stručného přehledu na přetlačování či vstřikování. Vzhledem k zásadním výhodám vstřikování jako je kratší výrobní cyklus, přesné výstřiky s dobrou opakovatelností mechanických a fyzikálních vlastností, absence dodatečných operací, lepší homogenita taveniny atd., se v této fázi řešení jeví jako optimální volbou technologie právě vstřikování.

## 2. MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ [7][11][30]

Materiál výstřiku je všeobecně označován jako plast. Plasty určené pro vstřikování se skládají z polymerního materiálu a aditiv, která jsou nutná proto, aby byl polymerní materiál dobře zpracovatelný a cílový výstřik měl požadované vlastnosti (např. barva, tvrdost, tažnost, odolnost proti hoření atd.). Aditiv je tedy několik typů. Jak jejich název napovídá, jsou přídatnou látkou, neboli přísadou, nikoliv základem vstřikovaného materiálu a proto zde budou nejprve uvedeny informace o polymerech.

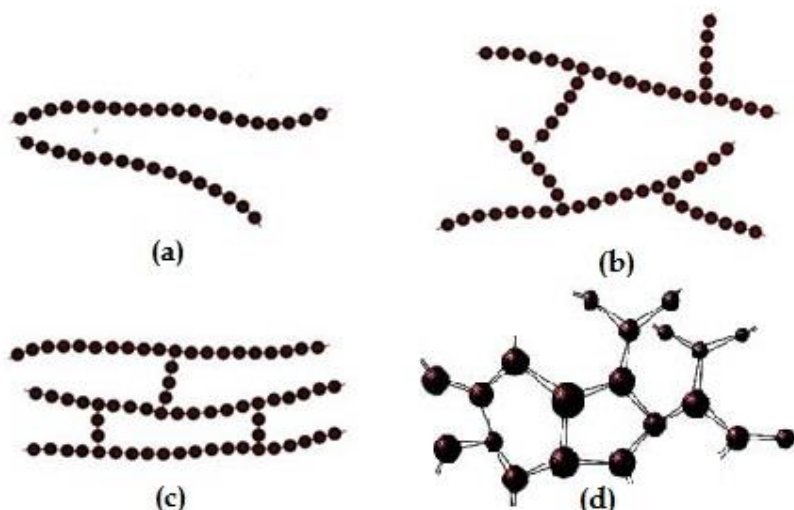
### 2.1 Stavba polymerů [7][11][20][30][51]

Syntetické polymery jsou tvořeny makromolekulami. Makromolekuly homopolymeru se skládají ze stále se opakující základní jednotky, která se nazývá monomer. Pokud dochází ke spojování více druhů monomerů, tak vznikají kopolymery a v jejich řetězcích se mohou různé monomery střídát pravidelně či nepravidelně.



Obr.5 Příklad řetězce polyethylenu. [11]

Počet míst, která jsou schopna u monomeru vytvářet kovalentní chemickou vazbu, určuje stavbu řetězců makromolekuly polymeru. Lineární řetězce obsahují monomery, které mohou vytvářet kovalentní vazbu pouze ve dvou místech a jsou znázorněny na obr.6 (a). Při větším počtu míst vznikají rozvětvené řetězce (b), se zkříženými články (zesítněné) (c) a prostorově zesítněné (d).



Obr.6 Lineární, rozvětvené, se zkříženými články a zesíťované polymery.[20]

Z výše uvedeného je zřejmé, že chemické složení monomeru ovlivňuje způsob navázání řetězců makromolekul, což určuje fyzikálně chemické vlastnosti polymeru. Dále jsou vlastnosti určeny délkou řetězců makromolekul, kterou definuje počet monomerů v řetězci a tento počet popisuje polymerizační stupeň. Délka řetězců není u všech makromolekul stejná,

a proto se určuje pomocí středního polymerizačního stupně. Vzhledem k faktu, že hodnota středního polymerizačního stupně nic nevyovídá o variabilitě délky řetězců, tak se pro přesnější určení polymerizačního stupně používá empirická diskrétní distribuční funkce.

## 2.2 Rozdělení polymerů [11],[19],[20],[23],[30], [31],[32]

Polymery jsou materiály, které vykazují velice širokou škálu vlastností. Tím pádem existuje více kritérií, podle kterých je lze dělit. Lze je dělit dle výše uvedeného na základě stavby makromolekulárních řetězců. Tedy na lineární, rozvětvené a zesítěné. Dalším již uvedeným rozdělením může být dle počtu druhů monomerů. Pokud se vyskytuje v makromolekulárních řetězcích pouze jeden druh monomeru, jedná se o homopolymery. Pokud je zde více druhů monomerů jedná se o kopolymery. Dalšími hledisky, dle kterých lze polymer dělit, mohou například být:

- Podle tepelného chování
- Podle makromolekulární struktury
- Podle typu chemické reakce, kterou vznikají
- Podle původu

### ➤ Rozdělení dle tepelného chování polymeru

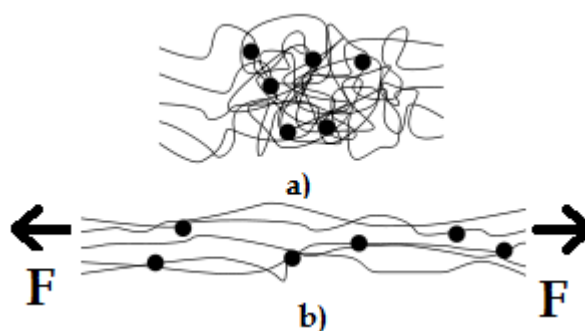
Pro technickou praxi se jedná o nejrozšířenější rozdělení polymerů, neboť tepelné chování polymeru udává možnosti jejich zpracování a použití. Polymery vykazují velmi širokou škálu vlastností od velice pružných elastomerů až po některé tvrdé a křehké plasty.



Obr.7 Rozdělení polymerů. [30]

### • Elastomery

Z obr.7 je zřejmé, že jednu skupinu polymerů tvoří elastomery z nichž nejdominantnější skupinou jsou kaučuky. Elastomery jsou velice pružné a tvárné polymery, které lze deformovat malou silou. Vykazují také velice vysokou tažnost, která se může pohybovat v intervalu 5 až 700%. Velkých deformací a následného odpružení jsou elastomery schopny díky příčným kovalentním vazbám polymerních řetězců, které se v průběhu i velkých deformací neporuší. Tento princip je znázorněn na obr.8.



Obr.8 Znáornění zatížení elastomeru. [49]

Na obr.8 je v prvním případě a) znázorněn nezatížený elastomer. V druhém případě b) již došlo k zatížení a rozpletení řetězců, nikoliv pak k porušení příčných kovalentních vazeb, které jsou znázorněny černými tečkami. Díky neporušeným spojům může elastomer po odtížení odpružit do původní polohy.

- **Termoplasty a reaktoplasty**

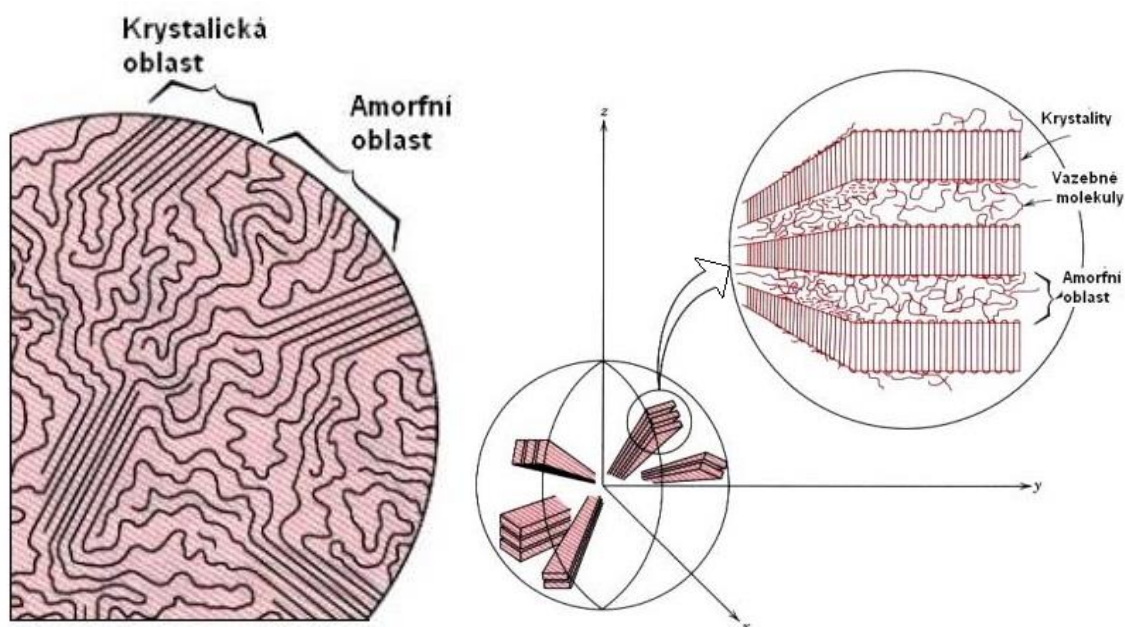
Další skupinou polymerů jsou plasty, kam se řadí termoplasty a reaktoplasty. Za běžných podmínek jsou tvrdé a mohou být až křehké, čímž se zásadně liší od elastomerů. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými a lze je tvarovat. Pokud lze proces ohřátí a tvarování plasty provádět opakovaně, tak tyto polymery jsou nazývány termoplasty. Proces lze opakovat, neboť termoplasty přechází do kapalného stavu tavením a nikoliv chemickou reakcí, jako je tomu u reaktoplastů. V případě zpracování reaktoplastů dochází k chemické reakci za zvýšené teploty a tlaku. Chemická reakce je nevratná, jedná se o nevratný proces. U reaktoplastů se lze také často setkat s označením termosety či pryskyřice.

U vstřikování plastů musí být dávka taveniny připravena v platikačním válci po určité době, takže pro tuto technologii jsou vhodné především termoplasty.

- **Rozdělení dle nadmolekulární struktury**

Zde se rozlišují dvě základní skupiny, kterými jsou polymery amorfní a semikrystalické. Neexistuje zde skupina krystalických polymerů, neboť žádný polymer není zcela krystalický. Proto byl zaveden název semikrystalické polymery neboli částečně krystalické polymery.

Částečné krystalizace jsou schopny především polymery lineární nebo málo větvené. Jak je znázorněno na obr.9, je semikrystalická struktura tvořena tak, že zde jsou krystalické části, kde má polymer uspořádanou strukturu a mezi nimi je polymer amorfní, tedy s neuspořádanou strukturou. Krystalické části jsou uspořádány do lamel ve formě destiček o tloušťce přibližně 10nm až 20nm a délce a šířce v jednotkách mikrometrů. Při tuhnutí polymeru krystalické části vyrůstají dendritickým způsobem a tím vytvářejí sférolit, který je znázorněn na obr. 9.



Obr.9 Semikrystalický polymer a sférolit.[20]

Semikrystalické polymery se od amorfních liší nejen strukturou uspořádání makromolekul, ale také vlastnostmi, které z tohoto faktu plynou. Pokud je polymer uspořádán do krystalické tedy pravidelné struktury, jsou zde menší vzdálenosti mezi jednotlivými řetězci což ovlivňuje růst vazebných sil mezi těmito řetězci, takže semikrystalické polymery mají vyšší mechanické vlastnosti a tyto vlastnosti jsou na teplotě méně závislé. Dále částečná krystalizace ovlivňuje

velikost smrštění polymeru. Ve formě taveniny jsou všechny polymery amorfni. Při krystalizaci se vzdálenosti mezi makromolekulárními řetězci zmenšující více u polymerů semikrystalických, což vede k většímu smrštění.

➤ **Rozdělení polymerů dle typu chemické reakce, kterou vznikají.**

Existují tři chemické reakce, kterými může polymer vzniknout. Dle toho dělíme tyto polymery do následujících skupin:

- a) Polymery připravené polymerací
- b) Polymery připravené polykondenzací
- c) Polymery připravené polyadící

a) Polymerace je chemická reakce, při které vznikají z monomerů dlouhé řetězce makromolekul. Řetězce narůstají ve velice krátké době, což má za následek, že v polymeru vedle sebe existují řetězce konečné délky i nezreagované monomery. Tato reakce je také charakteristická tím, že při ní nevzniká žádný vedlejší produkt. Touto reakcí vznikají polymery jako např.: PE, PP, PS či PVC.

b) Polykondenzace je pomalejší reakce než polymerace a liší se také tím, že při ní vzniká vedlejší produkt, jako je například voda, metanol či amoniak. Při této reakci spolu reagují dva různé či stejné monomery. Touto cestou vznikají plasty, jako polyamidy či polyestery.

c) Polyadice je chemická reakce, při které se neuvolňuje žádný vedlejší produkt, ačkoliv probíhá podobně jako polykondenzace. Příkladem produktů polyadice mohou být epoxidy nebo polyuretany pro výrobu molitanů či umělých kůží.

➤ **Rozdělení polymerů podle původu**

Rozlišují se zde dvě skupiny. Polymery přírodní a syntetické. Přírodní polymery jsou dále děleny na původní a modifikované neboli chemicky upravené. Mezi přírodní polymery se řadí např. polysacharidy jako škrob a celuloza či bílkoviny a nukleové kyseliny. Mezi přírodními polymery lze nalézt zřejmě první řemeslnicky zpracovávaný polymer, kterým byla rohovina, která se stává tvárná při 125°C.

Druhou a pro technickou praxi významnější skupinou jsou syntetické polymery. Tyto polymery se vytváří za pomoci chemických reakcí, které byly uvedeny výše a lze je všeobecně označit jako polyreakce.

### **2.3 Přísady do polymerů [7][30][51]**

Jak již bylo uvedeno, materiály pro vstříkování se skládají z polymeru a přísady, neboť holé syntetické polymery ihned po vzniku polyreakcí obvykle nejdou snadno zpracovat. Aditiva upravují vlastnosti plastu a např. zlepšují životnost výstříku či slouží k dosažení požadované barvy nebo jinému účelu. Existuje tedy několik druhů aditiv, která jsou rozdělena dle své funkce a popsána níže.

➤ **Stabilizátory**

Pro bezproblémové zpracování se do polymerů přidávají termooxidační aditiva, která zvyšují stabilitu taveniny, neboť zde existuje časová prodleva, během které musí být polymer ve stavu taveniny.

Dalším typem stabilizátoru je aditivum, které neslouží přímo ke zlepšení zpracování polymeru, ale ke zlepšení jeho životnosti. Jedná se o UV stabilizátory, které zvyšují odolnost

výstřiku proti záření. Absorbují část záření, která dopadá na dílec, čímž prodlužují jeho životnost.

#### ➤ **Plastifikátory**

Plastifikátory, neboli změkčovadla, slouží ke změně tvrdosti, tuhosti, tažnosti a houževnatosti plastu. Jde o úpravu vlastností zchladlého polymeru a samozřejmě jak název napovídá, jedná se o růst tažnosti a houževnatosti za poklesu tvrdosti a tuhosti.

#### ➤ **Retardéry hoření**

Slouží k omezení hořlavosti termoplastů a v ideálním případě vedou až k samozhášitelnosti. Vzhledem k tomu, že fungují až od vysokého podílu, který se pohybuje mezi 5 až 30%, tak mají vliv i na ostatní vlastnosti, jako je výdrž na teplotě při přípravě taveniny v plastikačním válci a užité vlastnosti.

#### ➤ **Maziva**

Mají přímý vliv na snížení viskozity taveniny, což zlepšuje její zatékání do dutiny formy. Dále usnadňují odformování a zvyšují lesk konečného výstřiku.

#### ➤ **Nukleační činidla**

Lze se také setkat s názvy urychlovače či iniciátory. Slouží ke zvýšení rychlosti krystalizace polymeru. Urychlení krystalizace polymeru je výhodné především pro zvýšení produktivity, neboť snižuje čas výrobního cyklu. Zvýšení rychlosti krystalizace, ovlivňuje velikost smrštění.

#### ➤ **Barviva**

Barviva dávají výstřiku požadovaný barevný odstín a jsou v polymerech nerozpustné. V polymerech jsou obsaženy buď přímo nebo se přidávají v nosiči, který obsahuje 20 krát až 100 krát více pigmentů a barviv než původní granulát. Jako nosič jsou nejčastěji použity PE vosky. Výhodnější metoda obarvení výstřiku je však obarvení granulátu již při jeho výrobě.

Barviva a pigmenty lze dělit do tří skupin. Na anorganické, organické a kovové prášky. Důležitým požadavkem na barevné koncentráty je jejich tepelná stálost, kde lépe zvýšeným teplotám odolávají anorganické pigmenty než organické.

Dalším hlediskem, které je nutné brát u barviv u úvahu, je jejich vedlejší funkce jako nukleačních činidel, což může mít vliv na smrštění.

U barviv je také vyžadována zdravotní nezávadnost a odolnost proti UV záření a atmosférickým vlivům.

### **2.3.1 Plniva [11][30][51]**

Jedná se o přísady do polymerního materiálu, díky kterým se vytváří kompozit. Kompozit je materiál, který se skládá minimálně ze dvou komponent. Těmi jsou pojivo a plnivo či výztuž. V případě plastů je pojivem polymer a plnivo je zde jako výztuž. Rozlišují se dva základní typy plniv. Jsou to částicová a vyztužující. Relativně novým typem plniv jsou nanoplňiva.

#### ➤ **Plniva částicová**

Částicová plniva jsou zpravidla minerální a slouží k úspoře polymeru, kdy jejich obsah může dosahovat až 60% tak jako aditivum, které může sloužit jako pigment, retardér hoření či zlepšovat kluzné vlastnosti výstřiku. Vliv částicových plniv na vlastnosti plastů je shrnut v tab.1.

Do této skupiny se řadí především plniva minerální, která zpravidla zhoršují tekutost taveniny, zvyšují tvrdost a tepelnou odolnost. Minerální plniva vykazují malou tepelnou roztažnost, čímž zmenšují smrštění, ale zvětšují jeho anizotropii.

Mezi částicová plniva řadíme například kaolin, mastek, vápenec, mletý křemen, čedič, saze, grafit a práškové kovy. Například saze pak mohou sloužit jako pigment i retardér hoření nebo grafit pro zlepšení kluzných vlastností výstřiku a zvýšení tepelné vodivosti.

Tab.1 Vliv plniv na vlastnosti termoplastů [51]

	Skelné vlákno	Azbest	Uhlíkové vlákno	Whiskry	Syntetická vlákna	Celulóza	Slída	Talek	Uhlík	Křemenný písek	Kaolin	Skleněné kuličky	Kalciumkarbonát	Oxidy kovů	Saze
Pevnot v tahu	++	+	+				+	0				+			
Pevnost v tlaku	+							+		+		+	+		
E-modul	++	++	++	+			++	+		+		+	+	+	+
Rázová houževnatost		-	-	-	++	+		-		-	-	-		-	+
Snížení tep. roztažnosti	+	+		+			+	+		+	+			+	
Snížení smrštění	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+
Zlepšení vedení tepla		+	+					+	+	+			+		+
Pevnost za tepla		+					+	+			+		+	+	
Elektrická vodivost				+					+						+
Elektrický odpor							++	+			++			+	
Teplotní odolnost							+	+		+	+			+	+
Chemická odolnost		+					+	0	+		+	+			
Zlepšení otěru			+			+	+	+			+		-		
Abraze forem a strojů	-	0		0	0	0		0	0	-		0	0		0
Snížení ceny	+	+				+	+	+	+	++	+	+	++		
	Vyztužující plniva					Nevyztužující plniva									
	++ silný vliv		+ slabý vliv			0 bez vlivu				- negativní vliv					

### ➤ Plniva vyztužující

Používají se především za účelem zlepšení mechanických vlastností, jako jsou pevnost a tuhost, což samozřejmě vede k snížení tažnosti. Dále pozitivně ovlivňují tvarovou stálost, odolnost proti toku za studena. Sníží také kluzné vlastnosti kromě uhlíkových vláken. Použití skelných vláken vede až k abrazivním účinkům na dutinu formy. Vzhledem k různým účinkům jednotlivých plniv na vlastnosti plastu je jejich vliv shrnut v tab 1.

Vyztužení kompozitu je dosaženo pomocí sekaných vláken. Zásadní vliv na míru vyztužení má poměr délky vlákna ku jeho průměru. Typický průměr vláken je v jednotkách mikrometrů. Délka vlákna se může pohybovat od desetin mm až po přibližně 10 mm. Vzhledem k faktu, že vyztužení ovlivňuje zmíněný poměr a délka vláken se pohybuje v rozptylu dvou řádů, je míra vyztužení dána především délkou vlákna a samozřejmě obsahem plniva v polymeru. Nutné je také uvést, že vyztužujícího efektu je dosaženo až při poměru délky ku průměru větším než 10. Obsah plniva v polymeru se pohybuje mezi 5 až 60%, kdy se nejčastěji používají sklená vlákna. Mezi další používané lze zařadit např. vlákna uhlíková, z nerezových kovů, karbidů atd.

## ➤ Nanoplňiva

Jsou to plňiva, u kterých minimálně jeden rozměr částice je v nanometrech, neboli o šest řádů menší než jeden milimetr. Díky takto malým rozměrům jsou částice přibližně stejně velké jako molekuly polymeru, což dovoluje velmi blízké provázání polymerní matrice a nanoplňiva.

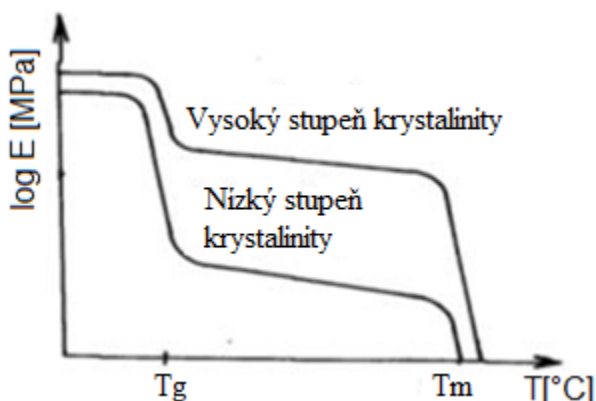
Nanoplňiva se používají pro zlepšení mechanických vlastností, kde mohou nahradit částicová i vyztužující plňiva. Vzhledem k tomu, že jsou velice blízce provázány s polymerní matricí, jsou schopna redukovat navlhavost a zlepšují nepropustnost. Jejich aplikace také vede ke zlepšení odolnosti proti chemikáliím a zlepšení jakosti povrchu. Je možné je použít i jako retardéry hoření či barviva, kde jen malé množství dokáže probarvit výstřik tak kvalitně, že může nahradit lakování.

Nejpoužívanějším nanoplňivem je montmorillonit, který je ve tvaru destičky o rozměrech 0.001x0.2x0.2 mikrometru. Tloušťka destičky v nanometrech způsobuje, že stejné množství plňiva má přibližně 20 krát větší plochu, která se stýká s polymerní matricí než běžně používaná částicová plňiva.

## 2.4 Tranzitní teploty polymerů [19] [36] [41]

Tranzitní teploty nebo také charakteristické či přechodové teploty definují, při jaké teplotě u polymeru dojde k zásadní změně vlastností. Vzhledem k tomu, že polymery mají extrémně vysoko teplotu varu, která výrazně převyšuje teplotu degradace, tak se mohou vyskytovat pouze v pevném nebo kapalném stavu. Mezi kapalným a pevným stavem se rozlišuje ještě stav kaučukovitý, kdy mohou dosahovat velkých deformací při působení malé síly. Přechod mezi těmito stavy je ještě rozdílný dle toho, zda se jedná o polymer semikrystalický nebo amorfní.

Jak je znázorněno na obr.10 u amorfního polymeru nebo amorfní části semikrystalického polymeru, dochází při ohřevu nejprve k přechodu z pevného stavu do kaučukovitého, což se děje při teplotě skelného přechodu  $T_g$  (glass). Tato změna je výrazná a velice rychlá až skoková. U amorfních polymerů se může modul pružnosti při přechodu teploty  $T_g$  měnit až o 3 řády. Při vyšší teplotě přejde polymer do stavu kapaliny. Tato teplota se označuje jako  $T_f$ . Pokud teplota dále roste, tak dochází k degradaci polymeru.



Obr.10 Tranzitní teploty plastů[19]

V případě krystalického polymeru je situace zásadně jiná, ačkoliv zcela krystalické polymery neexistují. V tomto případě se jedná především o krystalickou část semikrystalických polymerů. Nevyskytuje se zde přechod do kaučukovitého stavu, ale pouze přechod z pevného stavu do taveniny, což je v podstatě okamžik, kdy atomy a ionty opustí svá místa v krystalografické mříži. Tato teplota se pak nazývá teplotou tání a označuje se jako  $T_m$  (melt). Vliv teploty  $T_m$  pro semikrystalické plasty je znázorněn na obr.10. Je zřejmé, že se stoupajícím krystalickým podílem v semikrystalickém plasty klesá vliv teploty  $T_g$ , která ovlivňuje amorfní podíl.

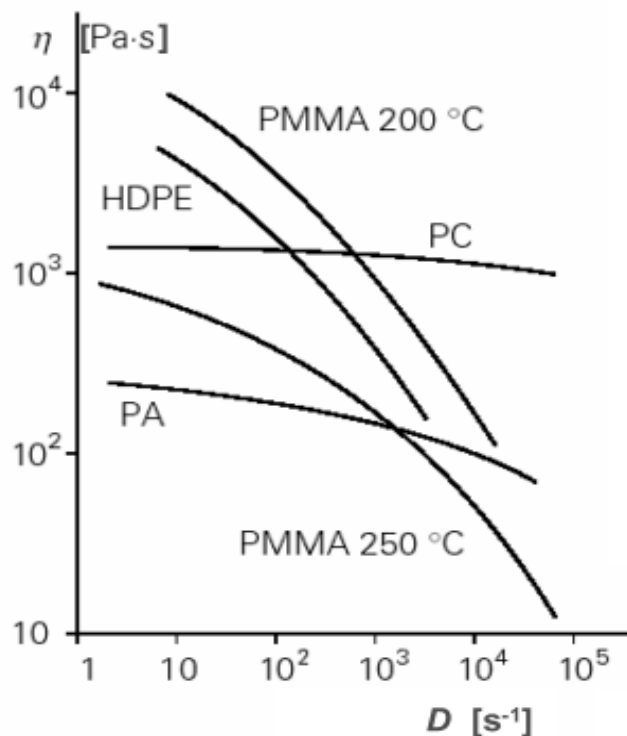
Při překročení teploty  $T_m$  a dalším růstu teploty začne docházet k degradaci materiálu. Tato teplota se nazývá teplotou rozkladu polymeru a označuje se  $T_c$ .

## 2.5 Reologie tavenin termoplastů [37][51]

Reologie toku tavenin se zabývá mechanismem toku polymerních tavenin. Taveniny polymerů nejsou newtonské kapaliny a tak jejich viskozita  $\eta$  [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ] je závislá na smykové rychlosti  $D$  [ $\text{s}^{-1}$ ] (viz obr.11). Tento fakt studium reologie tavenin komplikuje, neboť je nutné pro každý polymer znát závislost viskozity na smykové rychlosti při konkrétní teplotě. Získané závislosti jsou využívány jak výrobci surovin např. pro hodnocení kvality granulátu, tak výrobci strojů pro optimální návrh šneků, trysek, pohonů atd. Dále je využívají i konstruktéři pro návrh tvaru výstřiku a vtokového systému.

Ačkoliv se fakt, že tavenina je nenewtonská může zdát jako komplikace, v podstatě je pro zpracování plastů přínosem, neboť s rostoucí smykovou rychlostí odpor proti toku taveniny klesá, což je výhodou především pro technologii vstřikování.

Přibližně do smykové rychlosti  $1\text{s}^{-1}$  lze považovat taveninu za



Obr.11 Závislost viskozity na smykové rychlosti[37]

newtonskou kapalinu, neboť nedochází k zásadní změně odporu při toku a viskozita je maximální. Při zvýšení smykové rychlosti dochází k poklesu viskozity, což je důsledek rozbalení „klubíček“ makromolekul do směru toku taveniny. Při vysokých smykových rychlostech okolo  $10^4$  až  $10^5\text{s}^{-1}$  se tavenina stává opět prakticky nezávislá na smykové rychlosti, což je dáno úplným rozbalením polymerních řetězců do směru toku taveniny. Dokonalého rozbalení však v praxi není možné dosáhnout.

Tok taveniny se nehodnotí jen pomocí závislosti viskozity na smykové rychlosti. Existují zkoušky, které se snaží přiblížit praxi. Jedná se především o hodnocení množství taveniny buď z hlediska hmotnosti či objemu, které proteče tryskou o daném průměru, délce, tlaku a teplotě za 10 min. Dalším měřítkem reologie taveniny může být spirálová zabíhavost, která se testuje v ploché formě ve tvaru Archimédovy spirály.

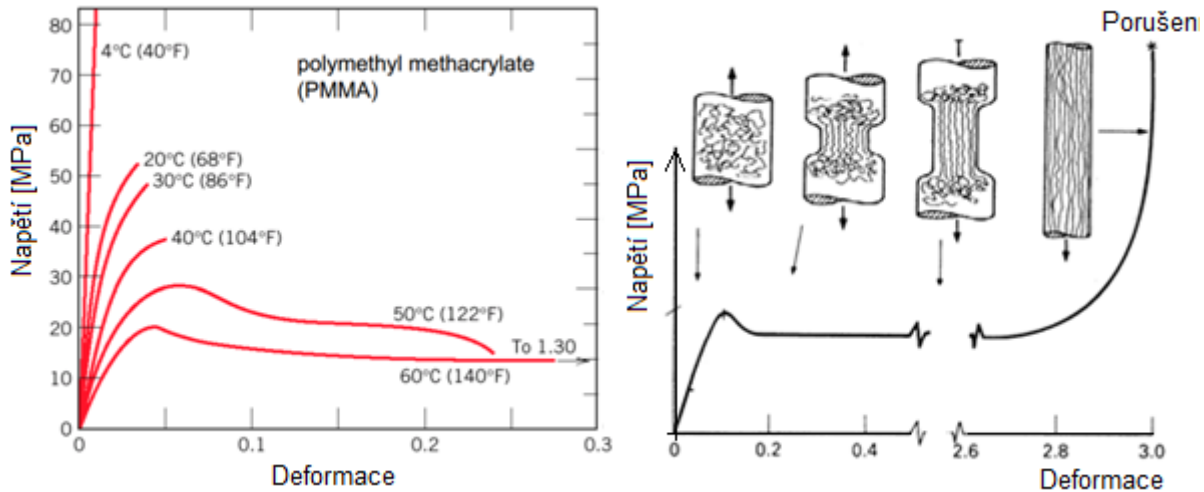
## 2.6 Mechanické vlastnosti polymerů [9][17][24][30][44]

Jedná se o soubor vlastností, které polymery vykazují při působení vnějších sil. Mechanické vlastnosti polymerů jsou zjišťovány pomocí deformačních zkoušek, kde míra deformace je závislá především na fázovém stavu polymeru, teplotě, velikosti a směru působících sil. Deformační zkoušky můžeme dělit na krátkodobé a dlouhodobé. U krátkodobých zkoušek se vliv relaxačních dějů považuje za zanedbatelný a řadí se sem např. zkoušky tahem či tvrdosti. Dlouhodobé zkoušky se dělí na statické a dynamické, kde u statických je působící síla v čase konstantní a u dynamických nikoliv.

Nejdůležitějším výstupem statických deformačních zkoušek jsou informace o následujících vlastnostech.

➤ **Mez kluzu, pevnosti**

Jedná se o charakteristiky jako u kovů zjišťované pomocí tahové zkoušky. Vzorce pro výpočet  $R_m$ ,  $A$ ,  $Z$  jsou ekvivalentní, ovšem chování polymeru při zkoušce je zásadně jiné. Chování polymeru je závislé na teplotě a rychlosti zatěžování. Při zatížení dochází k rozplétání polymerních řetězců, jak je znázorněno na obr.13. K rozplétání dochází bezproblémově, pokud je rychlost deformace kvazistatická (do  $\dot{\phi} < 1s^{-1}$ ) a je zde tedy dostatek času pro rozpletení řetězců makromolekul. V případě nízkých teplot a sklovitého stavu polymeru nebo rychlého zatížení, kde není čas pro rozpletení polymerních řetězců maximální poměrná deformace klesá a mez pevnosti roste (viz obr.12).



Obr.12 Závislost mech. vlastností na teplotě [8] Obr.13 Rozplétání polymerních řetězců[8]

➤ **Tvrдость**

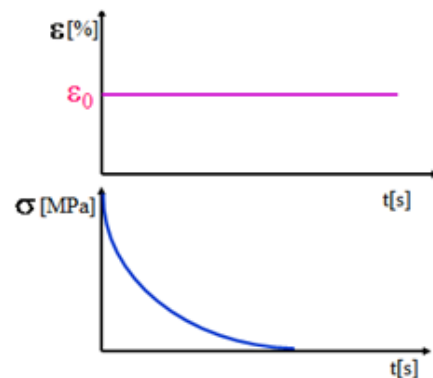
Princip testování tvrdosti je obdobný jako u kovů. Principem je tedy vtlačování tvrdého hrotu do materiálu a následné porovnání plochy otisku s působící silou. Vzhledem k tomu, že jsou polymery materiály viskoelastické, není možné měřit plochu vpichu po odtížení, ale je nutné sledovat hloubku vniknutí tvrdého tělesa. Tvrдость tak jako mez pevnosti, je velice závislá na teplotě a typu polymeru. Tvrдость, je možné ovlivnit aditivami, jako např. tvrdidla či změkčovadla. Postupy měření tvrdosti dle Brinella či Vickerse nelze použít pro měření elastomerů, proto se zde využívá zkoušky tvrdosti dle Shoreho. Zkoušky dle Brinella a Vickerse se využívají pro měření tvrdosti tvrdých plastů.

➤ **Creep**

Překladem slova creep je prokluz či plazení, což koresponduje se sledovaným chováním polymeru, kdy za působení konstantního napětí při zvýšené teplotě je sledována poměrná deformace. Za tímto účelem se nejčastěji využívá tahová zkouška.

➤ **Relaxace napětí**

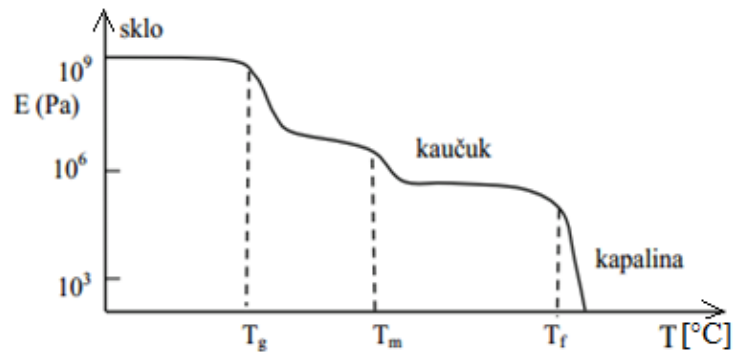
Polymery vykazují viskoelastické chování, které je charakteristické zpožděnou deformací na okamžité vnější namáhání. Časově proměnná deformace je definována již uvedeným creepem, kde napětí je konstantní a deformace se mění. Při relaxaci je situace opačná. Deformace je konstantní a napětí se mění (viz obr.14). Zkouška se provádí tak, že je v čase  $t=0$  zkušební vzorek deformován na deformaci  $\epsilon_0$ . Následně napětí v čase z maximální hodnoty  $\sigma_0$  pozvolna klesá jak je znázorněno na obr.14.



Obr.14 Relaxace napětí. [17]

### ➤ **Modul pružnosti $E$**

Modul pružnosti je u polymerních materiálů závislý na teplotě a době zatížení, což je opět spjato s rozplétáním polymerních řetězců. Závislost modulu pružnosti na teplotě pro semikrystalické plasty je znázorněna na obr.15



Obr.15 Modul pružnosti v závislosti na teplotě.[24]

### ➤ **Rázová a vrubová houževnatost**

Rázová houževnatost patří k důležitým materiálovým charakteristikám a definuje odolnost materiálu proti iniciaci a šíření trhlin. Provádí se na Charpyho kladivu a je určena velikostí energie, která je potřeba pro přeražení vzorku o určitém průřezu. Označuje se  $a_n$ , její jednotkou je  $J/cm^2$ . Získané výsledky zkoušky závisí na geometrii zkušebního tělesa, teplotě a druhu plasty. Houževnatost lze značně ovlivnit aditivami.

Vrubová houževnatost je měřena a hodnocena stejným způsobem jako rázová, ovšem zde má vzorek vrub. Vrubová houževnatost se označuje  $a_k$ . Lze na jejím základě vyhodnotit vrubové číslo, které je poměrem vrubové a rázové houževnatosti. Vždy bude vrubová houževnatost menší než rázová a tak vrubové číslo je vždy menší než 1.

## 2.7 Tepelné vlastnosti plastů [34][40]

Pro zpracování a následné užití plastů je nutné znát jejich následující tepelné vlastnosti.

### ➤ **Teplotní rozsah použitelnosti plastů**

Reálná teplotní mez pro užití plastových výrobků je značně menší než uvedené teploty  $T_g$  a  $T_m$ . Maximální teplota se volí dle míry namáhání daného dílce. Samozřejmě zde platí nepřímá úměra. Když je mechanické namáhání větší, tak je maximální teplota nižší.

### ➤ **Teplota tepelného rozkladu**

Při dostatečně vysoké teplotě dochází k degradaci polymeru až k jeho rozkladu. Při rozkladu vznikají hořlavé plyny, které lze zapálit. Po zapálení plynu se rozeznávají na základě chování plynu teploty vzplanutí, zapálení, samovznícení a hoření.

### ➤ **Tepelná vodivost**

Je definována jako schopnost přenášet teplo. Je zásadně nižší než u kovů a vyšší než u vzduchu. Z čehož plyne, že plniva ve formě kovových prášků budou tepelnou vodivost zvyšovat a nadouvadla snižovat.

### ➤ **Teplotní roztažnost**

Teplotní roztažnost vede k objemovým změnám výstřiku. Lze ji ovlivnit volbou typu plasty a plnivy, kde např. minerální plniva vykazují nižší teplotní roztažnost a tak zmenšují celkovou teplotní roztažnost výstřiku, ale zvyšují anizotropii smrštění.

### ➤ **Hořlavost**

Nejde vždy jen o test pouhého vzplanutí a hoření plasty, neboť se při hoření uvolňují jedovaté plyny, kouř a světlo. Dále nelze postihnout jednou zkouškou všechny aspekty, které urychlují hoření. Pro vhodný test hořlavosti, je nutné vědět, v jakých podmínkách se bude plastový dílec používat. Jsou totiž např. jiná kritéria na testy hořlavosti pro plasty užitě

v elektronice a jiná ve stavebnictví. Pro omezení hořlavosti plastu slouží aditiva označovaná jako retardéry hoření.

## **2.8 Další vlastnosti polymerů [35]**

### **➤ Elektrická vodivost**

Polymery jsou látky s velkým elektrickým odporem a řadí se prakticky mezi dielektrika. Pro určité aplikace se dají jejich vodivé vlastnosti zvýšit přidáním vodivých aditiv, jako jsou např. kovy či vodivé saze, kdy při překročení určité koncentrace dochází v polymeru k zásadnímu růstu vodivosti. Elektrickou vodivost také ovlivňuje navlhavost plastů, neboť přítomnost vody v plastu ji může zvýšit.

### **➤ Navlhavost**

Jedná se o shromažďování vlhkosti na povrchu plastu, což může probíhat u každého typu plastu. Problémem je, že určité plasty jsou schopny vlhkost absorbovat. Rozlišují se dva typy navlhavosti, povrchová a kapilární. U povrchové navlhavosti se jedná o vázání vzdušné vlhkosti na povrch při delším vystavení atmosférickým podmínkám. Malé množství vlhkosti však nemusí mít přímo vliv na zpracování a nebude příčinou vadného dílu. Zda bude dílec vadný, závisí i na technologických podmínkách a to především na teplotě taveniny termoplastu. Platí, že čím je vyšší teplota taveniny, tím musí být vlhkost granulátu nižší. Pro odstranění vlhkosti se před zpracováním granulátu zařazuje sušení. Sušení je však značně ztížené kapilární navlhavostí, kde je voda vázaná v mikrokapilárách. Jedná se však o vratný proces a kapilární vlhkost lze sušením odstranit. Navlhavost ovlivňují i plniva, kde např. vlákna z bavlny či dřevěné moučky navlhavost zvyšují a minerální plniva, jako skelná vlákna či mletý křemen, snižují.

## **2.9 Závěry pro volbu vhodného materiálu**

Na kryt vrtačky jsou kladeny požadavky z hlediska mechanického namáhání, tepelné odolnosti, samozhášitelnosti a nízké elektrické vodivosti. Z hlediska technologie vstřikování plastů bude vhodné zvolit termoplast. Zvýšeným teplotám lépe odolává krystalický podíl semikrystalických plastů, takže tento podíl bude žádoucí co největší. Samozhášitelnost pak lze podpořit vhodnými aditivy. Žádoucí je také co nejmenší závislost meze pevnosti na teplotě a odolnost proti creepu. Dále bude vhodné, aby byl plast vyztužen sklenými vlákny pro zvýšení mechanické odolnosti. Pro případ pádu vrtačky či jiného rázového namáhání by měl zvolený plast vykazovat dostatečnou houževnatost. Jedná se o elektrické zařízení, z čehož plyne požadavek na malou elektrickou vodivost. Elektrickou vodivost může ovlivňovat navlhavost. Zde se však nepředpokládá, že by se s elektrickým zařízením pracovalo ve vlhkých podmínkách.

### 3. TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [9][33][36][51]

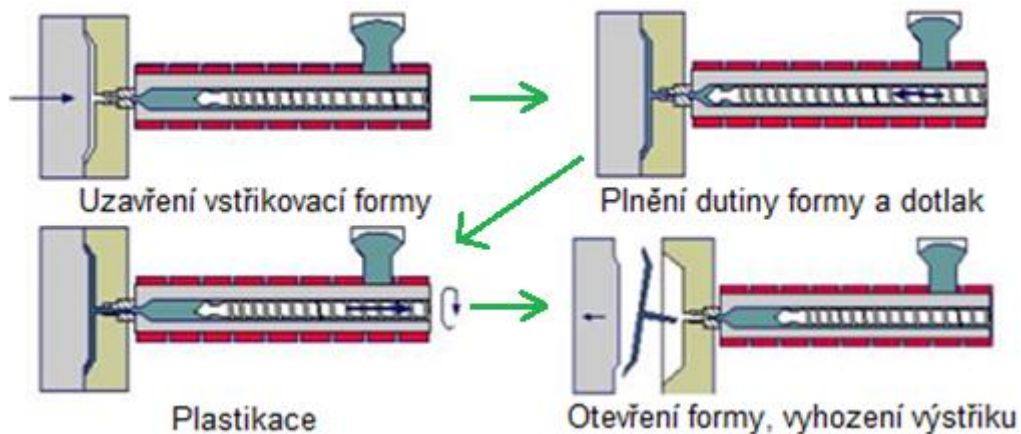
Jedná se o nejrozšířenější technologii pro zpracování plastů. Slouží k výrobě polotovarů i konečných dílů. Svého postavení nejrozšířenější technologie tato metoda dosáhla díky pozitivům, které přináší. Řadí se sem především rozměrová, tvarová přesnost a výborná reprodukovatelnost mechanických a fyzikálních vlastností. Nespornou výhodou je také možnost vyrábět dílce s velice komplikovanou geometrií (viz obr.16).



Obr.16 Dílec vyrobený vstříkáním.[9]

Průběh vstříkávání je znázorněn na obr.17 a princip je následující.

- a) Nejprve je nutné připravit dávku taveniny z granulátu. Granulát se vsype do násypky a v plastikačním válci je pomocí pohybu šneku a teploty přeměněn na homogenní taveninu.
- b) Dávka taveniny je následně vstříknuta do tvarové dutiny formy.
- c) V dutině kovové formy se tavenina ochladí a tuhne na konečný výstřik. V průběhu tuhnutí je možné již chystat další dávku taveniny, jak je znázorněno na obr.17.
- d) Po zatuhnutí plastu stačí výstřik odformovat a proces se může opakovat. Jedná se tedy o cyklický proces vhodný pro sériovou výrobu.



Obr.17 Princip vstříkávání termoplastů.[33]

Mezi již uvedené klady metody patří zkrácení výrobního cyklu, možnost vyrábět díly s kvalitním povrchem včetně dezénů či lesku. Tato technologie však nemá pouze klady ale i nedostatky, kam se řadí především vysoké investiční náklady spojené s komplikovanou konstrukcí forem. S komplikovanou konstrukcí forem jsou spjaty i dlouhé výrobními časy forem. Dále strojní zařízení je neúměrně velké v porovnání s velikostí vyráběných dílů.

#### 3.1 Průběh vstřikovacího cyklu [33][51]

Vstřikovací proces je cyklický a diskontinuální. Lze ho tedy rozdělit do několika úseků, které jsou popsány níže. Jednotlivé úseky se pak mohou v rámci jednoho cyklu překrývat nebo na sebe přímo navazují.

- a) Uzavření formy a vyvolání uzavírací síly.
- b) Příjezd vstřikovací jednotky k formě a vyvolání přítlaču.
- c) Vstříkávání taveniny.

- d) Přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak.
- e) Dotlaková fáze.
- f) Chlazení výstřiku a plastikace další dávky taveniny.
- g) Odjezd vstřikovací jednotky od formy.
- h) Otevření formy.
- i) Odformování výstřiku.

Existuje více možností, jak může cyklus probíhat. Jedná se především o možné změny v tom, zda bude vstřikovací jednotka přijíždět a odjíždět od formy a kdy bude začínat plastikace další dávky. Cílem je, aby měl cyklus co nejlepší opakovatelnost všech parametrů vstupujících do procesu, což vede k opakovatelné kvalitě výstřiků.

### 3.2 Fáze ovlivňující vlastnosti výstřiku [2][33][51]

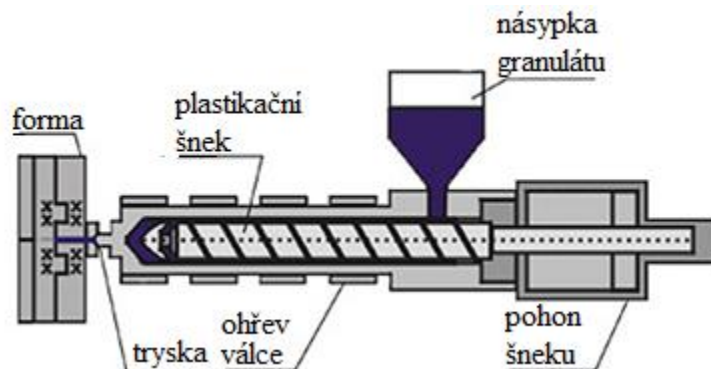
Níže jsou uvedeny fáze, které mají přímý vliv na vlastnosti výstřiku. Z hlediska kvality je cílem výstřik s maximální izotropií vlastností, kterou ovlivňují následující fáze vstřikovacího cyklu.

#### ➤ *Plastikační fáze*

Plastikační fáze probíhá v plastikační jednotce (viz obr.18). Dochází zde k tvorbě taveniny z granulátu. Pro optimální plnění dutiny formy je základním předpokladem teplotní homogenita taveniny, která bude vstříknuta do dutiny formy, neboli taveniny před čelem šneku. Tento základní předpoklad lze ovlivnit parametry:

- otáčky šneku
- zpětný odpor šneku
- teplota topných těles

Otáčky a zpětný odpor šneku mají vliv na teplotu taveniny.



Obr.18 Platikační jednotka [2]

Nehomogenita taveniny má vliv především na kvalitu povrchu výstřiku. Mohou se zde vyskytovat vady jako lesk, studené spoje, tokové čáry, vnitřní pnutí a zvýšená orientace. Dále teplota taveniny ovlivňuje orientaci makromolekul polymeru. Obecně platí, že se stoupající teplotou taveniny orientace makromolekul klesá a tím se stávají vlastnosti výstřiku více izotropní.

#### ➤ *Vstřikovací fáze*

Při vstřikovací fázi dochází k axiálnímu pohybu šneku, který působí na taveninu. Důsledkem vzniklého tlaku dochází k toku taveniny skrze trysku do tvarové dutiny formy. Při plnění dutiny je podstatné, aby rychlost proudu čela taveniny byla v každém průřezu tvarové dutiny formy stejná. Tento předpoklad lze však dodržet pouze u tvarově jednodušších

dílčů. V případě komplikovaných geometrií s rozdílnou tloušťkou stěny je tento předpoklad problematické dodržet, a proto se zde používá softwarové simulace plnění tvarové dutiny.

Rychlost plnění tvarové dutiny má vliv především na povrch výstřiku. Při špatném nastavení se jedná o vady jako např. tokové čáry, vrásnění, povrch pomerančové kůry a stopy po studených spojích. Rychlost vstřikování se musí vzájemně s teplotou optimalizovat. Cílem optimalizace je takové nastavení, při kterém nevznikají na povrchu příliš velká smyková napětí, která vedou k vadám.

V případě přílišného snížení rychlosti za účelem zmenšení smykových napětí dochází k rychlému ochlazení čela taveniny, což má vliv na nižší pevnost studených spojů. Dále přílišné snížení rychlosti vede k zvýšení pevnosti a houževnatosti ve směru toku ale negativem je horší povrchový lesk a celkově vede k růstu orientace a anizotropii vlastností.

Shrnou-li se technologické parametry, které ovlivňují vstřikovací fázi, tak se jedná o následující:

- rychlost vstřikování
- vstřikovací tlak
- teplota formy
- teplota taveniny
- viskozita taveniny

#### ➤ **Přepnutí na dotlak**

Jako přepnutí na dotlak je označován okamžik, kdy se vstřikovací tlak mění na dotlak. Dotlak je menší než vstřikovací tlak, takže dochází k poklesu tlaku. Je důležité, aby přechod byl plynulý bez prudkého poklesu či prudkého navýšení před přepnutím. Nejsou žádoucí žádné prudké změny tlaku v průběhu vstřikování i dotlaku. Plynulý průběh tlaku včetně přechodu na dotlak je podstatný pro maximální izotropii vlastností výstřiku a minimalizaci vnitřního pnutí.

Pokud dojde k přepnutí příliš brzo, dochází k plnění dutiny dotlakem a rychlost plnění je nižší než nejnižší rychlost vstřikování. Pozdní přepnutí může vést k tlakové špičce, která má za následek zvýšení anizotropie či přetoků v dělicí rovině formy.

Rozlišují se tři způsoby, dle kterých se volí přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak.

##### **a) Časové přepnutí**

K přepnutí dojde po uplynutí určitého času. Vzhledem k tomu, že uplynulý čas není v žádném vztahu k samotnému vstřikovacímu cyklu, tak jde o způsob přepnutí nejméně přesný. Měl by se používat pouze jako pojistka, pokud by došlo k selhání přepnutí dle následujících způsobů.

##### **b) Dráhové přepnutí**

Přepnutí je řízeno na základě dráhy šneku plastikační jednotky. Je zde jasná vazba na samotné plnění dutiny formy, kde je známo z dráhy šneku, kolik taveniny již bylo do dutiny vstříknuto. Proto se jedná o lepší způsob než časové přepnutí.

##### **c) Tlakové přepnutí**

K přepnutí dochází na základě dosažení mezní hodnoty tlaku. Tlak lze měřit v hydraulickém systému stroje, v dutině formy či kanálu horkého vstřikovacího systému. Měření v tvarové dutině formy nejlépe reflektuje reálný stav, jedná se tedy o nejvíce přesný

způsob přepnutí na dotlak. Dále lze sestupně řadit přepnutí dle tlaku v horkém rozvodu, v hydraulickém systému stroje a dle dráhy šneku.

### ➤ **Dotlaková fáze**

Dotlak následuje po vstřikovací fázi a trvá až do zamrznutí ústí vtoku. Je využíván k potlačení vlivu smrštění a tedy k získání co nejpřesnějších rozměrů výstřiku. Dále omezuje tvorbu propadlin a relaxačních pochodů ovlivňujících konečný rozměr výstřiku. Přispívá k lepšímu kopírování dezénu tvarové dutiny formy. Volí se takový, aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů a hmotnosti výstřiku. Hmotnost a rozměry však spolu nejsou v žádné vazbě.

Dotlaková fáze kromě zlepšení tvarové přesnosti výstřiku přináší i negativa. Dotlak vede ke zvětšení vnitřního pnutí ve výstřiku, které je přímo úměrné součinu velikosti tlaku a doby, po kterou působí. Příliš dlouhá doba dotlaku vnese do výstřiku zbytečně velké vnitřní pnutí a je také neekonomická, neboť vyžaduje činnost hydraulického čerpadla. Na druhou stranu je nutné volit dobu dotlaku dostatečně dlouhou, aby výstřiky byly přesné a s kvalitní plochou.

Dotlakovou fázi lze sledovat pomocí polštáře, což je tavenina, která zůstává nevstříknuta před čelem šneku. Pokud je toto množství pro jednotlivé výstřiky v rámci určité tolerance, tak lze usoudit, že se jedná o proces s dobrou opakovatelností.

Pokud je nutné velice pomalé plnění formy a to pomalejší než je nejnižší rychlost vstřikování, je možné plnit tvarovou dutinu dotlakem. Plnění dutiny dotlakem může někdy paradoxně vést k lepšímu povrchu výstřiku. Plnění dutiny dotlakem lze zajistit předčasným přepnutím na dotlak.

Mezi technologické parametry při dotlakové fázi se řadí:

- tlaková úroveň dotlaku
- doba dotlaku
- teplota formy
- teplota taveniny
- rychlost dotlaku

### ➤ **Fáze ochlazování**

K ochlazování dochází ihned, jakmile začne tavenina proudit do tvarové dutiny formy a pokračuje až do okamžiku odformování. Ochlazovací fáze musí trvat minimálně tak dlouho, aby byla zaručena tvarová stabilita výstřiku a nedošlo k jeho deformaci při odformování. Při ochlazovací fázi se sledují pouze dva parametry. Těmi jsou teplota formy a doba ochlazování.

Rozhodujícím parametrem je teplota formy, neboť čím je vyšší tím je i doba dotlaku delší. Teplota formy ovlivňuje rychlost tuhnutí taveniny, což má vliv na relaxační jevy, které ovlivňují orientaci a vnitřní pnutí. Teplota formy ovlivňuje i velikost krystalického podílu u semikrystalických plastů.

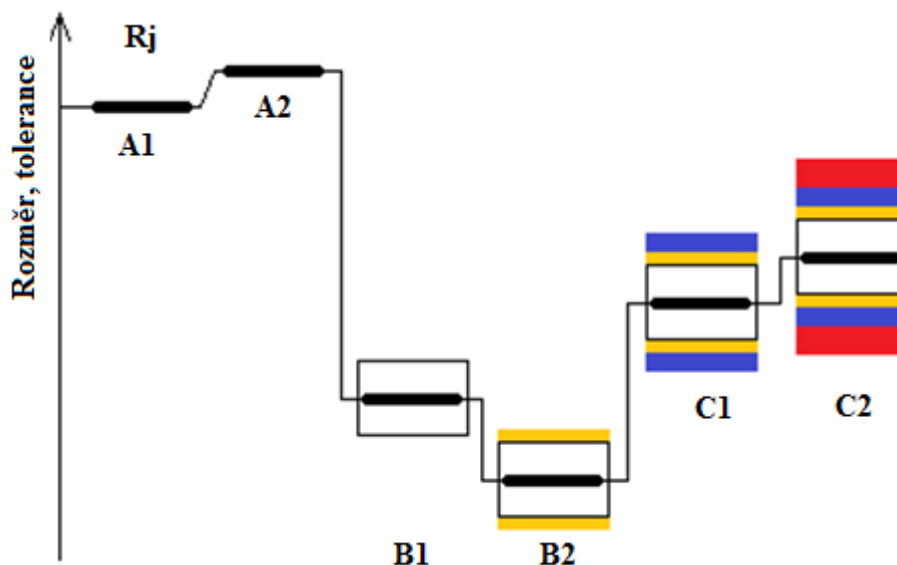
Čím je doba ochlazování delší, tím má semikrystalický plast více času vytvořit krystalickou strukturu. Je tu tedy přímý vliv na velikost krystalického podílu, který dále ovlivňuje smrštění. Jak již bylo uvedeno, všechny termoplasty jsou ve fázi taveniny amorfni, krystalická struktura je potom uspořádaná do lamel, které jsou prostorově úspornější než struktura amorfni. Pokud pak vlivem vyšší teploty formy vznikne více krystalického podílu, dojde i k většímu smrštění výstřiku. Dále je pak vyšší i hmotnost, tuhost, pevnost a tvrdost výstřiků.



zůstává na maximální hodnotě vstřikovacího tlaku a jedná se tedy o izobarický děj nebo postupně v čase klesá. Dotlak je možné vyvinout díky polštáři taveniny před čelem šneku o velikosti 10 až 15% a je ideálně ukončen v okamžiku kdy zamrzne ústí vtoku což je na grafu znázorněno bodem D. Po ukončení dotlaku a zatuhnutí výstřiku je možné dílec odformovat, což je znázorněno na obr.19 průběhem  $s_N$ .

### 3.4 Rozměrové změny výstřiku z termoplastů [16][51]

Rozměrové tolerance se liší v závislosti v jaké fázi výrobního či životního cyklu se výstřik nachází. Schematický rozsah tolerancí je znázorněn na obr.20.

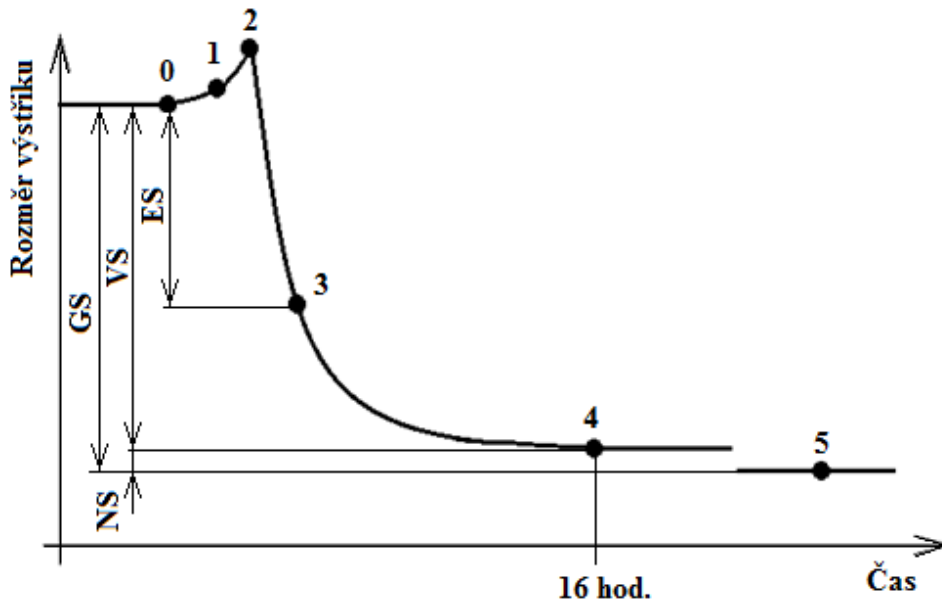


Obr.20 Schematické znázornění rozměrových změn a jejich tolerancí.[51]

Teplota formy při vstřikování plastu je vyšší než při výrobě a tak se ohřevem na provozní teplotu rozměr dutiny formy změní z A1 na A2, kde černé pásmo vyznačuje výrobní tolerance formy. Po odformování výstřiku a uplynutí 24 hodin se rozměr v důsledku smrštění změní na rozměr vyznačený bílým obdélníkem B1. Následně probíhá dosmrštění, které je důsledkem uvolňování vnitřního pnutí, změn orientace a může probíhat i dodatečná krystalizace. Rozměr se mění na B2. Dodatečné smrštění je obvykle o velikosti 10% z velikosti výrobního smrštění a jeho tolerance je znázorněna žlutým pásmem. Dílec je zpravidla vyráběn z granulátu s velice malým obsahem vody, proto při jeho užití může dojít k navlhnutí, které vede k dalším rozměrovým změnám, což je znázorněno oblastí C1 s modře vyznačenými tolerancemi. Navlhnutí je na rozdíl od předcházejících rozměrových změn vratné, neboť ho lze eliminovat vysušením. Poslední částí grafu je oblast C2, která reprezentuje změny rozměru dané pracovní teplotou dílce. Zde jsou tolerance znázorněny červeně a opět se jedná o vratnou rozměrovou změnu.

Z výše uvedeného grafu je zřejmé, že největší vliv na rozměrovou změnu výstřiku má smrštění. Smrštění lze pozorovat v závislosti na čase a tento průběh je znázorněn na obr.21. V závislosti smrštění na čase je vyznačeno 6 nejdůležitějších bodů. Bod 0 reprezentuje rozměr studené dutiny formy. Po zahřátí formy na provozní teplotu se její rozměr zvětší, to je znázorněno bodem 1. Rozměr po ukončení dotlaku je zakreslen bodem 2. Mezi bodem 2 a 3 dochází k největšímu smrštění, které probíhá v dutině formy při ochlazování a odchylka

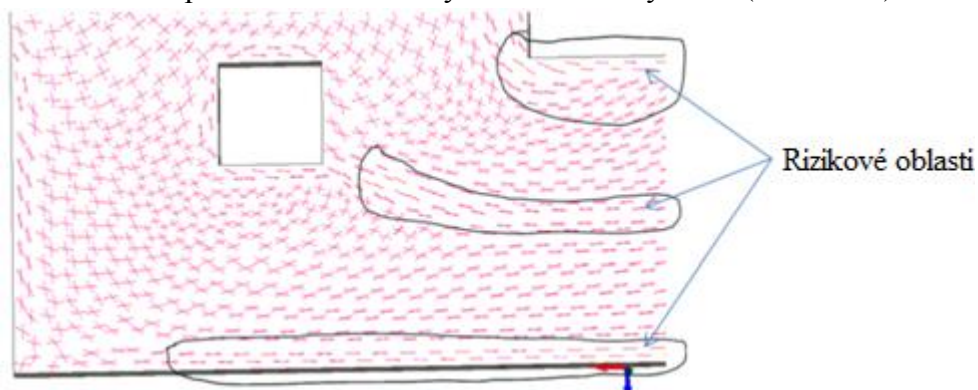
rozměru od dutiny formy za studena definuje kóta ES. Bod 3. reprezentuje rozměr výstřiku v okamžiku odformování. Po uplynutí 16 hodin (bod 4), které jsou definovány normou DIN 16 901, by již měly být relaxační pochody z praktického hlediska u konce a lze měřit výrobní smrštění. Smrštění po uplynutí 16 hodin probíhá i nadále, ovšem daleko pomaleji a konverguje ke konstantní hodnotě. Nejedná se už o zásadní rozměrové změny a nazývá se dosmrštění. Je znázorněno bodem 5 a jeho velikost kotou NS. Kóta GS nakonec udává celkové smrštění.



Obr.21 Rozměr výstřiku v závislosti na čase[51]

### 3.5 Orientace [39][51]

Orientace je důsledkem směru toku taveniny, do kterého jsou orientovány makromolekuly polymeru. S rostoucí orientací roste anizotropie vlastností výstřiku. Ve směru orientace je smrštění větší a to může vést až k tvarové a rozměrové nestabilitě výstřiku. Dále mechanické vlastnosti rostou ve směru orientace a klesají ve směru kolmém. Proto je vhodné, při návrhu formy zařadit simulace pro odhalení rizikových oblastí na výstřiku (viz obr.22).

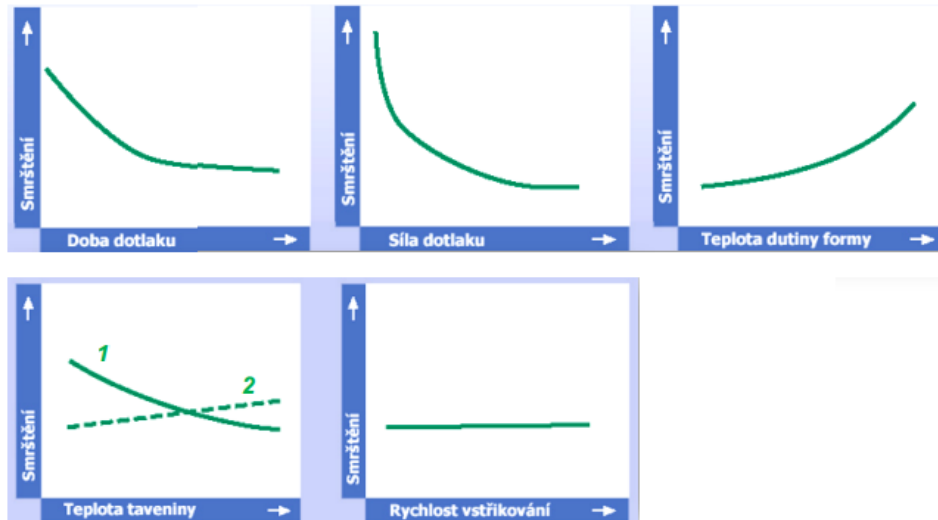


Obr.22 Simulace a predikce míst se zvýšenou orientací. [39]

Orientovaná poloha makromolekul je pro ně nepřírozená a snaží se zaujmout polohu s minimální energií. Proto dochází při ochlazování výstřiku a i v průběhu dosmrštění ke změnám orientace.

### 3.6 Smrštění [39][51]

Jak již plyne z výše uvedeného textu, je smrštění definováno rozdílem rozměrů v dutině studené formy a rozměry výstřiku po uplynutí 16 hodin. Nutné je však uvést, že se nejedná o materiálovou konstantu, ale je závislé na technologických parametrech, geometrii tvarové dutiny formy a typu vstřikovaného plastu, neboť amorfni plasty vykazují nižší smrštění než semikrystalické. Dutina formy a umístění vtoku definuje tok taveniny, což má vliv na orientaci a tím anizotropii smrštění. Dutina formy také definuje tloušťku stěny dílce, kde tlustší stěna bude chladnout pomaleji a dojde zde k většímu smrštění, neboť zde bude vyšší krystalizace. Vliv technologických parametrů je znázorněn na následujícím obr.23.



Obr.23 Vliv technologických parametrů.[39]

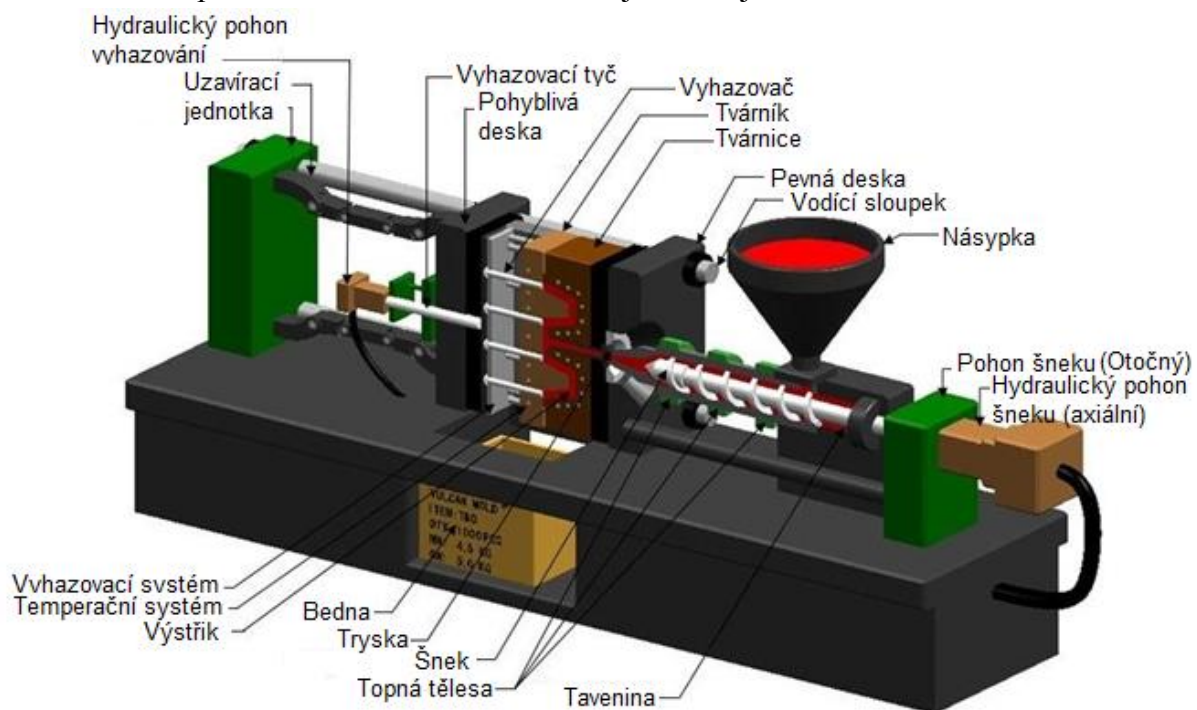
Určit výsledné smrštění vzhledem k počtu faktorů, které ho zpravidla nelineárně ovlivňují, není jednoduché. Proto byla vytvořena přesně definovaná zkouška včetně technologických parametrů. Výstupem této zkoušky jsou hodnoty uváděné v materiálových listech plastů. Pro odhad rozměrů výstřiku se pak využívá lineárního smrštění, jehož velikost se pohybuje mezi 0.2 až 4% dle druhu plastu. Pro přesnější odhad velikosti výstřiku je však nutné využít počítačové simulace.

#### 4. VSTŘIKOVACÍ STROJE [18][33][48]

Moderní vstříkovací stroje umožňují úplnou automatizaci výroby a jsou určeny pro velké série. Velkosériová výroba je nezbytná vzhledem k ceně lisů a forem. Vstříkovací stroj se skládá ze tří hlavních částí, kterými jsou vstříkovací jednotka, uzavírací jednotka a řízení s regulací. Pro plně automatizovanou výrobu je pak často nezbytná periferie jako manipulatory, roboty, dopravníky. Vstříkovací stroj s popisem je znázorněn na obr.24

Rozlišují se dva základní typy strojů, dle uspořádání vstříkovací a uzavírací jednotky.

- Vodorovné uspořádání: uzavírací a vstříkovací jednotka je uložena horizontálně. Toto uspořádání je znázorněno na obr.24.
- Svislé uspořádání: uzavírací a vstříkovací jednotka je uložena vertikálně.



Obr.24 Vstříkovací stroj.[48]

##### ➤ Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka plní dva úkoly. Nejprve musí přeměnit granulát na taveninu a následně ji vstříknout do dutiny formy. Skládá se z násypky, dávkovacího zařízení, tavicí komory neboli plastikačního válce, šneku či pístu, topení, trysky, pohonu šneku či pístu a řízení.

Jako první byly použity pístové vstříkovací jednotky. Vzhledem k tomu, že špatně homogenizovaly taveninu, byly vytlačeny šnekovými jednotkami. Dnes se prakticky používají pouze šnekové vstříkovací jednotky. Schéma šnekové vstříkovací jednotky je znázorněno na obr.18.

Cílem vstříkovací jednotky je vytvořit v co nekratší době co největší množství taveniny s co největší homogenitou. Pohyb plastu v plastikačním válci zajišťuje axiální a rotační pohyb šneku. Použití šneku prakticky vyřešilo všechny zásadní nedostatky pístových vstříkovacích strojů a mezi hlavní výhody se u šnekových plastikačních jednotek řadí:

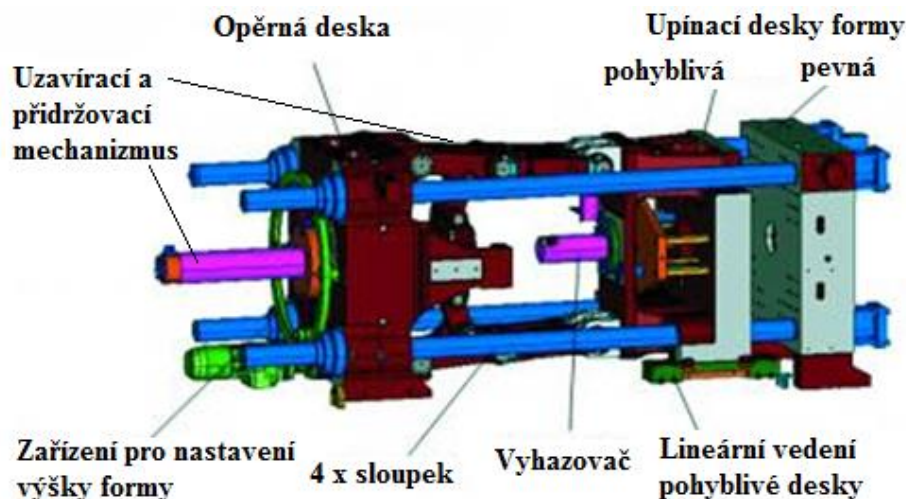
- Lepší homogenizace taveniny

- Spolehlivá plastikace
- Velký plastikační výkon
- Přesné dávkování
- Nízké ztráty tlaku během vstřikování
- Nižší příkon

Vstřikovací jednotka je definována následujícími parametry. Průměrem šneku  $D[\text{mm}]$ , délkou šneku  $L[\text{mm}]$ , vstřikovací kapacitou  $Q_v[\text{cm}^3]$ , plastikační kapacitou  $Q_p[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$ , objemovou vstřikovací rychlostí  $v[\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ .

#### ➤ Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k uzavírání a otevírání forem. Přísuv pohyblivé části formy k pevné je vyvozen přísouvací silou  $F_p$ . Síla nutná k uzavření formy, musí být dostatečně velká, aby nedocházelo k otevírání formy během působení vstřikovacího tlaku. Uzavírací síla se značí  $F_u$ . U moderních vstřikovacích strojů lze regulovat rychlost otevírání formy i velikosti sil  $F_p$  a  $F_u$ .



Obr.25 Uzavírací jednotka.[18]

Na obr.25 jsou znázorněny hlavní části uzavírací jednotky. Skládá se z pevné a pohyblivé desky, na které je upnuta forma. V pevné desce je uprostřed otvor pro vstřikovací jednotku. Pohyblivá deska, na které je upnuta pohyblivá část formy, je vybavena lineárním vedením. Dále je na schématu znázorněn uzavírací a přidržovací mechanismus, který může být hydraulický, mechanický či kombinovaný, nebo se mohou používat elektrické systémy. Uzavírací jednotka je také vybavena sloupky, zařízením pro nastavení výšky formy, a vyhazovačem.

#### ➤ Řídící jednotka

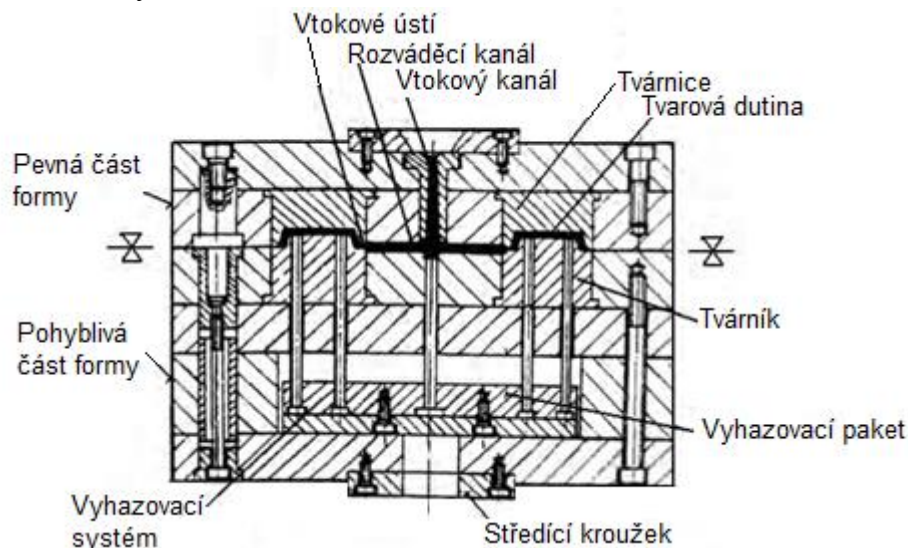
Jedná se o velice důležitou část vstřikovacího stroje, neboť při velkých sériích, pro které jsou vstřikovací stroje určeny, je kladen velký důraz na opakovatelnost vlastností a rozměrů výstřiků. Řídící jednotka slouží k nastavení parametrů vstřikovacího procesu. Je vybavena mikroprocesorovým řídicím systémem, který ovládá činnost stroje a je lehce obsluhou naprogramovatelný. Je možné naprogramovat chod stroje a určit technologické parametry. Pomocí řídicí jednotky je také možné provádět diagnostiku vstřikovacího procesu.

## 5. FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ [10],[52]

Forma je nástroj, který je upnutý na vstřikovací stroj mezi pevnou a pohyblivou deskou. Konstrukce formy a její užití definuje kvalitu výrobků i ekonomiku výroby. Proto jsou na formy kladeny následující požadavky.

- Rozměrově přesné a kvalitní výstřiky
- Dostatečná tuhost, aby odolávala vysokým tlakům
- Jednoduché vyjmutí výstřiku
- Nízká cena
- Dobré využití plastu
- Snadná automatizace a obsluha
- Co nejjednodušší konstrukce pro rychlou výrobu

Níže uvedený náčrt na obr.26 popisuje základní části formy se studeným vtokovým systémem. Mezi nejpodstatnější části se řadí tvarová dutina formy, která je tvořena tvárníkem a tvárnicí. Pro tvarově komplikované dílce je nutné použít boční jádra či tvarové vložky. Dalším podstatným systémem je vtokový, který přivádí taveninu ze vstřikovací jednotky do dutiny formy. Temperační systém zajišťuje vhodnou teplotu formy tak, aby docházelo k rovnoměrnému tuhnutí taveniny. Vyhazovací systém slouží k odformování výstřiku a vyhození vtokového zbytku.



Obr.26 Náčrt formy.[52]

### 5.1 Návrh konstrukce formy [10][16][52]

Při návrhu konstrukce formy je nutné postupovat systematicky, neboť se zpravidla jedná o komplikované zařízení, jehož konstrukce bude mít zásadní vliv na kvalitu výrobku i ekonomii výroby. Výchozími podklady pro návrh formy jsou výkres, model výstřiku, násobnost formy, materiál výstřiku. Po získání těchto informací by se měl konstrukční návrh ubírat následujícími kroky.

- a) Rozhodnout o poloze vtoku a zaformování. Při volbě polohy vtoku, dělicí roviny a zaformování je nutné dbát na to, aby řešení bylo co nejjednodušší. Nutné je také zohlednit hrany výstřiku, neboť je vhodné, aby jimi dělicí rovina procházela a tím se nenarušoval vzhled pohledových ploch.

- b) Dále je nutné stanovit rozměry tvarových dutin. Kvůli smrštění je nutné rozměry tvarové dutiny zvětšit. Opotřebení tvarové dutiny se zanedbává, pokud se nejedná o přesné vstříky. Výrobní tolerance se volí přibližně 20% z velikosti smrštění.
- c) Vhodná volba kanálů temperančního systému. Cílem je, aby teplota v dutině formy byla pokud možno ve všech bodech stejná.
- d) Návrh vhodného odvodu vzduchu, aby nedocházelo ke stlačení vzduchu ve formě a tím ohřevu až spálení povrchu taveniny či tvorbě bublin.
- e) Volba materiálu formy musí být v souladu s technologickými podmínkami vstřikování a zatížením formy.
- f) Volba upnutí a vystředění formy na vstřikovacím stroji.

Při návrhu formy je také nutné zohlednit termín dodání formy či výstřiků. Pro urychlení konstrukce se využívají normalizované díly, jako jsou typizované rámy forem, vyhazovače, horké trysky atd., které konstrukci a výrobu usnadňují.

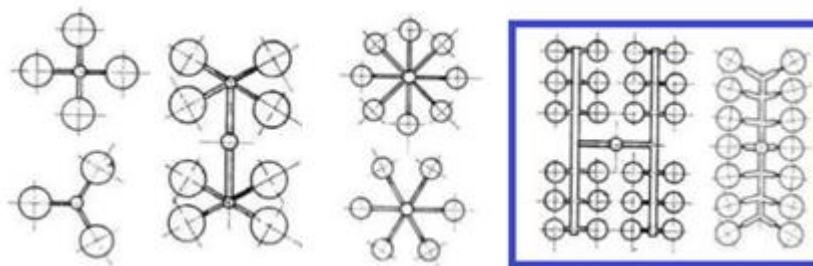
## 5.2 Vtokový systém [29][43][52]

Vtokovým systémem se dopravuje tavenina ze vstřikovací jednotky do tvarové dutiny. K tomuto účelu slouží systém kanálů a ústí vtoku, kterými proudí tavenina. Vhodnou volbou vtokového systému by mělo být zajištěno rovnoměrné plnění tvarové dutiny formy v co nekratším čase a s co nejmenšími odpory. Rovnoměrné plnění je žádoucí z hlediska rozměrové přesnosti a izotropie vlastností výstřiku. Dále by mělo být zajištěno snadné oddělení výstřiku a vyhození vtokového zbytku. Nutné je brát ohled na objem vtokového systému, neboť vyhozený vtokový zbytek v případě studeného vtokového systému je odpadem.

Volba vtokového systému ovlivňuje:

- Rozměrovou přesnost, míru izotropie vlastností, vzhled ploch
- Velikost odpadu
- Nutnost konečné úpravy na výstřiku (začistění stopy po vtoku)
- Energetickou náročnost výroby

Konstrukční řešení vtokového systému je závislé na konstrukci formy a její násobnosti. V případě vícenásobné formy by mělo plnění tvarových dutin probíhat současně za stejných technologických podmínek. Různá řešení vtokových kanálů pro vícenásobné formy, která splňují tyto požadavky, jsou na obr.27. Vtok by měl být umístěn tak, aby dráha proudění taveniny byla co nekratší a tím byly co nejmenší tlakové a teplotní ztráty. Nevhodné umístění vtoku může např. podpořit růst orientace makromolekul, tvorbu studených spojů, pokles izotropie vlastností, nerovnoměrnost krystalizace, zhoršení vzhledu povrchu.



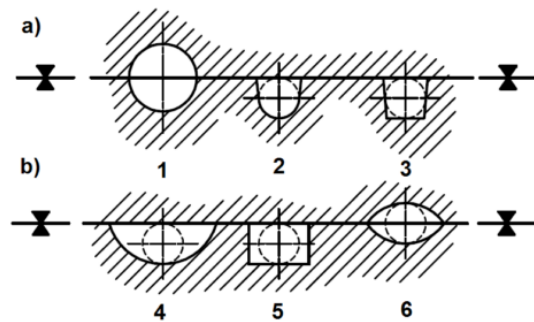
Obr.27 Různé možnosti uspořádání vtokových kanálů.[52]

Na obr.27 jsou znázorněny různé možnosti řešení vtokových kanálů. Upořádaný jsou do hvězdy nebo v řadě. Pokud nejsou všechny kanály ke všem tvarovým dutinám stejně dlouhé, tak je nutné zavést korekci ústí vtoku pro rovnoměrné tlakové podmínky.

➤ *Studený vtokový systém*

Tavenina ze vstřikovací jednotky proudí do tvarové dutiny v kanálech, které jsou vytvořeny ve formě. Tavenina začíná tuhnout ihned, jak opustí trysku vstřikovací jednotky. To vede k tomu, že tavenina tuhne na stěnách kanálů vtokového systému a vytváří tak tepelnou izolaci pro taveninu, která proudí středem kanálu do tvarové dutiny formy. Po zatuhnutí výstřiku včetně plastu v kanálech dojde k vyhození výstřiku i vtokového zbytku.

Vzhledem k tomu, že je cílem přemístit co největší objem taveniny při minimálních tepelných ztrátách, je nejvýhodnějším průřezem kanálu kruh, který zajišťuje maximální průřez a minimální povrch kanálu. Kanál také musí mít dostatečný průřez, aby tavenina nezatuhla dříve, než skončí působení dotlaku. Různá řešení průřezu kanálů jsou na obr.28. Nejlepší je kruhový průřez 1. Jeho nevýhodou však je, že musí být obrobena obě desky, kterými kanál prochází.



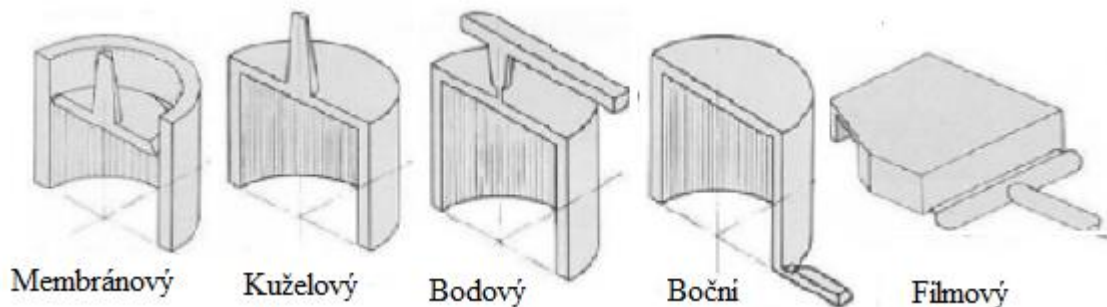
Obr.28 Průřezy kanálů studeného vtoku.[52]

Studený vtokový systém by měl splňovat následující podmínky:

- Co nejkratší kanály pro taveninu.
- Ke všem tvarovým dutinám stejně dlouhé kanály.
- Dostatečný průřez kanálů.
- Stejná rychlost taveniny. (odstupňovaný průřez kanálů, pokud nejsou stejně dlouhé)
- Vhodná poloha vtoku do dutiny, aby se minimalizoval vliv studených spojů.

➤ *Druhy vtoků*

Různé druhy vtoků do tvarové dutiny jsou znázorněny na obr.29. Při volbě vhodného vtoku je nutné především zohlednit požadavek na rovnoměrné plnění dutiny formy.



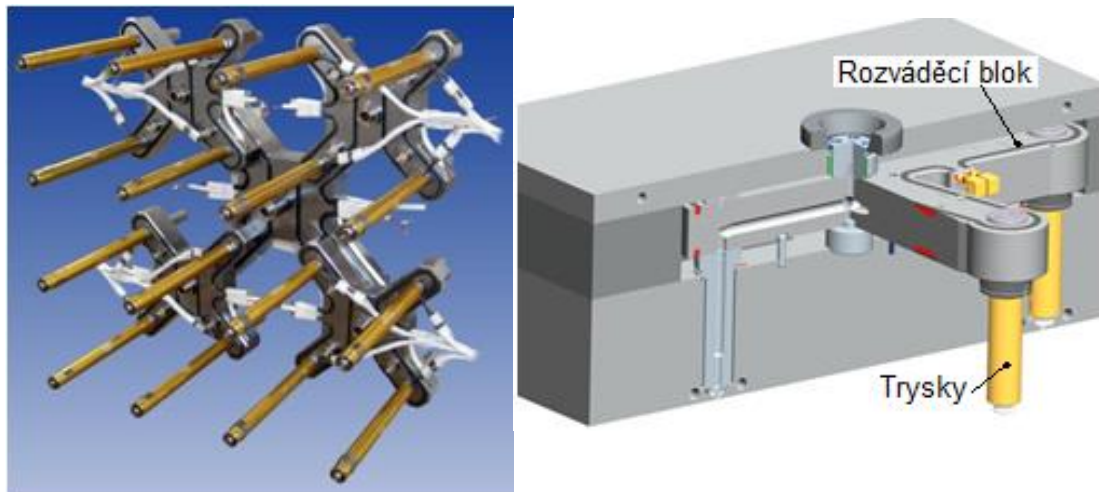
Obr.29 Různé druhy vtoků.[43]

➤ *Horký vtokový systém*

Horké vtokové systémy (viz obr.30) se liší od studených tím, že plast nezatuhne v kanálech, čímž se eliminuje odpad v podobě vtokového zbytku. Horký vtokový systém je tedy vhodné použít pro velkosériovou výrobu. Cena samotného systému a požadavky na vyšší tuhost formy zvyšují její cenu, takže tento systém není vhodný pro malé série.

Při použití horkého vtokového systému může tryska ústít přímo do tvarové dutiny nebo do rozváděcích kanálů studeného vtokového systému. U vícenásobných forem je možné použít vyhřívaný rozváděcí blok s tryskami, které pak ústí přímo do tvarové dutiny formy (obr.30).

Vhodná teplota horkého vtokového systému je řízena pomocí regulátoru a snímačů. Pro větší formy je možné také použít rozváděcí blok s nezávislými topnými okruhy.



*Obr.30 Horké vtokové systémy.[29][43]*

### **5. 3 Temperační systém [33][42][52]**

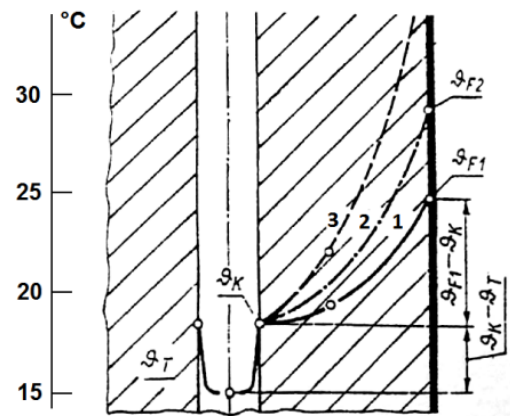
Pro zajištění opakovatelnosti vlastností výstřiku je nutné zaručit, aby doba chladnutí byla u všech výstřiků stejná. Pokud by se forma nechládila, s přibývajícými výrobními cykly by teplota formy stále stoupala a doba nutná pro zatuhnutí výstřiku by se prodlužovala. To je nežádoucí jak z hlediska rozdílných vlastností výstřiků, tak i z hlediska ekonomiky výroby. Za účelem chlazení tvarové dutiny formy je v jejím okolí vytvořena soustava kanálů a dutin, které jsou nazývány temperačním systémem.

Při vstřikování temperačním systémem proudí kapalina, která odvádí teplo přivedené roztaveným plastem pryč od tvarové dutiny formy a tím udržuje konstantní teplotní režim formy. Pro optimální vlastnosti výstřiku je vhodné navrhnout kanály temperačního systému tak, aby teplota v dutině formy byla v rámci možností ve všech bodech stejná a bylo zaručeno rovnoměrné tuhnutí výstřiku. Nerovnoměrné chladnutí může vést k nežádoucím jevům jako je vznik vnitřního pnutí, deformací a trhlinám. Rozdílných teplot lze však i využít za účelem vyvolání vnitřního pnutí, které vede k eliminaci deformace výstřiku.

➤ *Charakteristiky temperačního systému*

Rozlišují se dva základní temperační okruhy podle toho v jaké polovině formy se nachází. Jedná se o chladicí okruh v pohyblivé polovině formy a o okruh v pevné polovině formy. Každý okruh se pak může dělit na podokruhy, které jsou navrhovány podle způsobu zaformování a polohy dělicí roviny. Rozmístění kanálů v jednotlivých okruzích či podokruzích je nutné volit tak, aby teplotní rozdíly ve formě nebyly příliš velké.

Množství tepla, které projde mezi tvarovou dutinou a kanálem temperačního systému, je závislé na tepelné vodivosti  $\lambda$ , tloušťce stěny a rozdílu teplot. Průběh teploty je znázorněn na obr.31. Zásadní vliv má tepelná vodivost. Pokud to situace vyžaduje, je možné pro zvýšení tepelné vodivosti použít měděné či CuBe vložky.



Obr.31 Průběh teploty ve stěně formy. [52]

➤ *Tepelná bilance formy*

V rámci pracovního cyklu musí platit rovnice (5.3.1) mezi přivedeným teplem od taveniny plastu a odvedeným teplem temperačním systémem, do stroje a okolí.

$$Q_P = Q_T + Q_K + Q_{Pr} + Q_Z \quad (5.3.1)$$

kde:  $Q_P$  ... teplo přivedené taveninou plastu

$Q_T$  ... teplo odvedené temperačním systémem

$Q_K$  ... teplo odvedené kondukcí mezi strojem a formou

$Q_{Pr}$ .. teplo odvedené prouděním mezi formou a okolním prostředím

$Q_Z$  ... teplo odvedené zářením mezi formou a okolním prostředím

V praxi je velice komplikované přesně stanovit hodnoty tepla odvedeného kondukcí, prouděním a zářením. Cestou může být výpočet, který je však značně komplikovaný, proto se přistupuje spíše k izolaci a leštění povrchu formy aby se tepelné ztráty minimalizovaly. Izolace mezi formou a vstřikovacím strojem také přispívá k větší tepelné stabilitě uzavírací jednotky.

➤ *Temperační prostředky*

Nejpoužívanějším temperačním médiem je voda. Pokud je nutné temperovat na vyšší teplotu než 100°C, tak je možné použít olej, který má však horší viskozitu. Vodu je také možné použít při vyšší teplotě než 100°C, je však nutné zvýšit tlak natolik, aby nedocházelo k varu. Výhodou oleje je, že nezapříčiňuje vznik koroze, čehož lze dosáhnout u vody její úpravou. Výhodami vody jsou ekologická nezávadnost a nehořlavost.

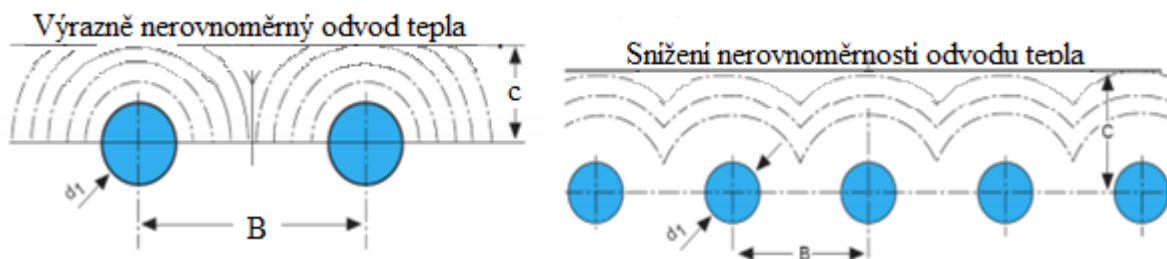
Přenos tepla do temperačního média je závislý na tepelném rozdílu, velikosti styčné plochy, typu média a proudění. V případě turbulentního proudění dochází k daleko lepšímu přenosu tepla, neboť se kapalina neustále mísí a není přenos tepla uskutečněn pouze v krajních vrstvách laminárního proudu kapaliny. Zda bude proudění turbulentní lze odhadnout pomocí Reynoldsova čísla, které by mělo být větší než 2300. Další možnosti

kapalného temperančního média jsou glykoly, které omezují korozi a zanášení kanálů, ale jsou pro životní prostředí závadné.

Vzduch je vhodný pro ochlazení otevřené formy nebo chlazení tenkých tvárnků či jader vyhazovačů. Jako temperanční médium není vhodný, neboť přenos tepla je značně nižší než u kapalných medií.

➤ *Volba temperančních kanálů*

Temperanční kanály se volí v takové vzdálenosti od tvarové dutiny formy, aby nesnížily její tuhost a zajistily dobrý odvod tepla. Dále je vhodné volit spíše více kanálů o menším průřezu než menší počet kanálů o velkém průřezu, neboť to by vedlo k větším rozdílům v maximálních a minimálních teplotách v rámci teplotního pole, což je znázorněno na obr.32. Velikost a průřez kanálů se volí v závislosti na velikosti výstřiku, druhu plastu a rozměru rámu formy. Nejčastěji se používá kruhový průřez kanálů o průměru od 6 do 12 mm dle již uvedených kritérií.



Obr.32 Rozdíl v četnosti a průměru temperančních kanálů. [42]

### 5.4 Vyhazovací systém[6],[52]

Slouží k vyhození zatuhlého výstřiku z otevřené formy. Existuje několik přístupů, kterými lze odformování řešit. Volí se dle konstrukce výstřiku a jeho zaformování s ohledem na to, aby bylo zabráněno deformaci výstřiku vlivem vyhazovací síly.

➤ *Vyhazovací kolíky*

Jedná se o velice jednoduchý způsob odformování, díky tomu je velice často používaný a také levný. Lze ho použít v případě, že jde umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ze směru odformování. Vyhazovače nejčastěji mívají kruhový průřez (viz obr.33) a ve formě jsou uloženy obvykle s tolerancí H7/g6, H7/h6 a H7/j6. Přesnost uložení se volí dle tekutosti plastu a požadované funkce. Výše uvedená uložení zajišťují i odvzdušnění formy.



Obr.33 Vyhazovací kolíky.[34]

➤ *Stírací deska*

Stírací deska funguje na principu stírání výstřiku z tvárníku po celém obvodu. Tento způsob je vhodný především pro výstřiky, u kterých je nežádoucí stopa po vyhazovacím kolíku, či použití stírací desky vyžaduje tvar a zaformování výstřiku. Styčná plocha s výstřikem je zpravidla značně větší než u vyhazovačů. Snížení tlaku vlivem větší plochy má pozitivní vliv na stopu po otlacení i deformaci výstřiku. Z hlediska deformace výstřiku je použití stírací desky vhodné především u tenkostěnných dílů. Jediným omezením pro stírací desku je požadavek na plochu mezi výstřikem a deskou, která by měla být rovná či jen mírně zakřivená.

➤ *Vzduchové vyhazování*

Vzduchové vyhazování pracuje na principu přívodu vzduchu mezi tvarovou dutinu a výstřik, čímž je dosaženo oddělení výstřiku od formy. Vzduchové vyhazování je vhodné použít u tenkostěnných výstřiků, kde by použití vyhazovacích kolíků či stírací desky vedlo k deformaci či porušení vylisku. Kladem vzduchového vyhazování je také naprostá eliminace stopy po vyhazovačích či stírací desce.

Přívod vzduchu mezi tvarovou dutinu a výstřik musí být řešen pomocí ventilů, aby nedocházelo k zatékání plastu do kanálů přivádějících vzduch.

## **5.5 Odvzdušnění [51][52]**

Po uzavření formy je tvarová dutina naplněna vzduchem. Kdyby při plnění formy plastem neměl vzduch kam uniknout, docházelo by k jeho stlačení. Stlačení vzduchu je doprovázeno růstem teploty, neboli Dieslovým efektem, což může vést až ke vzplanutí a spálení plastu.

Přítomnost vzduchu také může zapříčiňovat tvorbu bublin, proto je nutné zajistit dostatečné odvzdušnění tvarové dutiny. Nedostatečné odvzdušnění zvyšuje nutný tlak pro plnění tvarové dutiny. To může vést k vadám, jako je vnesení vnitřního prnutí či nedostříknutí vylisku.

## 6. KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY

Konstrukční návrh se musí skládat z několika kroků. Po rozhodnutí jaký materiál bude použit a jak bude dílec zaformován je nutné navrhnout a zhodnotit:

### ➤ *Násobnost formy*

O násobnosti formy se musí rozhodnout na základě velikosti vyráběné série a termínu dodání.

### ➤ *Vtoková soustava*

Typ vtokové soustavy je nutné zvolit v závislosti na velikosti série. Velikost série přímo ovlivňuje množství celkového odpadu ve formě vtokového zbytku u studené vtokové soustavy.

### ➤ *Volba posuvu bočních jader*

Bočními jádry lze pohybovat buď mechanicky nebo pomocí hydraulických válců. Vhodná konstrukce se musí volit z hlediska způsobu vyjmutí výstřiku.

### ➤ *Volba temperačních kanálů*

Bude provedena dle základních požadavků na temperační systém, kterými jsou:

- zajištění stálosti teploty formy
- rovnoměrné rozložení teploty v dutině formy.

### ➤ *Vyhození výstřiku*

Vzhledem k tvaru dílce se jeví jako optimální použít stírací desku. O způsobu vyhození výstřiku bude rozhodnuto až po určení zaformování.

### ➤ *Volba vstřikovacího stroje*

Bude zvolen dle vypočtených technologických parametrů jako je požadovaná uzavírací síla, plastikační kapacita atd. Dalším rozhodujícím kritériem je velikost formy.

### ➤ *Ekonomické zhodnocení*

Ekonomické hodnocení bude obsahovat celkovou cenu formy a ekonomickou náročnost výroby zadané série.

### 6.1 Volba materiálu výstřiku [3][4][15]

Vhodná volba materiálu je nezbytná z hlediska užitných vlastností výstřiku. Vzhledem k tomu, že dílec bude použit jako kryt vrtačky, je zde kladen požadavek na vyšší tepelnou odolnost. V případě přehřátí přístroje by materiál neměl být hořlavý. Nutné je, aby si plast i za zvýšené teploty zachoval své mechanické vlastnosti a tak plnil svoji funkci držáku satorových plechů. Dále je určitě žádoucí odolnost proti otěru a houževnatost.

### ➤ *Požadavky na materiál výstřiku*

- Odolnost proti mechanickému namáhání
- Odolnost proti zvýšené teplotě (do 60°C)
- Samozhášitelnost
- Odolnost proti otěru a houževnatost

### ➤ *Akulon K222-KWGV4*

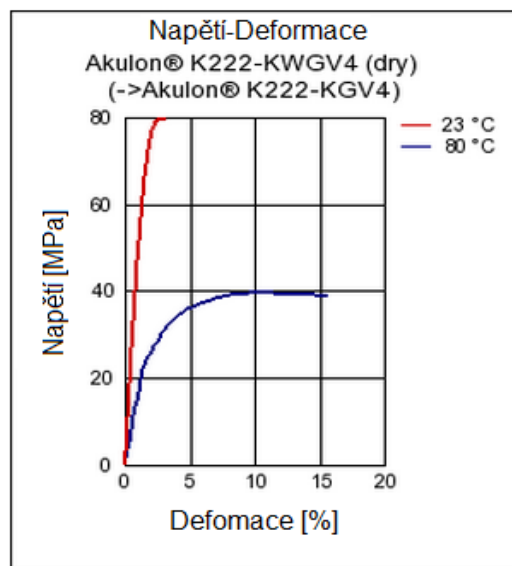
Uvedená kritéria splňuje plast: PA6-GF20 FR(30) s obchodním názvem Akulon K222-KWGV4. Tento plast obsahuje 20% skelných vláken, která by měla zaručit vyztužení plastu pro jeho vyšší mechanickou odolnost. Dále má ve své charakteristice uvedenou zvýšenou tepelnou odolnost. Při teplotě 80°C klesá mez pevnosti na polovinu a závislost napětí na

deformaci a teplotě je znázorněna na obr.34. Očekávané tepelné zatížení je nižší než 80°C, proto by měl materiál z hlediska tepelné odolnosti vyhovovat.

Podstatným kladem tohoto materiálu je jeho samozhášitelnost, která je nezbytnou vlastností v případě poruchy elektrického zařízení. Další vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab.2.

Tab.2 Vybrané vlastnosti plastu PA6-GF20 FR(30) [3]

<b>Mechanické vlastnosti</b>		
E-modul pružnosti	MPa	6200
Rm - Mez pevnosti	MPa	80
A- Tažnost	%	2.5
Kv - Vrubová houževnatost při 23°C	kJ/m <sup>2</sup>	45
Kv - Vrubová houževnatost při -30°C	kJ/m <sup>2</sup>	40
<b>Tepelné vlastnosti</b>		
Tm - Teplota tání	°C	220
Hořlanost	třída	V-2
<b>Další vlastnosti</b>		
Absorbce vody	%	6.5
Absorbce vlhkosti	%	2
Smrštění	%	1
Hustota	kg/m <sup>3</sup>	1360



Obr.34 Závislost napětí deformace[3]

#### ➤ Durethan AKV 25 F30

Další možnou volbou plastu je polyamid 66, s obchodním označením Durethan AKV 25 F30, který obsahuje 25% skelných vláken a retardéry hoření. Tyto přísady ovlivňují vlastnosti plastu stejně jako v případě Akulonu. Od Akulonu se liší dvakrát vyšší mezí pevnosti, lepší houževnatostí, nižší absorpcí vody a menším smrštěním (viz tab.3).

Tab.3 Vybrané vlastnosti plastu Durethan AKV 25 F30[4]

<b>Mechanické vlastnosti</b>		
E-modul pružnosti	MPa	10500
Rm - Mez pevnosti	MPa	150
A- Tažnost	%	2.2
Kv - Vrubová houževnatost při 23°C	kJ/m <sup>2</sup>	50
Kv - Vrubová houževnatost při -30°C	kJ/m <sup>2</sup>	40
<b>Tepelné vlastnosti</b>		
Tm - Teplota tání	°C	260
<b>Další vlastnosti</b>		
Absorbce vody	%	5.5
Absorbce vlhkosti	%	2
Smrštění	%	0.7
Hustota	kg/m <sup>3</sup>	1600

Podstatnou informací také je, že při teplotě 90°C má Durethan stejnou mez pevnosti jako Akulon při 23°C.

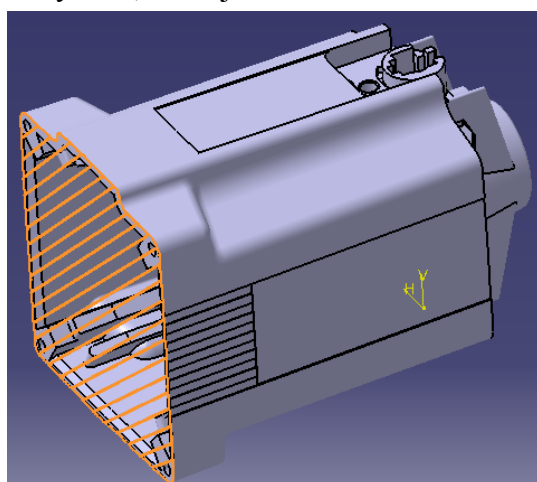
Z porovnání plyne, že PA66 je vhodnějším materiálem pro danou aplikaci. Dobrým ukazatelem pro volbu tohoto plastu je také katalog koncernu Bayer, kde je přímo doporučen pro kryt ruční vrtačky. Volím tedy materiál pro vstřikování Durethan AKV 25 F30.

## 6.2 Technologičnost tvaru výstříku

Již při návrhu plastového dílce, by měla být zohledněna technologičnost výroby a nejen design s cílovou funkcí výstříku. Jedná se často o protichůdné požadavky na cílový výrobek, proto je nutné volit kompromis. Z hlediska technologičnosti výroby u plastových výstříků je nutné zohlednit především polohu dělicí roviny a úkosy pro dobré vyjmutí výstříku z formy.

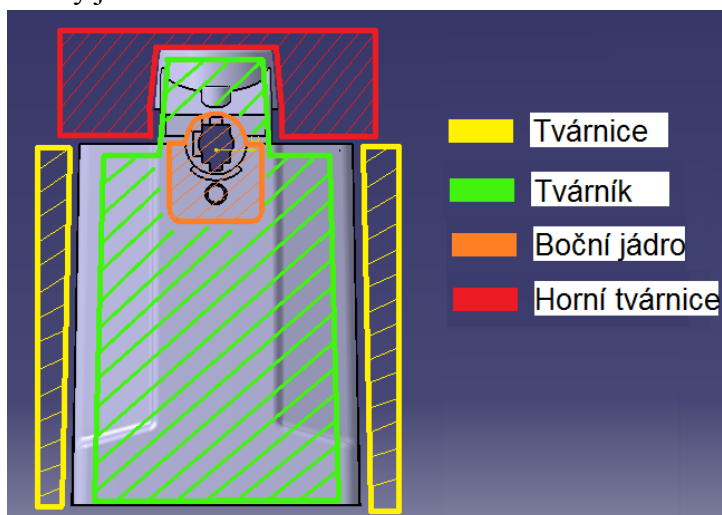
### ➤ *Volba dělicí roviny a zaformování*

Zvolená dělicí rovina je znázorněna na obr.35. Je volena s ohledem na co nejjednodušší zaformování a vyjmutí výlisku, které je řešeno stírací deskou.



Obr.35 Volba dělicí roviny.

Hlavní dutinu výstříku formuje tvárník, na kterém vlivem smrštění zůstane po otevření formy výstřík. Dále je na obr.36 vyznačena poloha tvárnice a bočního jádra. Boční jádra jsou nezbytná, neboť otvory jsou kolmo na osu tvárníku.



Obr.36 Zaformování výstříku.

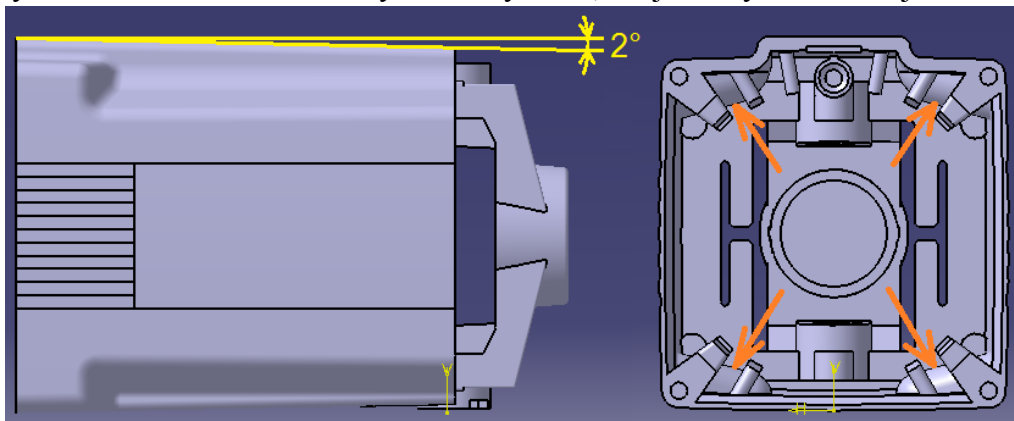
Poloha dělicí roviny nenarušuje pohledovou plochu výstřiku. Jádrem je umístěno tak, aby přechod mezi tvárnici a jádrem procházel hranami dílce. V oblasti otvoru se nejedná o pohledové plochy, takže zde není kladen zvýšený požadavek na kvalitu plochy, ale toto řešení se jeví jako nejjednodušší.

➤ **Úkosy na výstřiku**

Úkosy slouží ke snadnějšímu vyhození vylisku. Úkosy by měly být velké natolik, aby nedocházelo k ulpívání výstřiku v tvarové dutině a deformaci výstřiku při jeho vyhazování. Chladnutím dochází ke smrštění plastu, takže vylisek přilne k tvárníku.

Nejdůležitějším úkosem na výstřiku je úkos v jeho ose, neboť zde je největší styčná plocha s tvárníkem. Pro ulehčení odformování zde byl zvolen úkos  $2^\circ$ , který je znázorněn na obr.37. Úkos není na celém výstřiku stejný, ale nepatrně se mění spíše k vyšším hodnotám.

Problematickou částí z hlediska úkosů, jsou drážky označené oranžovými šipkami, které slouží jako vedení statorových plechů. Blok statorových plechů není vyráběn s úkosem a tak drážky nesmí mít úkos, neboť jinak by na sebe kryt a blok plechů dobře nelícovaly. Nulový úkos zvětší sílu nutnou k vyhození výstřiku, ale je nutný z hlediska jeho užití.



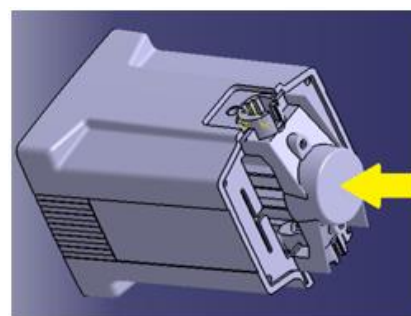
Obr.37 Úkosy a drážky pro statorové plechy.

➤ **Kompenzace smrštění plastu**

Při tuhnutí plastu dochází k jeho smrštění a výsledný výstřik je menší než tvarová dutina formy. Proto se tvarová dutina volí o velikost lineárního smrštění plastu větší, aby se finální výstřik přiblížil požadovaným rozměrům. Tvarová dutina tedy bude o 0.7% větší než vyráběný dílec.

➤ **Volba polohy vtoku do tvarové dutiny formy**

Poloha ústí vtoku je znázorněna na obr.38. Poloha je zvolena tak, aby plnění dutiny bylo co nejvíce rovnoměrné.



Obr.38 Poloha ústí vtoku.

### 6.3 Výpočet výrobních parametrů [4][16]

Budou stanoveny výrobní parametry pro volbu vhodného vstřikovacího stroje. Dále budou vypočtené parametry použity pro prvotní nastavení vstřikovacího stroje při zkouškách formy.

#### 1) Objem plastového výstřiku $V[\text{cm}^3]$

$$V = 141.7 \text{ cm}^3 \quad (6.3.1)$$

Objem byl zjištěn v softwaru Catia V5R20.

#### 2) Výpočet hmotnosti plastového výstřiku $G[\text{g}]$

$$G = \rho \cdot V = 1.6 \cdot 141.7 = 235.6 \text{ g} \quad (6.3.2)$$

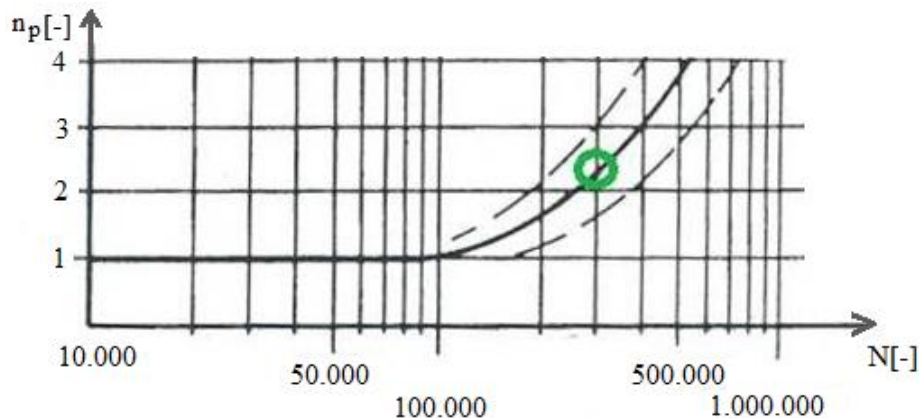
$\rho$ ... hustota plastu [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]

#### 3) Stanovení praktické násobnosti formy $n_p[-]$ .

Je provedeno na základě grafu závislosti praktické násobnosti na četnosti série.

$n_p$ ... praktická násobnost

$N$  ... četnost vyráběné série



Obr.39 Graf pro volbu praktické násobnosti.[16]

Pro  $N = 300\,000$  z grafu plyne, že optimální  $n_p = 2$ .

#### 4) Výpočet vstřikovacího objemu (dávky) $V_d[\text{cm}^3]$

Forma je vybavena horkým vtokovým systémem, takže objem rozváděcích kanálků je nulový. Pak objem vstřikované dávky je:

$$V_d = V \cdot n_p + 3 = 141.7 \cdot 2 + 3 = 286.4 \text{ cm}^3 \quad (6.3.3)$$

#### 5) Stanovení doby vstřikování $t_v[\text{s}]$

Dobu vstřikování je nutné stanovit s ohledem na velikost dávky a viskozitu plastu. Na základě tab.4 definující tuto závislost, se vstřikovací doba pohybuje mezi 3.6 až 4.8s pro dílec o objemu  $250\text{cm}^3$  až  $500\text{cm}^3$ . Materiál PA66 se řadí mezi nízkoviskozní materiály. Vstřikovací doba pak bude:

$$t_v = 3.6 + (4.8 - 3.6) \cdot \frac{(V_d - 250)}{250} = 3.6 + (4.8 - 3.6) \cdot \frac{(286.4 - 250)}{250} = 3.78\text{s} \quad (6.3.4)$$

Tab.4 Doby vstřikování v závislosti na viskozitě a objemu dílce. [16]

Vstřikovaný objem [cm <sup>3</sup> ] přes-do	Doba Vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskozní materiál	Vysokoviskozní materiál
1-8	0.2 - 0.4	0.25 - 0.5	0.3-0.6
8-15	0.4 - 0.5	0.5 - 0.6	0.6-0.75
15-30	0.5 - 0.6	0.6 - 0.75	0.75-0.9
30-50	0.6 - 0.8	0.75 - 1.0	0.9-1.2
50-80	0.8 - 1.2	1.0 - 1.5	1.2-1.8
80-120	1.2 - 1.8	1.5 - 2.2	1.8-2.7
120-180	1.8 - 2.6	2.2 - 3.2	2.7-4.0
180-250	2.6 - 3.6	3.2 - 4.5	4.0-5.5
250-500	<b>3.6 - 4.8</b>	4.5 - 6.0	5.5-7.5

6) Výpočet doby chlazení  $t_k$ [s]

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W}\right) = \frac{3.3^2}{\pi^2 \cdot 0.089} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{290 - 80}{100 - 80}\right) = 26.55s \quad (6.3.5)$$

$s$ ...střední tloušťka stěny dílce [mm]  
 $a_{\text{eff}}$ ...měrná teplotní vodivost [mm<sup>2</sup>/s]  
 $T_M$ ...teplota taveniny plastu [°C]  
 $T_W$ ...střední teplota tvarové dutiny formy [°C]  
 $T_E$ ... střední vyhazovací teplota výlisku [°C]

7) Výpočet doby vstřikovacího cyklu  $t_c$ [s]

Doba vstřikovacího cyklu se skládá nejen z doby vstřikování a chladnutí dílce, ale také z dalších časů, které jsou nezbytné pro uzavření formy a odformování.

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_k + t_3 + t_4 + 2 \text{ až } 3 = 1.0 + 0.5 + 3.78 + 26.55 + 1.5 + 0 + 2.5 = 35.83 \approx 36 \text{ s} \quad (6.3.6)$$

$t_1$ ... doba pro uzavření formy 1.0 až 1.5s [s]  
 $t_2$ ... doba pro přisunutí vstřikovací jednotky 0.0s [s]  
 $t_3$ ... doba pro otevření a vyhození výstřiku 1.0 až 1.5s [s]  
 $t_4$ ... prodleva 0.5s [s]

8) Výpočet termínové násobnosti formy  $n_T$ [-].

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{300\,000 \cdot 36}{1920 \cdot 0.8 \cdot 3600} = 1.95 \approx 2 \quad (6.3.7)$$

$N$ ...četnost série [-]  
 $\tau_p$ ...požadovaný termín dodání [hod]

Termín dodání jsou 4 měsíce, což při třisměnném provozu 80dní → 1920hodin.

$K$ ...faktor využití času 0.7 až 0.9

Násobnost praktická a termínová se shodují, takže forma bude 2 násobná.

9) Výpočet minimální vstřikovací kapacity  $C_v$  [ $\text{cm}^3$ ] vstřikovacího stroje.

$$C_v \cong 1.1 \cdot n_T \cdot V + V_k = 1.1 \cdot 2 \cdot (141.7 + 0) = 311.73 \text{ cm}^3 \quad (6.3.8)$$

$n_T$ ... termínová násobnost formy [-]

$V$ ...objem plastového výstřiku [ $\text{cm}^3$ ]

$V_k$ ...objem rozváděcího kanálku [ $\text{cm}^3$ ]

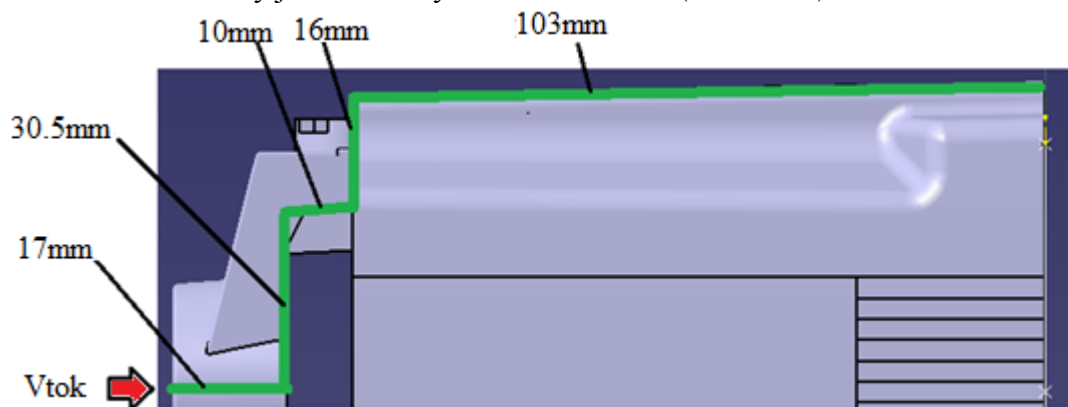
10) Výpočet minimální plastikační kapacity  $C_p$  [ $\text{kg/hod}$ ] vstřikovacího stroje.

$$C_p \cong \frac{4 \cdot n_T \cdot \rho(V + V_k)}{t_c} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 1.6(141.7 + 0)}{36} = 50.38 \frac{\text{kg}}{\text{hod}} \quad (6.3.9)$$

11) Výpočet délky dráhy taveniny  $f_c$  [ $\text{mm}$ ].

$$f_c = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 = 17 + 30.5 + 10 + 16 + 103 = 176.5 \text{ mm} \quad (6.3.10)$$

Jednotlivé délky jsou změřeny v softwaru Catia (viz obr.40).



Obr.40 Délka toku taveniny.

12) Stanovení maximální výpočtové délky dráhy toku taveniny  $L$  [ $\text{mm}$ ].

$$L = m \cdot s^n = 120 \cdot 3.3^{1.77} = 993 \text{ mm} \quad (6.3.11)$$

$m$ ...koeficient rovnice dráhy toku taveniny plastu

$n$ ... exponent rovnice dráhy toku taveniny plastu

(viz příloha č.1)

Platí následující podmínka, takže je zajištěno zatečení taveniny do dutiny formy.

$$f_c < L \rightarrow 176.5 < 993$$

13) Výpočet minimálního plnicího tlaku  $p_f$  [ $\text{bar}$ ]

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1.6} = 3 \cdot 1.7 \cdot 176.5 \cdot 3.3^{-1.6} = 133.3 \text{ bar} \quad (6.3.12)$$

$K_f$ ... faktor schopnosti tečení taveniny plastu [ $\text{bar/mm}$ ]

Byl zvolen z technologické tabulky pro materiál PA66 GF:  $K_f = 1.7 \text{ bar/mm}$

(viz příloha č.1)

Minimální plnicí tlak musí být menší než doporučený vstřikovací tlak pro daný materiál. Doporučený vstřikovací tlak se pohybuje v intervalu od 650 do 1550 bar.

$$p_f < p_v$$

$$133.3 \text{ bar} < 650 \text{ bar}$$

Podmínka platí a tak může být použit plnicí tlak o velikosti  $p_f$ . Jeho přesná hodnota bude stanovena až při zkouškách formy, neboť se jedná pouze o odhad.

**14) Výpočet minimální přidržovací síly  $F_p$  [N] vstřikovacího stroje.**

$$F_p \geq 1.1 \cdot 10^{-3} \cdot n_T \cdot p_v \cdot (A_{proj} + D_K \cdot L_1) = \quad (6.3.13)$$

$$= 1.1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 90 \cdot (6850) = 1356.3 \text{ kN}$$

$p_v$ ... vstřikovací (plnicí) tlak [MPa]

Plnicí tlak volím z intervalu 650 až 1550 bar.

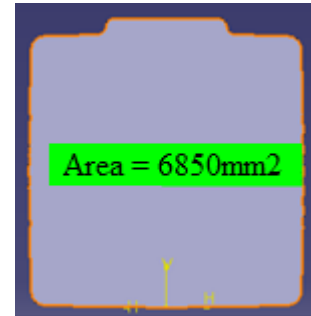
$$p_v = 900 \text{ bar} = 90 \text{ MPa}$$

$A_{proj}$ ... plocha průmětu [mm<sup>2</sup>]

Zjištěno v softwaru Catia:  $A_{proj} = 6850 \text{ mm}^2$  (viz obr.41).

$D_K$ ... průměr rozváděcího kanálku formy [mm]

$L_1$ ... délka rozváděcího kanálku formy [mm]



Obr.41 Plocha průmětu.

**15) Určení optimálního průměru šneku  $D_S$  [mm] vstřikovacího stroje.**

Průměr šneku se volí z řady průměrů:

20,25,30,35,40,45,50,55,60,70,80,90mm

Průměr šneku se volí na základě podmínky:

$$7.5 \cdot \sqrt[3]{V_d} < D_S < 10.5 \cdot \sqrt[3]{V_d}$$

$$7.5 \cdot \sqrt[3]{286.4} < D_S < 10.5 \cdot \sqrt[3]{286.4}$$

$$49.43 < D_S < 69.21$$

Jelikož je požadovaná plastikační kapacita vysoká ( $C_p = 50.62 \text{ kg/hod}$ ) volím průměr šneku 70mm, neboť vstřikovací jednotky s větším průměrem šneku mají vyšší plastikační kapacitu.

**16) Stanovení délky dráhy pohybu šneku  $L_S$  [mm] pro vstřikování dávky  $V_d$ .**

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_S^2}{4 \cdot 10^3} L_S \rightarrow L_S = 1273 \frac{V_d}{D_S^2} = 1273 \frac{286.4}{70^2} = 74.40 \text{ mm} \quad (6.3.14)$$

Platí následující podmínka pro minimální a maximální dráhu šneku, proto může být použita vypočtená dráha šneku.

$$D_S < L_S < 3D_S$$

$$70 < 74.40 < 210$$

**17) Určení otáček šneku  $n_S$  [1/min] vstřikovacího stroje pro plastikaci z maximální obvodové rychlosti  $v$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ].**

$$n_S = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_S} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0.2}{\pi \cdot 70} = 54.5 \doteq 55 \text{ min}^{-1} \quad (6.3.15)$$

$v$  ... maximální obvodová rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] (viz příloha č.1).

18) Výpočet vstřikovací rychlosti  $v_s$  [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ].

$$v_s = \frac{V_d}{t_v} = \frac{286.4}{3.78} = 75.76 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \quad (6.3.16)$$

19) Výpočet průchodu materiálu (taveniny)  $\dot{G}$  [ $\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$ ] ze stroje do formy.

$$\begin{aligned} \dot{G} &= \frac{3.6 \cdot V_d \cdot \rho}{t_c} = \frac{3.6 \cdot 286.4 \cdot 1.6}{36} \\ &= 45.8 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1} \end{aligned} \quad (6.3.17)$$

20) Výpočet tepla  $Q$  [ $\text{kJ} \cdot \text{hod}^{-1}$ ] vneseného taveninou plastu do formy.

$$Q = \dot{G} \cdot \Delta h = 37.68 \cdot 550 = 20\,724 \text{ kJ} \cdot \text{hod}^{-1} \quad (6.3.18)$$

$\Delta h$ ...rozdíl entalpií použitého plastu pro teploty  $T_M$  a  $T_E$  [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

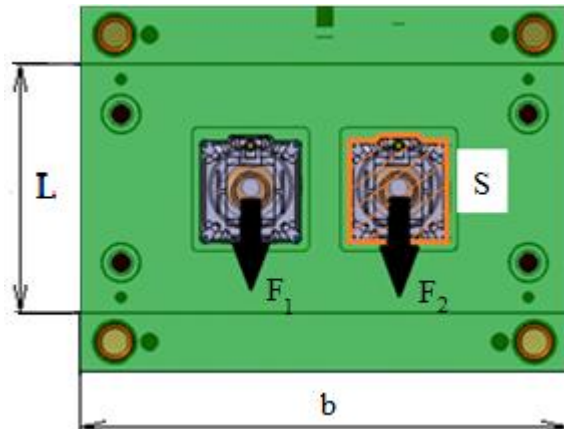
Pro PA66 GF:  $\Delta h = 550$  (viz příloha č.1)

#### 6.4 Průhyb desek [16]

Bude vypočtena velikost průhybu opěrné desky. Odhad bude proveden pro maximální vstřikovací tlak. Působení síly od tvárníku při plnění tvarové dutiny je znázorněno na obr.42.

##### • Vstupní parametry

- Délka:  $b = 396 \text{ mm}$
- Šířka:  $L = 202 \text{ mm}$
- Tloušťka opěrné desky:  $h = 116 \text{ mm}$
- Maximální vstřikovací tlak:  $p_v = 150 \text{ MPa}$
- Plocha průmětu tvárníku:  $S = 6850 \text{ mm}^2$



Obr.42 Znáznornění zatížení opěrné desky.

➤ Síla od jednoho tvárníku při vstřikování  $F_1$  [ $\text{N}$ ]

$$F_1 = p_v \cdot S = 150 \cdot 6850 = 1\,027\,500 \text{ N} \quad (6.4.1)$$

➤ Celková síla  $F_c$  [ $\text{N}$ ]

$$F_c = F_1 + F_2 = 1\,027\,500 + 1\,027\,500 = 2\,055\,000 \text{ N} \quad (6.4.2)$$

➤ Kvadratický moment pro oboustranně vetknutou desku  $J$  [ $\text{mm}^4$ ]

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{396 \cdot 116^3}{12} = 51509568 \text{ mm}^4 \quad (6.4.3)$$

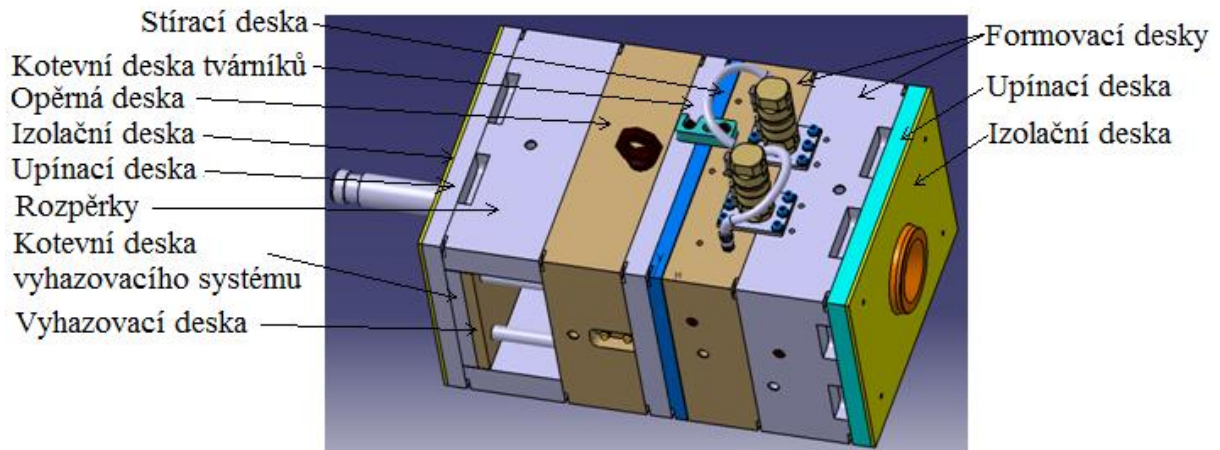
➤ Velikost průhybu desky  $y$  [ $\text{mm}$ ]

$$y = \frac{F_c \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J} = \frac{2\,055\,000 \cdot 202^3}{48 \cdot 206\,000 \cdot 51509568} = 0.03309 \text{ mm} \quad (6.4.4)$$

Vypočet byl proveden pro maximální vstřikovací tlak. Reálný vstřikovací tlak bude s vysokou pravděpodobností nižší. Proto je velikost průhybu opěrné desky vyhovující.

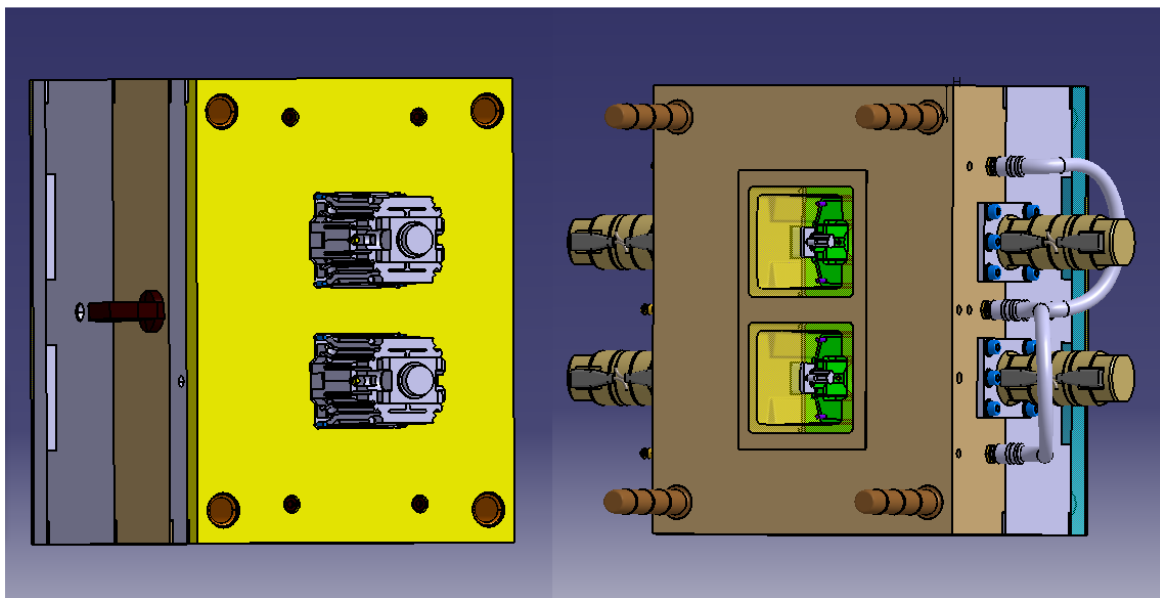
## 6.5 Návrh sestavy

Při návrhu byly využity normalizované desky od firmy HASCO o formátu 296x396 mm. Jejich poskládání je znázorněno na obr.43. Desky jsou již opatřeny otvory pro sloupky, vedení a šrouby. Při návrhu jsem se snažil použít maximum normalizovaných dílů, pro ulehčení práce nástrojárně.



Obr.43 Jednotlivé desky formy.

Představu o funkci jednotlivých desek lze získat z obr.44, na kterém je forma otevřená.



Obr.44 Pohled do otevřené formy.

## 6.6 Materiál formy [13][14][27][28]

### ➤ Ocel pro tvárník, tvárnici a boční jádra

Plast je plněn skelnými vlákny, která mají abrazivní účinek na dutinu formy. Proto byla zvolena následující ocel.

Tab.5 Označení materiálu pro tvarovou dutinu.[14]

	EN ISO 4957	EN 10027-2	ČSN
Označení	X210Cr12	1.2080	19 436
Tvrdost po zušlechtní: 60 HRC			

**Použití:** Ocel nachází uplatnění při výrobě malých forem s velkou životností pro tváření plastických a práškových hmot, skla, porcelánu a keramických materiálů. U nástrojů na drčení a mletí se používá na kladiva drtičů a čelisti pro jemné mletí a drčení.

➤ **Ocel pro desky**

Tab.6 Označení oceli pro desky.[13]

	EN ISO 4957	EN 10027-2	ČSN
Označení	C45U	1.1730	19 083
Tvrdost po zušlechtění: 56 HRC			

**Použití:** Pro zámečnické a montážní náradí, na nástroje k obrábění dřeva, kalené součásti forem např. základové desky, pouzdra, sloupky, dorazy, pružící součástky a výrobky apod. Dále je ocel vhodná na zemědělské, kovářské a zednické náradí.

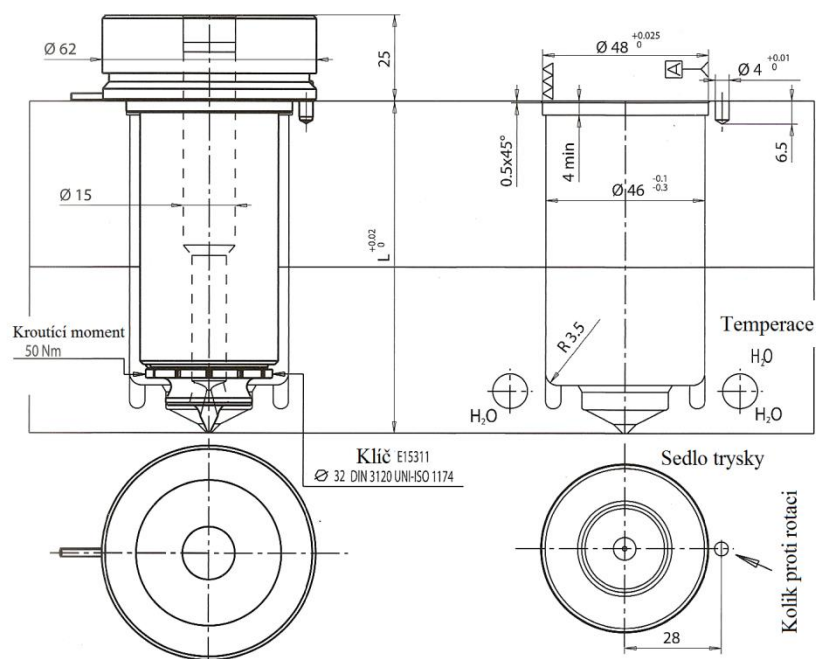
Bližší informace ke zvoleným ocelím lze nalézt v příloze č.2.

### 6.7 Horká vtoková soustava [45][46]

Forma bude vybavena horkou vtokovou soustavou, která je zvolena vzhledem k velikosti série (N=300 000). Horké trysky budou ústít přímo do tvarové dutiny, takže bude ušetřen veškerý plast, který by jinak zatuhl ve studeném vtokovém systému.

Horká vtoková soustava se skládá ze dvou trysek a rozváděcího bloku a byla vybrána od firmy Thermoplay na základě doporučení firmy Svoboda s.r.o. Vzhledem k faktu, že vtok je umístěn na nepohledovou část výstřiku, není nutné použít uzavírací trysku, což snižuje její cenu. Dále byla zvolena tryska vhodná pro plněné materiály, aby lépe odolávala abrazivním účinkům skelných vláken. Průměr kanálu je 15mm aby nedocházelo k degradaci plastu vlivem velkých smykových rychlostí. Průměr ústí vtoku je 2.5 mm.

Vyhřívaný rozváděcí blok je zvolen s roztečí 120mm pro 2 trysky o délce 76mm. Další rozměry trysky jsou na obr.45 a podrobné údaje v příloze.3. Vzhledem k vyšší teplotě, jsou topná tělesa na základě doporučení Thermoplay v rozváděcím bloku zakrytovaná.



Obr.45 Nákras horké trysky.[46]

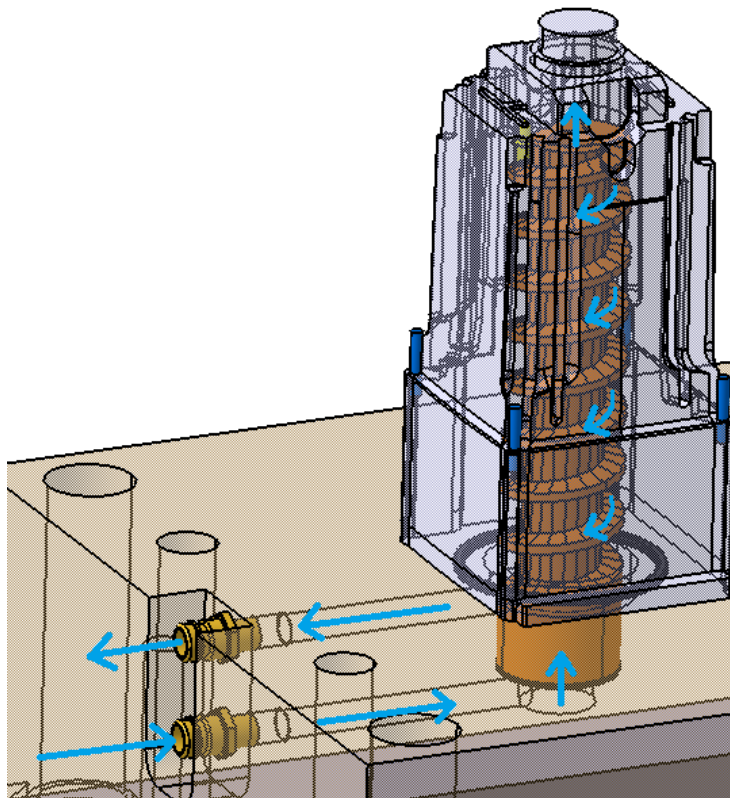
## 6.8 Temperační systém formy

Teplota formy by měla být 80°C, takže jako temperační médium volím vodu. Dosažení konstantního tepelného režimu formy je zajištěno pomocí 8 temperačních okruhů. Tvárnice má 3 temperační okruhy a tvárník jeden okruh. Průměr kanálů u tvárnice byl zvolen 8mm. Průtok temperačního media ve tvárníku je řešen pomocí spirálového jádra a průřez kanálu zde není konstantní, přibližně by měl odpovídat kanálu o průměru 10mm.

Vzhledem k tvaru a způsobu zaformování je komplikované vést temperační kanály ve formovacích deskách tak, aby byl odvod tepla rovnoměrný. Daleko lépe se tohoto požadavku dosáhne u tvárníku, který díky masivnímu spirálovému jádru má vzdálenosti mezi tvarovou dutinou a kanálem prakticky ve všech bodech stejné.

### ➤ *Temperační okruh tvárníku*

Temperační okruh tvárníku je řešen pomocí jednoho spirálového jádra (viz obr.46), jehož středem proudí voda k vrcholu tvárníku a zpět se vrací spirálou. Těsnost mezi opěrnou deskou a tvárníkem je řešena pomocí o-kroužků. Koncovky jsou zapuštěny, aby bylo možné položit formu na bok.



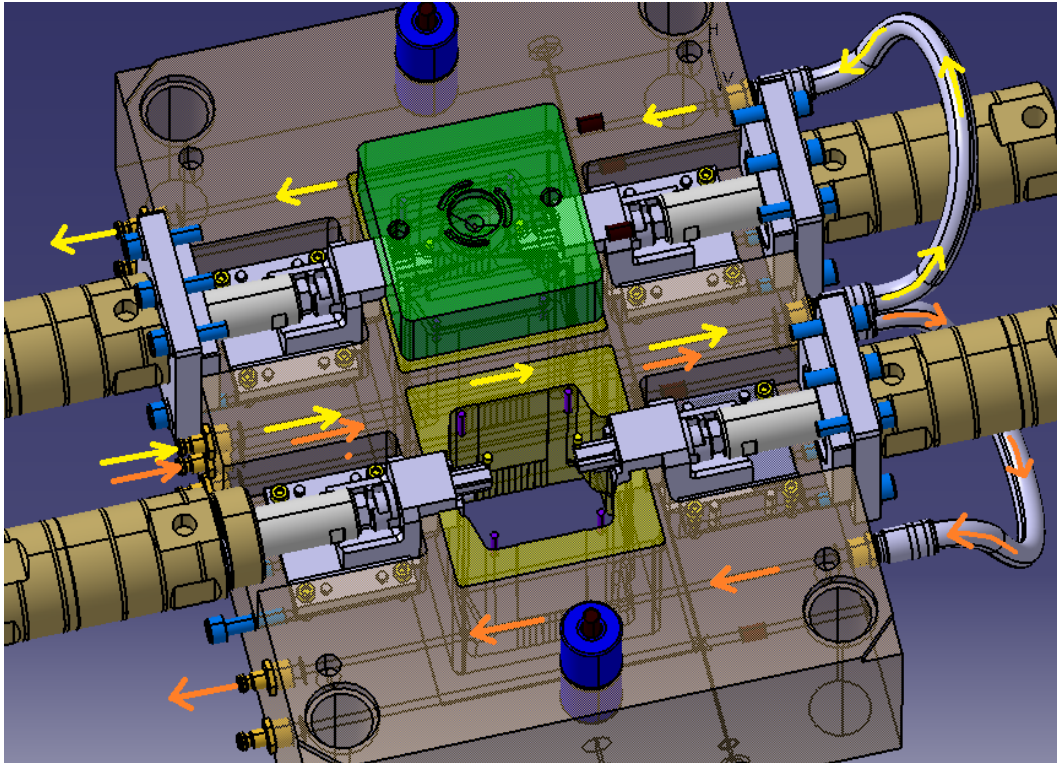
Obr.46 Temperační okruh tvárníku.

➤ **Temparační okruhy tvárnice**

Každá tvarová dutina má 3 temperační okruhy.

• **1. Temparační okruh**

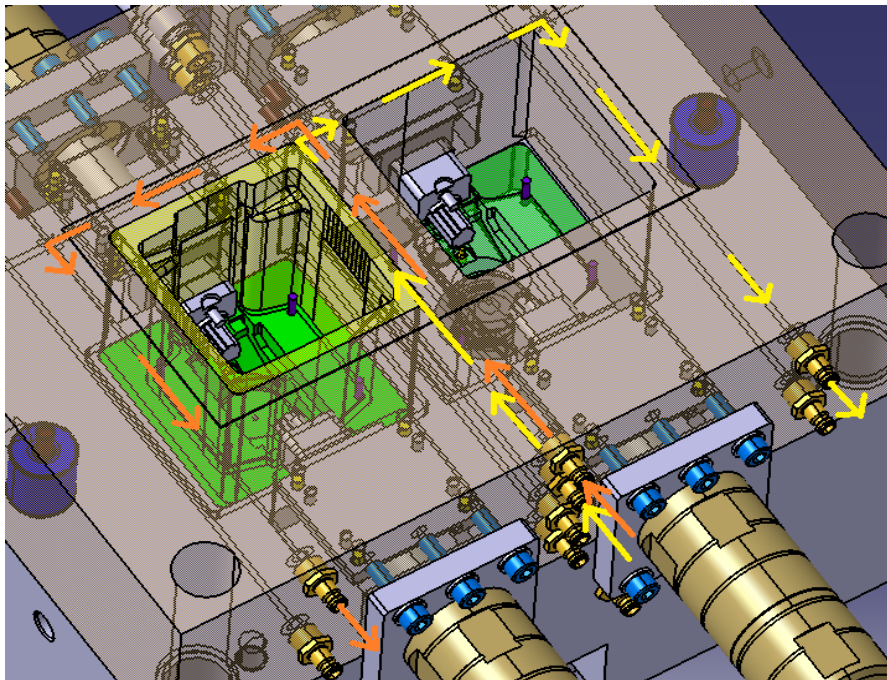
U okruhů znázorněných na obr.47 bylo nutné použít hadice pro vedení temperačního média okolo hydraulických válců.



Obr.47 1.temparační okruh tvárnice.

• **2. Temparační okruh**

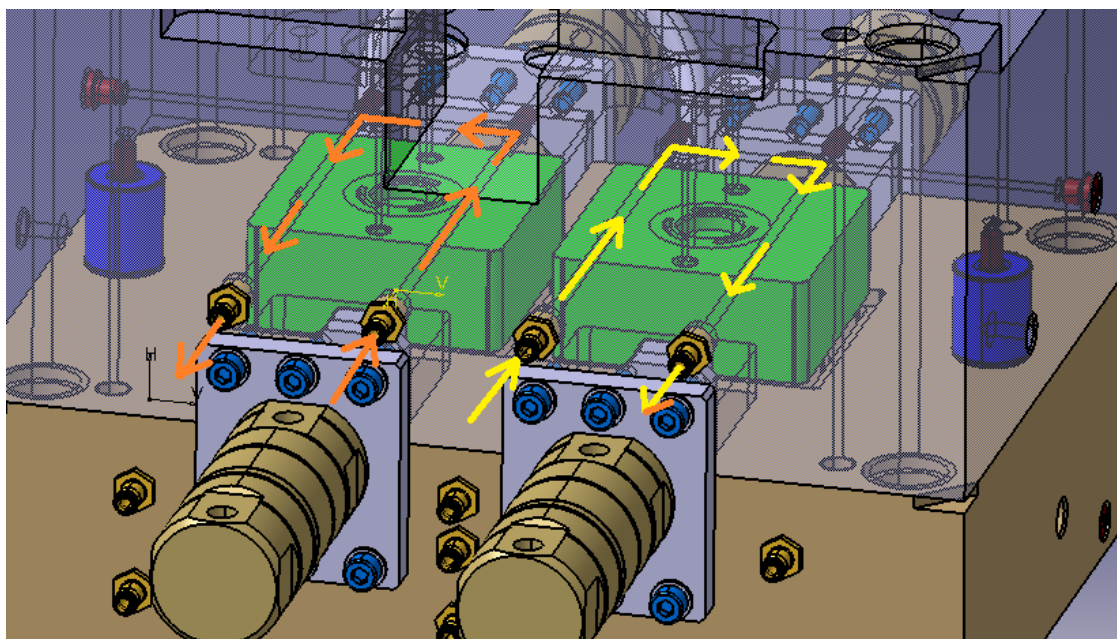
Pro uchování možnosti vyčištění kanálů jsou příčné kanály uzavřeny zátkami až na okraji desky.



Obr.48 2.temparační okruh tvárnice.

- **3. Temperační okruh**

Příčné kanály jsou opět opatřeny zátkami pro možnost čištění.

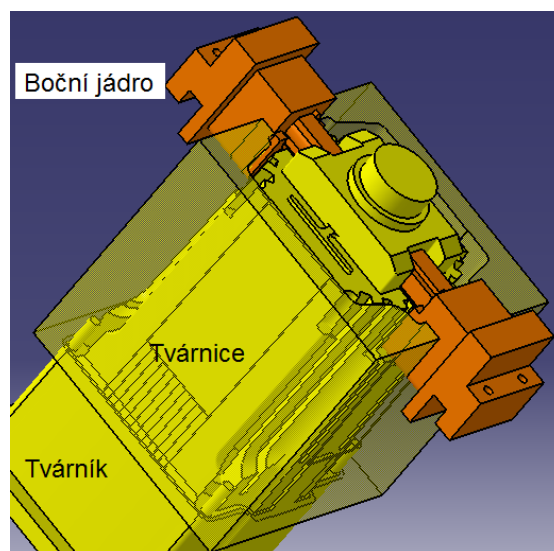


Obr.49 3.temperační okruh.

### 6.9 Boční jádra [25][47]

Jak již bylo uvedeno při volbě zaformování, je nezbytné použít boční jádra. Jejich pohyb může být zajištěn pomocí šikmých trnů nebo hydraulických válců. Řešení pomocí šikmých trnů je značně levnější, ovšem pro daný způsob zaformování nevhodné z následujících důvodů. Po vstříknutí taveniny a jejím ztuhnutí dojde vlivem smrštění k přilnutí výstřiku na tvárník. Pohyb bočních trnů je vázán na pohyb dělicí roviny, nebo-li boční jádra se nepohnou dříve než dělicí rovina. Vlivem této situace by při otevření formy došlo ke stažení výstřiku z tvárníku, neboť by stále držel na bočních jádrech. Celá síla nutná ke stažení výstřiku z tvárníku by se přenesla na boční jádra, což by mohlo vést k plastické deformaci otvorů na výstřiku. Dalším negativem je, že by výstřik zůstal ve tvárnici.

Pro znázornění situace je zde uveden obr.50, který zobrazuje vzájemnou polohu tvárníku, tvárnice a bočních jader.

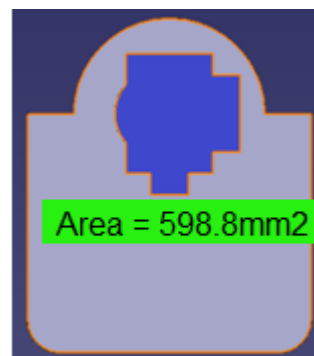


Obr.50 Uspořádání tvarové dutiny.

Z uvedených důvodů je tedy vhodné použít hydraulické válce, které před otevřením formy vytáhnou boční jádra.

### ➤ **Hydraulické válce**

Volba hydraulických válců musí vycházet z tlaků v tvarové dutině při vstřikování. Válec musí působit dostatečně velkou silou, aby nedošlo k pohybu tvarového jádra ve směru působícího tlaku. Vstřikovací tlak se u plastu PA66 pohybuje v intervalu 650 až 1500 barů. Vtoková soustava není složitá a tak nelze počítat s velkými tlakovými úbytky. Plocha průmětu jádra ve směru jeho pohybu je znázorněna na obr.51. Při provozu formy, lze očekávat, že vstřikovací tlak bude nižší než maximální, avšak není jasné jaký, neboť jeho hodnota se optimalizuje až při zkouškách formy. Proto je vhodné, aby konstrukční řešení vyhovovalo co nejširšímu intervalu možných nastavením při zkouškách a provozu formy.



Obr.51 Průmět jádra.

Sílu, kterou musí vyvodit hydraulický válec, aby se jádro nehnulo při maximálním tlaku 1500 barů:

$$F = p \cdot S_j = 150 \cdot 598.8 = 89\,920 \text{ N} \quad (6.9.1)$$

$p$ ... Maximální vstřikovací tlak [MPa]

$S_j$ ... Průmět bočního jádra [mm<sup>2</sup>]

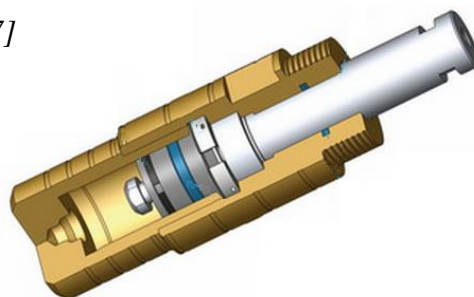
#### • **Volba hydraulických válců**

Hydraulický válec, který je schopný vyvinout takto velkou sílu musí být vzhledem k rozměrům formy značně robustní nebo mechanicky uzamykatelný. Mechanicky uzamykatelné válce jsou samozřejmě značně dražší, ale pro tuto aplikaci vhodné, neboť hydraulický válec bez mechanického zamykání, který je schopný vyvinout dostatečnou sílu musí mít průměr pístu minimálně 100mm. Hydraulický válec s mechanickým zamykáním postačí o průměru pístu 36mm.

Jako dostačující byl vybrán válec od firmy VEGA Cylinders s katalogovým označením CF036N035, který udrží jádro do tlaku 133 MPa. Jeho parametry jsou uvedeny v tab.7.

Tab.7 Parametry hydraulického válce CF036N035[47]

Průměr pístu	36 mm
Zdvih	35 mm
Síla po uzamknutí	80 kN
Tlak pro udržení uzamknutí	5 MPa
Tlaková síla při tlaku 16 MPa	16 kN
Tahová síla při tlaku 16 MPa	8 kN



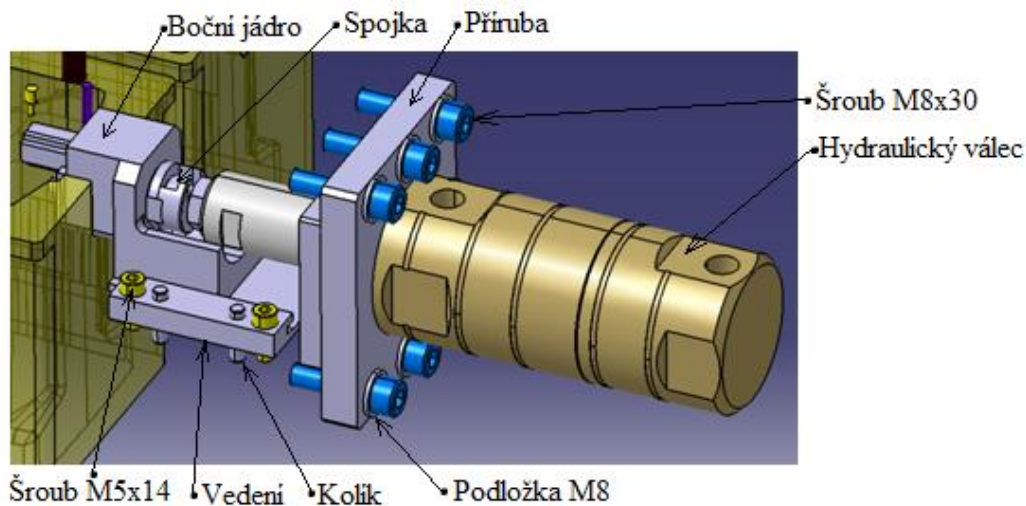
Obr.52 Hydraulický válec CF036N035 [47]

Použití hydraulických válců se zamykáním vyžaduje dodržení následujících konstrukčních podmínek, které plynou z jejich funkce.

- 1) Pro správnou funkci musí válec vždy pracovat v koncové poloze a to jak ve vysunutém tak i zasunutém. Lze se tak vyvarovat neuzamknutí válce a v případě zasunutého válce tlakovým šokům.
- 2) Pro zcela bezpečné udržení uzamknutého válce je nutné vyvozovat tlak minimálně 120 barů.
- 3) Nutné je dbát zvýšené pozornosti při odhadu tažné síly, neboť je vždy menší než tlaková.

### ➤ Vedení bočních jader

Vedení bočních jader je řešeno pomocí kluzného vedení znázorněného na obr.53. Vedení má zajištěnou svoji polohu pomocí 4 šroubů a 4 kolíků. Axiální posuv je zajištěn výše uvedeným válcem, který je spojen s bočním jádrem pomocí spojky. Spojka toleruje malé radiální vůle pro usnadnění montáže. Hydraulický válec má ve své přední části závit (viz obr.52), kterým je uchycen k přírubě. Příruba je spojena s deskou formy pomocí 6 šroubů M8x30. Otvory v přírubě mají zkosené hrany a šroubové spojení je opatřeno podložkami, aby byla minimalizována šance vzniku vrubu od ořepů, které mohou vzniknout při obrábění.



Obr.53 Vedení bočních jader.

Z hlediska tuhosti je kritickým článkem šroubový spoj pro uchycení příruby k desce. Proto bude zkontrolována tuhost šroubového spojení.

- Tuhost jednoho šroubu

$$k_s = \frac{S_d \cdot A_s \cdot E}{S_d \cdot l_s + A_s \cdot l_g} = \frac{50.26 \cdot 36.6 \cdot 206000}{50.26 \cdot 6.7 + 36.6 \cdot 3.7} = 802\,564 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (6.9.2)$$

$S_d$ ...plocha průřezu válcové části dřívku	[ $\text{mm}^2$ ]
$A_s$ ...výpočtový průřez šroubu	[ $\text{mm}^2$ ]
$E$ ...modul pružnosti	[ $\text{MPa}$ ]
$l_s$ ...účinná svěrná délka	[ $\text{mm}$ ]
$l_g$ ...délka válcové části dřívku	[ $\text{mm}$ ]

- Celková tuhost šroubového spojení

$$k_c = \frac{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6)}{(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6)} \quad (6.9.3)$$

$k_c$ ...celková tuhost šroubového spojení	[ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ]
$k_{1..6}$ ...tuhost jednotlivých šroubů	[ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ]

- Všechny šrouby jsou stejné, takže vztah (6.9.3) lze zjednodušit

$$k_c = \frac{k_s^6}{6k_s} = \frac{802564^6}{6 \cdot 802564} = 5.549 \cdot 10^{28} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (6.9.4)$$

- Předpokládaná deformace šroubů při maximálním vstřikovacím tlaku

$$\Delta y = F/k_c = 89\,920 / 5.549 \cdot 10^{28} = 1.623 \cdot 10^{-24} \text{mm} \quad (6.9.5)$$

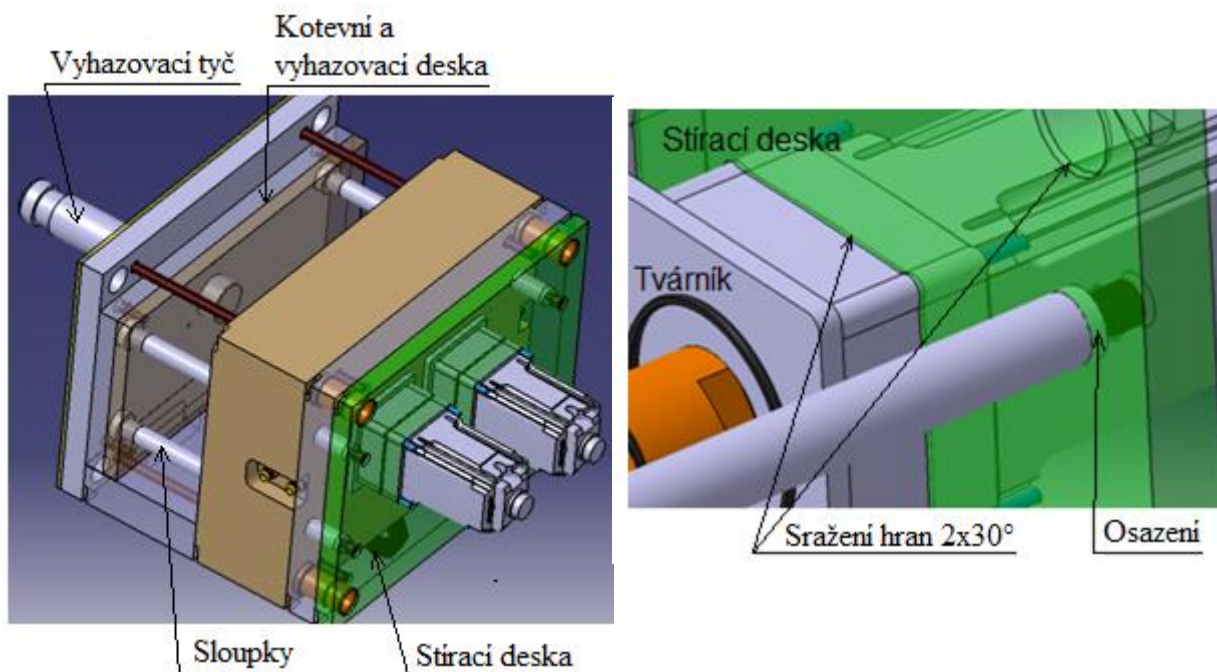
$F$ ...Síla působící na jádro při maximálním vstřikovacím tlaku [N]

Z výše uvedených výpočtů plyne, že šroubový spoj vyhovuje, neboť deformace odhadnutá z tuhosti šroubového spojení a síly působící na jádro při maximálním vstřikovacím tlaku je zcela zanedbatelná.

## 6.10 Vyhazovací systém

Vyhození výstřiku je řešeno pomocí stírací desky. Pohyb stírací desky je zajištěn pomocí 4 sloupků, které jsou uchyceny mezi kotevní a vyhazovací desku. Kotevní deka, je opatřena závitovým otvorem pro vyhazovací tyč, která dále pokračuje do vstřikovacího stroje a je vedena středícím kroužkem.

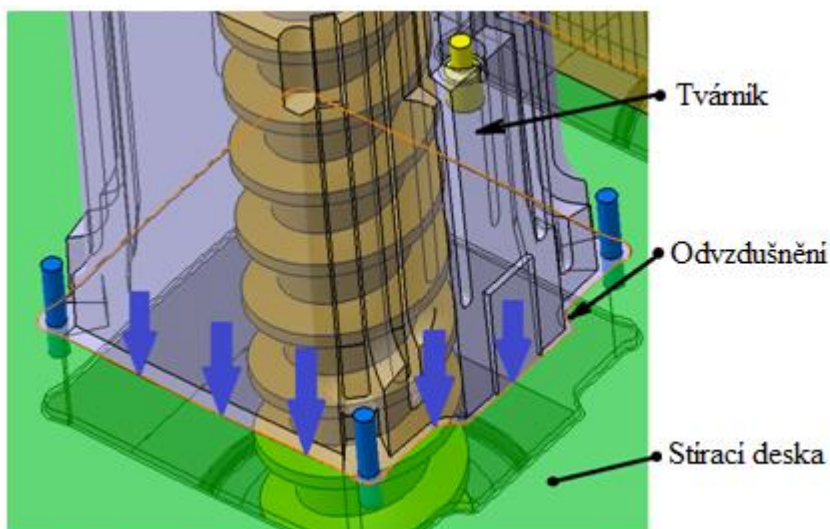
Pro zaručení shození výstřiku z tvárníku je posuv stírací desky 101mm což je 80% z výšky tvárníku. Hrany stírací desky, které musí při zpětném pohybu najet na tvárník a současně vodící pouzdra mají sražení 2x30°. Vodící sloupky jsou ve stírací desce osazeny (viz obr.54), aby byla zajištěna jejich vzájemná poloha.



Obr.54 Vyhazovací systém.

## 6.11 Odvzdušnění

Odvzdušnění formy je voleno do mezery mezi stírací desku a tvárník, jak je znázorněno na obr.55. Tavenina proudí do tvarové dutiny od vtoku směrem k dělicí rovině, takže v této oblasti by měl být vzduch pod maximálním tlakem. Bez simulace toku taveniny však není dopředu jasné, která část tvarové dutiny se bude plnit jako poslední. Přesné umístění kanálů odvzdušnění bude voleno dle zkoušek formy a polohy spálených míst na výstřiku. Následně pak bude vybroušen kanál o tloušťce 0.03mm a délce zvolené dle velikosti spáleného místa.

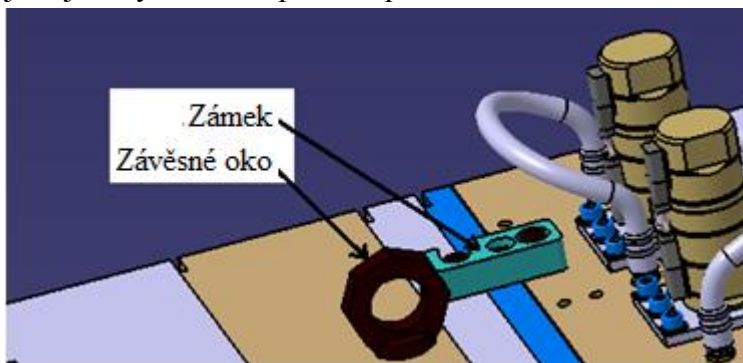


Obr.55 Odvzdušnění tvarové dutiny.

## 6.12 Další konstrukční prvky

### ➤ Usnadnění manipulace

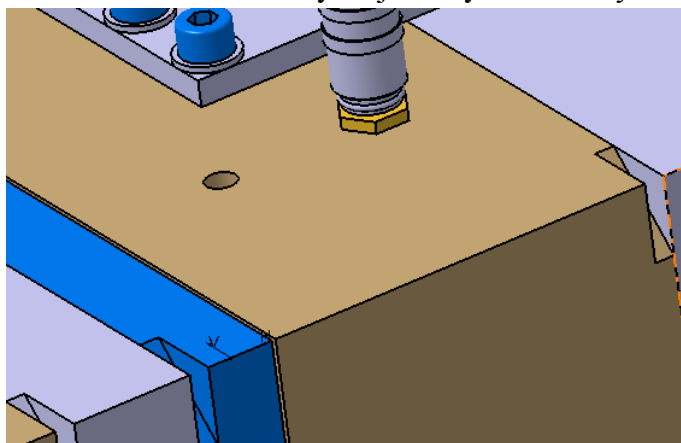
Pro usnadnění manipulace s formou, je opěrná deska opatřena závěsným okem do 750 kg. Hmotnost formy je 523 kg, což je 1.43 krát méně než nosnost oka. Oko bylo umístěno co neblíže těžišti, tak jak to konstrukce formy dovolila. Dalším prvkem pro ulehčení manipulace je zámek, který zajišťuje, aby se forma při transportu neotevřela.



Obr.56 Závěsné oko a zámek.

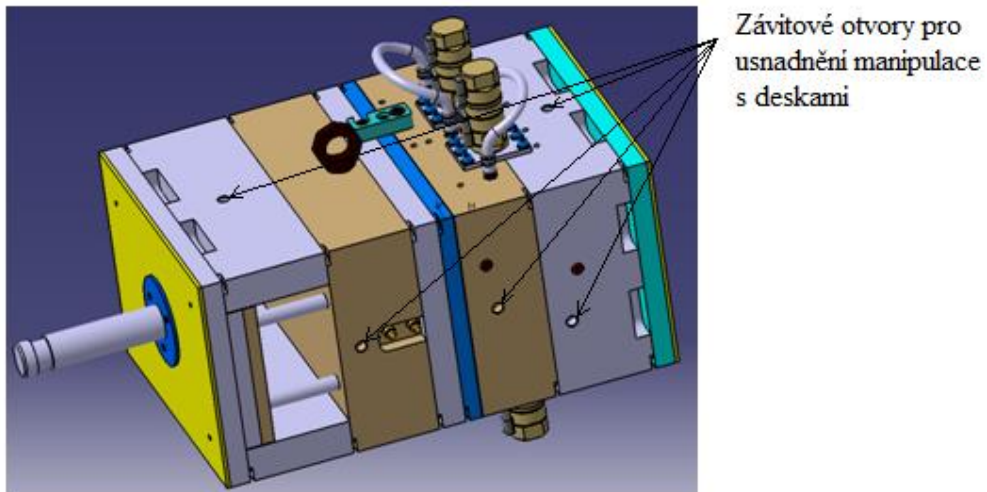
### ➤ Usnadnění skládání formy

Pro jednodušší skládání a rozebírání formy mají desky v rozích vybrání (viz obr.57).



Obr.57 Trojúhelníkové vybrání rohů desek.

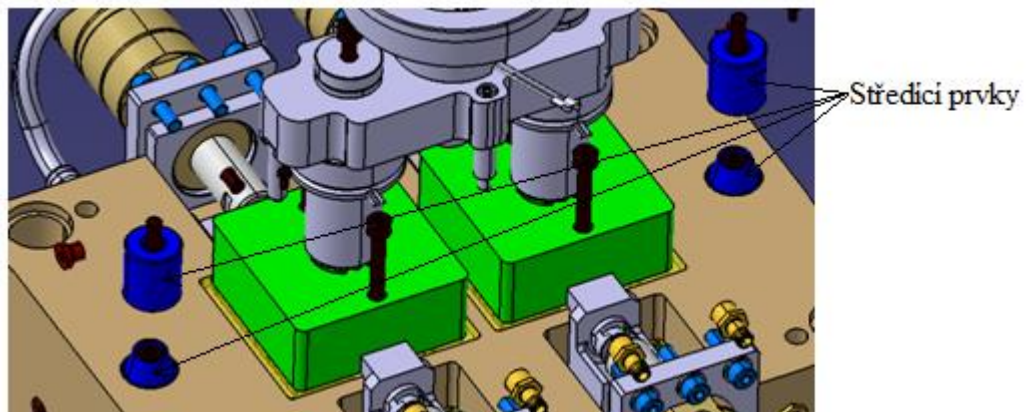
Pro ulehčení manipulace jsou desky opatřeny závitovými otvory, do kterých lze našroubovat závěsného oko či závitovou tyč.



Obr.58 Závitové otvory na deskách.

➤ *Vzájemná poloha formovacích desek*

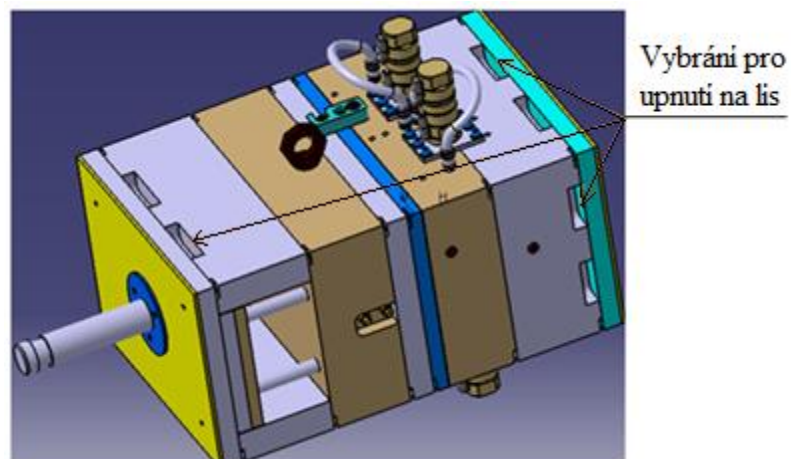
Pro určení přesné polohy mezi tvárnici a horní tvárnici jsou použity dva kuželové středící segmenty ve formovacích deskách (viz obr.59).



Obr.59 Středící prvky.

➤ *Upnutí na vstříkovací stroj*

Upnutí formy na lis není řešeno pomocí přesahu desek ale vybráním, které umožňuje upnutí (viz obr.60).



Obr.60 Vybrání pro upnutí na stroj.

### 6.13 Volba vstřikovacího stroje [1][25]

Vhodný vstřikovací stroj musí splňovat několik požadavků v závislosti na velikosti formy a požadovaném objemu vstřikovaného plastu. Především se jedná o parametry:

- Uzavírací síla
- Průměr šneku
- Minimální výška formy
- Vzdálenost mezi sloupky
- Světlost mezi upínacími deskami
- Maximální objem dávky
- Minimální plastikační kapacita

Jako vhodný vstřikovací stroj byl zvolen Allrounder 570S od výrobce ARBURG. Menší typ Allrounder 520S není vhodný, neboť jeho maximální otevření je 825mm a výška otevřené formy je 900mm. Další parametry jsou uvedeny v tab.8. Podrobné údaje o vstřikovacím stroji jsou uvedeny v příloze č.4.



Obr.61 Vstřikovací stroj Allrounder 570 S.[25]

Tab.8 Parametry vstřikovacího stroje Allrounder 570S [1]

Parametry stroje	Jednotky	Hodnoty stroje	Požadované hodnoty
Uzavírací síla	[kN]	2200	1357
Průměr šneku	[mm]	55/60/70	70
Minimální výška formy	[mm]	250	647
Maximální výška formy	[mm]	650	647
Světlost mezi upínacími deskami	[mm]	900	900
Vzdálenost mezi sloupky	[mm]	570x570	396
Maximální objem dávky	[cm <sup>3</sup> ]	904	312
Minimální plastikační kapacita	[kg/h]	58	50.38
Maximální vstřikovací tlak	[bar]	2380	1500

## 7. TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [12][16][21][46][47]

Je stanovena celková ekonomická náročnost vyráběné série, což obsahuje určení ceny formy, vstříkovaného materiálu a nákladů na provoz stroje včetně obsluhy. Z celkových nákladů, lze pak určit cenu jednoho výstřiku.

Při výpočtech je dbáno na jejich maximální věrohodnost. Bohužel ne všechny údaje lze zjistit a tak jsou odhadovány. Jedná se především o ceny obrábění a tepelného zpracování. Základní údaje, z kterých bude výpočet vycházet jsou v tab.9.

Tab.9 Vstupní hodnoty technicko ekonomického hodnocení. [16]

Vstupní hodnoty		
Cena vstříkovaného materiálu	Kč/kg	96
Cena elektrické energie	Kč/kWh	5.5
Velikost série	ks	300 000
Doba vstříkovacího cyklu	s	36
Cena stroje	Kč	3 080 000
Příkon stroje	kW	63
Koeficient opotřebení stroje	-	0.9
Hrubá mzda obsluhy	Kč/hod	130
Návrat nákladů investovaných do stroje	rok	6
Hmotnost výstřiku	g	235.6
Násobnost formy	-	2
Měnový kurz CZK/EUR (dne 30.4 2014)	Kč/Eur	27.5

### 7.1 Náklady na materiál výstřiků $N_m$ [Kč]

- Náklady na materiál jednoho výstřiku

$$N_m = A_m \cdot G = 96 \cdot 0.2356 = 22.62 \text{ Kč} \quad (7.1.1)$$

$A_m$  ...cena plastu PA66 GF25 [Kč/kg]

$G$  ...hmotnost jednoho výstřiku [kg]

- Náklady na materiál všech výstřiků  $N_t$ [Kč]

$$N_t = N_m \cdot N = 22.62 \cdot 300\,000 = 6\,786\,000 \text{ Kč} \quad (7.1.2)$$

$N$  ...velikost série [-]

### 7.2 Náklady na stroj a obsluhu $N_{cs}$ [Kč]

- Hodinové náklady na provoz stroje  $N_s$ [Kč]

$$N_s = \frac{P_s \cdot E_E}{K_1} = \frac{63 \cdot 5.5}{0.90} = 385 \text{ Kč} \quad (7.2.1)$$

$P_s$  ... celkový příkon stroje [kW]

$E_E$  ... cena elektrické energie [Kč/kWh]

$K_1$  ... koeficient opotřebení stroje [-]

- Hodiny potřebné pro vyrobení celé série  $t_s$  [hod]

$$t_s = \frac{N \cdot t_c \cdot K_z}{3600 \cdot n_T \cdot K_p} = \frac{300000 \cdot 36 \cdot 1.02}{3600 \cdot 2 \cdot 0.9} = 1700 \text{ hod} \quad (7.2.2)$$

$t_c$ ...čas jednoho vstřikovacího cyklu	[s]
$n_T$ ...násobnost formy	[-]
$K_z$ ... koeficient využití pracovního času	[-]
$K_p$ ... koeficient zmetkovosti	[-]

- Náklady na provoz stroje za celou sérii  $N_{pr}$  [Kč]

$$N_{pr} = N_s \cdot t_s = 385 \cdot 1700 = 654\,500 \text{ Kč} \quad (7.2.3)$$

- Odpisové náklady stroje  $N_o$  [Kč]

$$N_o = \frac{C_s}{R_s \cdot m_o \cdot d_o \cdot h_o} t_s = \frac{3080000}{6 \cdot 12 \cdot 20 \cdot 24} 1700 = 151\,505 \text{ Kč} \quad (7.2.4)$$

$C_s$ ... cena stroje	[Kč]
$R_s$ ... předpokládaná návratnost stroje	[rok]
$m_o$ ... měsíců v roce	[měsíc]
$d_o$ ... dnů v měsíci	[den]
$h_o$ ... hodin za den	[hodina]

- Náklady na mzdu dělníka  $N_d$  [Kč]

$$N_d = t_s \cdot M_d = 1700 \cdot 130 = 221\,000 \text{ Kč} \quad (7.2.5)$$

$M_d$  ...hodinová mzda dělníka [Kč/hod]

- Celkové náklady na stroj a jeho obsluhu  $N_{cs}$  [Kč]

$$N_{cs} = N_{pr} + N_o + N_d = 654\,500 + 151\,505 + 221\,000 = 1\,027\,005 \text{ Kč} \quad (7.2.6)$$

Jedná se pouze o odhad nákladů na provoz stroje a jeho obsluhu, neboť elektrický příkon není v čase konstantní, dále nejsou ve výpočtu zahrnuty náklady na údržbu stroje.

### 7.3 Výpočet nákladů na výrobu formy [12][21][46][47]

Při stanovování cen bylo využito katalogu firmy Hasco a Nástrojové-Oceli. Dále cenových nabídek zprostředkovaných firmou Svoboda s.r.o od Vega Cylinders a Thermoplay. Problematické bylo určit cenu přípravy a obrábění polotovarů, takže zde je cena pouze odhadnutá.

Formovací deska o tloušťce 176mm a formátu 296x396, není normalizovaná, proto byla zvolena deska o dané tloušťce a nejbližším větším formátu.

#### ➤ *Náklady na formu*

- Cena normalizovaných součástí a polotovarů je 293 205 Kč. Jejich souhrn je v tab.10. Podrobnější přehled je v příloze.5.
- Cena konstrukčních a technologických prací 80 000 Kč
- Cena obrábění, tepelného zpracování a zámečnických prací 300 000 Kč

➤ **Odhad nákladů na výrobu formy  $N_f$  [Kč]**

$N_f = \text{Materiál} + \text{Konstrukce} + \text{Výroba}$

$$N_f = 10662 \cdot 27.5 + 80\,000 + 300\,000$$

$$= 673\,205 \text{ Kč}$$

(7.3.1)

Tab.10 Přehled materiálu na formu.[12][21][46][47]

Název dílu	Označení/Polotovary	Ks	Materiál	Cena za 1 kus [Eur]	Cena [Eur]
Upínací deska horní	K20/296x396x27/1.1730	1	1.1730	184,91	184,91
Upínací deska spodní	K20/296x396x27/1.1730	1	1.1730	184,91	184,91
Formovací deska	K20/296x396x116/1.1730	1	1.1730	490,34	490,34
Formovací deska horní	P/396x646x176/1.1730	1	1.1730	837,97	837,97
Opěrná deska	K20/296x396x116/1.1730	1	1.1730	490,34	490,34
Stírací deska	P/296x396x22/1.1730	1	1.1730	164,24	164,24
Vyhazovací deska	K60/296x396x17/1.2085	1	1.1730	153	153
Kotevní deska vyhazovačů	K70/296x396x22/1.2085	1	1.1730	115	115
Kotevní deska tvárníků	K30/296x396x36/1.1730	1	1.1730	208,5	208,5
Izolační desky	Z1212/296x396x5/	2		68	136
Hydraulické válce	CF036N035	4		1050	4200
Horký vtokový systém	E90102-C-STD-T2-JG	1		2506,38	2506,38
Šrouby, podloložky, závěsné oko, koncovky, zámek atd.					516
<i>Polotovary</i>					
Tvárník, tvárnice, horní tvárnice, boční jádra	Polotovary	10	1.2080		244
Vedení	60x70x10	4	1.1730	3,4	13,6
Příruba	85x100x25	4	1.1730	4,7	18,8
Sloupky ke stírací desce	Ø30x300	4	1.1730	16,5	66
Vodící sloupky	Ø40x420	4	1.1730	29,4	117,6
Vyhazovací tyč	Ø50x260	1	1.1730	13,2	13,2
				<b>Suma</b>	10 662 Eur
					293205 Kč

**7.4 Celkové náklady  $N_c$  [Kč]**

**Celkové náklady na sérii.**

$$N_c = N_t + N_{cs} + N_f$$

$$N_c = 6\,786\,000 + 1\,027\,005 + 673\,205 = 8\,486\,210 \text{ Kč}$$

(7.4.1)

**Celkové náklady na jeden výstřík  $N_v$  [Kč]**

$$N_v = N_c / N = 8\,486\,210 / 300\,000 = 28.28 \text{ Kč}$$

(7.4.2)



*Obr.62 Procentuální podíly na jednotlivé náklady.*

Odhad celkové ceny výroby činí 8 486 210 Kč. Skutečné náklady však budou vyšší, neboť do nich nebylo možné zahrnout náklady, které nejsou známy. Jedná se o náklady na výrobní prostory, jako jsou spotřeba elektrické energie, vytápění, údržba, dále např. administrativa, kontrola kvality atd.

### 7.5 Kontrola výhodnosti horkého vtokového systému

Za předpokladu, že objem kanálů u studeného vtokového systému by se optimalizoval a byl vůči objemu kanálů horkého systému poloviční. Tak by cena plastu za vtokové zbytky byla:

$$N_{vz} = V_k \cdot \rho \cdot A_m \cdot N = 5.821 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 96 \cdot 300000 = 506\,880 \text{ Kč} \quad (7.5.1)$$

$V_k$ ...objem vtokového zbytku	$[cm^3]$
$\rho$ ...hustota	$[g/cm^3]$
$A_m$ ...cena plastu	$[Kč/kg]$
$N$ ...velikost série	$[-]$

Cena horké vtokové soustavy je 68 926 Kč, z porovnání s cenou za ušetřený plast je evidentní, že horký vtokový systém byl zvolen správně.

Není jasné, do jaké míry by se podařilo zredukovat objem vtokového zbytku, proto bylo počítáno s polovinou objemu horizontálního kanálů v rozváděcím bloku. Jedná se tedy pouze o odhad. Lze však předpokládat, že vtokový zbytek by byl větší, neboť průměr kanálu musí být dostatečný jak z hlediska smykových rychlostí tak tuhnutí plastu na stěně kanálu.

## 8. ZÁVĚRY

Pro výrobu plastového krytu vrtačky je vybrána technologie vstřikování plastů. Kryt vrtačky slouží i jako držák statorových plechů a tak je zde kladen zvýšený požadavek na pevnost. Dále musí odolávat zvýšeným teplotám a být samozhášitelný. Proto je vybrán plast Durethan AKV 25 F30, který obsahuje 25% skelných vláken a retardéry hoření.

Na základě výpočtů praktické a termínové násobnosti je zvolena dvounásobná forma. Výlisek má otvory kolmo na směr odformování, a proto je nezbytné využít při zaformování boční jádra. Jako vhodný způsob zajištění pohybu bočních jader jsou vybrány uzamykatelné hydraulické válce od výrobce VEGA Cylinders. Válce byly dimenzovány s ohledem na tlak ve tvarové dutině a skutečnost, že se opírají o tvárník. Opření bočního jádra o tvárník snižuje únosnost válců a na základě doporučení dodavatele Svoboda s.r.o. je zvolen typ, který odolá tlaku ve tvarové dutině do 133 MPa.

Forma je dále vybavena horkým vtokovým systémem, který je zvolen s ohledem na velikost dílce. Průměr kanálů v rozváděcím bloku je dostatečný, aby vlivem vysoké smykové rychlosti nedocházelo k nežádoucímu ohřevu a degradaci taveniny. Konkrétní typ trysek byl opět zvolen na základě doporučení dodavatele Thermoplay a to firmou Svoboda s.r.o.

Při konstrukci je dbáno na co nejjednodušší řešení pro usnadnění výroby. Za tímto účelem jsou využity v maximální možné míře normalizované prvky od firmy HASCO.

Z technicko ekonomického hodnocení plyne, že i při použití dražších dílů, jako jsou hydraulické válce a horká vtoková soustava, je cena formy pouze 8% z nákladů na vyráběnou sérii. Pozitivní je výrazná finanční úspora díky použití horké vtokové soustavy. Vtokové zbytky v případě použití studeného vtokového systému by vyšly přibližně 7 krát draž než horký vtokový systém.

## Seznam použité literatury [5]

1. ARBURG. *Souhrnný přehled: Údaje o strojích*. Německo, 2011. 522848\_CZ\_032011
2. ASYNDAR. *Princip vstřikování plastů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.asyndar.com/Pages/vstrikovani-princip.aspx>
3. CAMPUS. *Akulon® K222-KWGV4* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Akulon%C2%AE+K222-KWGV4/DSM/50/9ead87e6/SI?pos=41#page26336>
4. CAMPUS. *Durethan® AKV 25 F30* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Durethan%C2%AE+AKV+25+F30/LANXESS/99/93134932/SI?pos=10>
5. CITACE.COM. *Vše o citování dokumentů a literatury* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>
6. DME. *Steel ejector pins molds tool* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/stainless-steel-ejector-pins-molds-tools-65980-2518857.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/stainless-steel-ejector-pins-molds-tools-65980-2518857.jpg)
7. DUCHÁČEK, V. VŠCHT PRAHA. *Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-617-6/pages-img/obsah.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/obsah.html)
8. DUDEK, Louis. *Polymer Additives and Mechanical Properties* [online]. 2010 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://users.khbo.be/coudevil/voordrachten/puc/lexan2.htm>
9. FORTELL. *Injection moulding* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.fortell.cz/en/injection-moulding>
10. GABRIEL, Jiří. KOMPOZITY BRNO S.R.O. *Kurz vstřikování plastů: Základy konstrukce forem*.
11. GVI. *Makromolekulární látky (polymery)* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.gvi.cz/files/chemie/mml.pdf>
12. HASCO. *E-shop* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.hascoshop.com/hascoshop/general/display/flaggen.php>
13. JKZ. *Ocel nástrojová: 1.2080* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/produkty/nastrojova-ocel-12080>
14. JKZ. *Ocela nástrojová: 1.1730* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/8>
15. JOISTEN, Siegfried. BAYER. *Katalog: Technische Thermoplaste von Bayer*. 2006.
16. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů (HTZ)*. Přednášky a cvičení. Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno. 2012
17. KAPLANOVÁ, Marie. *Polymerní materiály používané v polygrafii* [online]. 2006 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [www.polygrafie.kvalitne.cz/dokumenty/polymery\\_2.ppt](http://www.polygrafie.kvalitne.cz/dokumenty/polymery_2.ppt)
18. KOHOUTEK, Jan. MM SPEKTRUM. *Konstrukční provedení vstřikovacích lisů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>

19. MOLLÍKOVÁ, Eva. VUT. *Konstrukční plasty, studijní opora předmětu*. [online]. 2004 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:<http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/BUM/bum2008/bum-2008-konstrucni-plasty.pdf>
20. MUNI. *Keramika, kompozity, polymery* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:<http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>
21. NÁSTROJVÉ-OCELI. *Katalog* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.nastrojove-oceli.com/katalog.html>
22. PHENOXY. *Applocations guide for plastic features, technology and chemistry type* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:<http://www.phenoxy.com/applications/plastics.html>
23. PROJEKT ALFA. *Polyadice* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://projektalfa.ic.cz/polyadice.htm>
24. PROKOPOVÁ, Irena. VŠCHT PRAHA. *Makromolekulární chemie* [online]. 2007 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-978-80-7080-662-3/pdf/055.pdf](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-662-3/pdf/055.pdf)
25. RAFO. *Arburg allrounder 570 S* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.rafo.se/arburg/>
26. SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
27. SCHMOLZ-BICKENBACH. *Ocela nástrojová: 1.1730* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [http://www.schmolz-bickenbach.cz/pdf/GB\\_Cryodur1730.pdf](http://www.schmolz-bickenbach.cz/pdf/GB_Cryodur1730.pdf)
28. SCHMOLZ-BICKENBACH. *Ocela nástrojová: 1.2080* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [http://www.schmolz-bickenbach.cz/pdf/GB\\_Cryodur2080.pdf](http://www.schmolz-bickenbach.cz/pdf/GB_Cryodur2080.pdf)
29. SVOBODA. *Thermoplay* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:<http://www.jansvoboda.cz/files/userfiles/image/jansvoboda/thermoplay/Balance01cze.jpg>
30. ŠVORČÍK, V. VŠCHT PRAHA. *Polymery "střučně"* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:<http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
31. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Lisování a přetlačování plastů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09.htm)
32. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Rozdělení technologií na zpracování plastů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/02.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/02.htm)
33. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
34. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Hořlavost plastů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/horlavost.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/horlavost.pdf)
35. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Navlhavost polymerů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c5/Navlhavost.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c5/Navlhavost.pdf)
36. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)

37. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Reologie tavenin termoplastů v průmyslové praxi* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Reologie.pdf>
38. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Rozdělení tehchnologií: vstřikování* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/02-rozdeleni%20technologiei%20na%20zpracovani%20plastu/01-tvareci%20technologie.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/02-rozdeleni%20technologiei%20na%20zpracovani%20plastu/01-tvareci%20technologie.jpg)
39. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Teorie zpracování nekovových materiálů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.technomat.cz/data/katedry/ksp/KSP\\_TZN\\_CV\\_06\\_CZE\\_Behalek\\_Pruvodni\\_a\\_nasledne\\_jevy\\_pri\\_zpracovani\\_plastu.pdf](http://www.technomat.cz/data/katedry/ksp/KSP_TZN_CV_06_CZE_Behalek_Pruvodni_a_nasledne_jevy_pri_zpracovani_plastu.pdf)
40. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Tepelné vlastnosti plastů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/odolnost.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/odolnost.pdf)
41. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Termodynamické vlastnosti polymerů* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/p4/termodynamika.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p4/termodynamika.pdf)
42. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Vstřikovací formy - 3.temperační systém* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c6/TS.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf)
43. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Vstřikovací formy - vtoková soustava* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/7.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/7.pdf)
44. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Základní mechanické vlastnosti polymerů a jejich hodnocení* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/NEkM/NeM%20Kro/Mechanicke%20vlastnosti%20polymeru.ppt](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NeM%20Kro/Mechanicke%20vlastnosti%20polymeru.ppt)
45. THERMOPLAY. *Configurator* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://thermoplay.it/configurator/>
46. THERMOPLAY. *Katalog HotRunner Systems*. 2012.
47. VEGA CYLINDERS. *Catalogue* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.vegacylinder.com/catalogue/book.aspx?id=V260CF&langu=GB+IT&version=2012.00>
48. VULCAN. *What is plastic injection moulding* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:<http://www.vulcanmold.com/article/Plastic-Injection-molding-process.html>
49. WIKIPEDIA. *Elastomer* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Elastomer>
50. WIKIPEDIA. *Polymerizace* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Polymerizace>
51. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1.vydání. Věšínova 5, Praha 10: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
52. ŽÁK, Ladislav. VUT. *Vstřikovací formy* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf)

## Seznam použitých symbolů a zkratk

Označení	Legenda	Jednotka
$A$	Tažnost	[%]
$A_s$	Výpočtový průřez šroubu	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{proj}$	Plocha průmětu dílce do dělicí roviny	[mm <sup>2</sup> ]
$A_m$	Cena materiálu	[Kč/kg]
$A_1$	Rozměr ve formě	[mm]
$\alpha_{eff}$	Měrná tepelná vodivost	[mm <sup>2</sup> /s]
$b$	Délka	[mm]
$B_1$	Rozměr výstřiku po smrštění	[mm]
$B_2$	Rozměr výstřiku po dostatečném smrštění	[mm]
$C_p$	Minimální plastikační kapacita	[kg/hod]
$C_s$	Cena vstřikovacího stroje	[Kč]
$C_v$	Minimální vstřikovací kapacita	[cm <sup>3</sup> ]
$C_1$	Rozměr výlisku po navlhnutí	[mm]
$C_2$	Rozměr po ohřevu na provozní teplotu	[mm]
$D_k$	Průměr rozváděcího kanálu	[mm]
$D_s$	Optimální průměr šneku	[mm]
$d_o$	Dnů v měsíci	[-]
$E$	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$E_E$	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
$F_1$	Síla od jednoho tvárníku	[N]
$f_c$	Délka dráhy toku taveniny	[mm]
$F_P$	Přidržovací síla	[N]
$F_{př}$	Přisouvací síla	[N]
$F_u$	Uzavírací síla	[N]
$F_c$	Celková síla	[N]
$G$	Hmotnost jednoho výlisku	[kg]
$\dot{G}$	Průchod materiálu	[kg/hod]
$\Delta h$	Rozdíl entalpií	[kJ/kg]
$h$	Výška	[mm]
$h_o$	Hodin v jednom dni	[-]
$J$	Kvadratická moment průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
$K$	Faktor využití času	[-]
$K_1$	Koeficient opotřebení stroje	[-]
$K_f$	Faktor schopnosti tečení taveniny	[bar/mm]
$K_p$	Faktor zmetkovitosti	[-]
$k_s$	Tuhost jednoho šroubu	[N/mm]
$k_c$	Celková tuhost šroubového spojení	[N/mm]
$L_s$	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
$L$	Šířka	[mm]
$L_1$	Délka rozváděcího kanálu formy	[mm]
$L_s$	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
$l_s$	Účinná svěrná délka	[mm]
$l_g$	Délka válcové části dřívku	[mm]

$m$	Koeficient rovnice dráhy toku taveniny	[-]
$m_o$	Měsíců v roce	[-]
$M_d$	Hrubá mzda obsluhy stroje	[Kč/hod]
$N$	Vyráběný počet kusů	[ks]
$n$	Exponent rovnice dráhy toku taveniny	[-]
$N_c$	Celkové náklady na danou sérii	[Kč]
$N_{cs}$	Celkové náklady na stroj a jeho obsluhu během celé výrobní série	[Kč]
$N_d$	Náklady na mzdu dělníka	[Kč]
$N_f$	Odhad nákladů na výrobu formy	[Kč]
$N_m$	Náklady na materiál jednoho výstřiku	[Kč]
$N_o$	Odpisové náklady stroje	[Kč]
$N_{pr}$	Náklady na provoz stroje za celou sérii	[Kč]
$n_p$	Praktická násobnost formy	[-]
$N_s$	Náklady na materiál pro celou sérii	[Kč]
$n_s$	Otáčky šneku	[1/min]
$N_t$	Náklady na materiál pro celou sérii	[Kč]
$n_T$	Termínovaná násobnost	[-]
$N_V$	Celkové náklady na jeden výlisek	[Kč]
$p_f$	Minimální plnicí tlak	[MPa]
$P_s$	Příkon stroje	[kW]
$p_v$	Vstřikovací tlak	[MPa]
$Q$	Teplo	[kJ/hod]
$Q_{pr}$	Ztráty odvodem tepla prouděním	[W]
$Q_P$	Přivedené teplo	[W]
$Q_Z$	Ztráty tepla vyzařováním	[W]
$Q_T$	Teplo přivedené nebo odvedené temperačním médiem	[W]
$Q_K$	Ztráty tepla odvodem do upínacích ploch vstřikovacího stroje	[W]
$R_e$	Mez kluzu v tahu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_s$	Předpokládaná návratnost stroje	[rok]
$S$	Plochy průmětů	[mm <sup>2</sup> ]
$S_d$	Plocha válcové části dřívku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_j$	Plochy průmětu bočního jádra	[mm <sup>2</sup> ]
$s$	Tloušťka stěny dílce	[mm]
$\Delta T$	Rozdíl teplot	[mm]
$t_c$	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
$T_E$	Teplota odformování	[°C]
$T_f$	Teplota viskózního toku	[°C]
$T_W$	Teplota formy	[°C]
$T_g$	Teplota skelného přechodu	[°C]
$t_{ch}$	Celková doba chlazení	[s]
$T_m$	Teplota tání	[°C]
$t_m$	Prodleva	[s]
$t_s$	Doba výroby celé série	[hod]
$t_v$	Doba vstřikování	[s]
$t_1$	Uzavření formy	[s]

$t_2$	Přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
$t_3$	Otevření formy a vyhození výstříku	[s]
$t_4$	Prodleva	[s]
$v$	Maximální obvodová rychlost šneku	[m/s]
$V$	Objemvýstříku	[cm <sup>3</sup> ]
$V_D$	Vstřikovací dávka	[cm <sup>3</sup> ]
$v_s$	Vstřikovací rychlost	[cm <sup>3</sup> /s]
$y$	Velikost průhybu desky	[mm]
$\gamma$	Smyková rychlost	[s <sup>-1</sup> ]
$\eta$	Dynamická viskozita	[Pa · s]
$\lambda$	Tepelná vodivost	[W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$\Delta y$	Deformace	[mm]
$\mu$	Poissonovo číslo	[-]
$\rho$	Hustota	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\tau$	Smykové napětí	[Pa]
$\tau_p$	Požadovaný termín dodání	[hod]

### Seznam příloh

- Příloha č.1 – Vlastnosti PA6, PA66, PA66 GF
- Příloha č.2 – Materiálové listy oceli 1.1730 a 1.2080
- Příloha č.3 – Horká tryska
- Příloha č.4 – Parametry stroje Allrounder 570S
- Příloha č.5 – Seznam dílů

### Seznam výkresů

- DP\_116284\_000\_sestava
- DP\_116284\_000\_kryt
- DP\_116284\_001\_tvarnik
- DP\_116284\_002\_tvarnice
- DP\_116284\_003\_horni\_tvarnice
- DP\_116284\_000\_kusovnik\_1
- DP\_116284\_000\_kusovnik\_2

**Příloha č.1 – Vlastnosti PA6, PA66, PA66 GF[15]**

	Jednotka	9	10	11
Zkratka plastu		PA6 GF	PA66	PA66 GF
Výrobce		BASF	BASF	BASF
Obchodní název		Ultramid	Ultramid	Ultramid
Typ		B 3 WG7	A 3K	A 3 WG7
Plnivo a jeho podíl	%	35 GF	–	35 GF
Struktura		K	K	K
Hustota při 23 °C	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	1,41	1,13	1,41
Teplota měknutí dle Vicata	°C	220	250	250
Viskozita při smyk. rychlosti 1000 s <sup>-1</sup>	$\eta$ Pa.s	130	105	124
a při teplotě materiálu (taveniny)	°C	280	290	290
Faktor schopnosti tečení	$K_f$ bar/mm	1,7	1,5	1,7
Koeficient rovnice dráhy toku	$m$	120	130	120
Exponent rovnice dráhy toku	$n$	1,75	1,79	1,77
Teplota materiálu (taveniny)	$T_M$ °C	280	290	290
Teplota formy	$T_F$ °C	90	80	90
Teplota odformování	$T_E$ °C	100	120	120
Max. obvodová rychlost šneku	$v$ m/s	0.2	0.2	0.2
Faktor navýšení objemu taveniny	$K_a$ g/cm <sup>3</sup>	1,22	0,97	1,23
Efektivní teplotní vodivost	$a_{eff}$ mm <sup>2</sup> /s	0,088	0,083	0,088
Rozdíl entalpií	$\Delta h$ kJ/kg	550	550	550
Smrštění    nebo $\perp$ ke směru tečení	%	0,25 / 0,75	1,0 / 1,2	0,25 / 0,65
Absorpce vlhkosti	%	2	2,8	1,6
Teplota předsušení granulátu	°C	80	80	80
Doba předsušení granulátu	h	5 – 10	5 – 10	5 – 10

## Příloha č.2 - Materiálové listy oceli 1.1730 a 1.2080 [26][27]

### Cryodur 1730

**C45U** C 0.45 Si 0.20 Mn 0.70

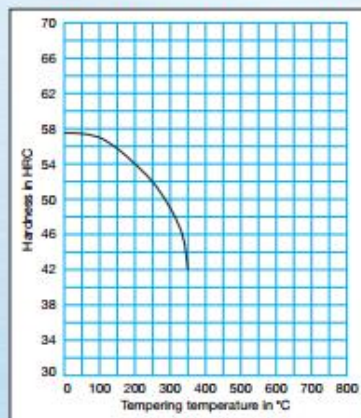
**Steel properties** Shell-hardenable steel featuring hard surface and tough core.

**Standards** AISI 1045

**Applications** Components for tools (e.g. base plates for plastic moulds and pressure casting moulds). Also suitable for hand tools, pliers and agricultural tools of all kinds.

Heat treatment	Soft annealing °C	Cooling	Hardness HB		
	680 – 710	Furnace	max. 207		
	Stress-relief annealing °C	Cooling			
	approx. 600 – 650	Furnace			
	Hardening °C	Quenching	Hardness after quenching HRC		
	800 – 830	Water	57		
	Tempering °C	100	200	300	350
	HRC	57	54	49	42

Tempering diagram



# Cryodur 2080

X210Cr12

C 2.00 Si 0.30 Mn 0.30 Cr 12.00

**Steel properties** 12 % ledeburitic chromium tool steel with extreme wear resistance.

**Standards** AISI D3 AFNOR Z200C12

**Physical properties** **Coefficient of thermal expansion at °C**

Temperature Range (°C)	20 - 100	20 - 200	20 - 300	20 - 400	20 - 500	20 - 600	20 - 700
10 <sup>-6</sup> m/(m · K)	10.8	11.7	12.2	12.6	12.8	13.1	13.3

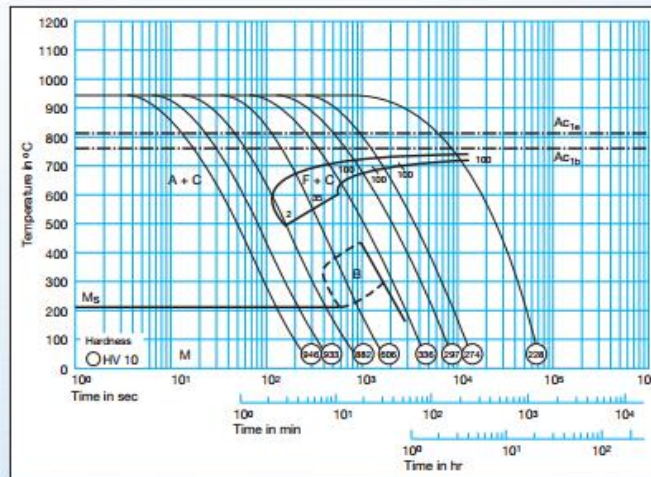
**Thermal conductivity at °C**

Temperature Range (°C)	20	350	700
W/(m · K)	16.7	20.5	24.2

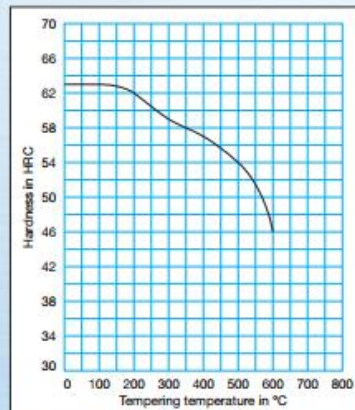
**Applications** Cutting tools for sheets up to 4 mm thickness, trimming dies, blanking dies for paper and plastics, shear blades and rotary shear blades for sheet thicknesses up to 2 mm, drawing and deep-drawing tools. Woodworking tools, stone pressing tools, pressure pads and highly wear-resistant plastic moulds, profile rolls.

Heat treatment	Soft annealing °C	Cooling	Hardness HB
	800 - 840	Furnace	max. 250
Stress-relief annealing °C	approx. 650 - 700	Cooling	
		Furnace	
Hardening °C	930 - 960	Quenching	Hardness after quenching HRC
	950 - 980	Oil Air (up to 30 mm thickness)	64 64
Tempering °C	100		63
	200 <td></td> <td>62</td>		62
HRC	300		59
	400		57
	500		54
	600		46

Time-temperature-transformation diagram



Tempering diagram

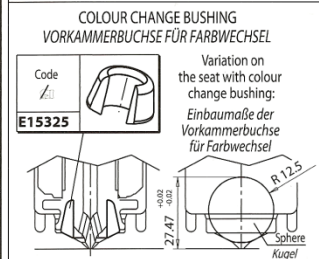
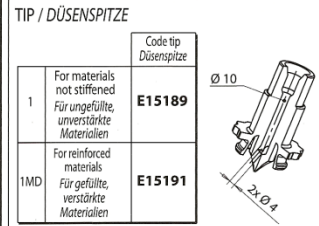


# Příloha č.3 – Horká tryska [45]

## TYPE / TYP F1-A Ø 46 mm

### • NOZZLES FOR MULTICAVITY MOLDS / DÜSEN IN VERBINDUNG MIT EINEM VERTEILERBLOCK

Nozzle code / Düse		L	Heater code Heizung	Watt	Thermocouple / Thermofühler	
with tip / mit Düsenspitze E15189	with tip / mit Düsenspitze E15191				grounded geerdet	insulated isoliert
F46076-A-1..	F46076-A-1MD..	76	E15521	480	E05505-F46	E16037-F46
F46086-A-1..	F46086-A-1MD..	86	E15522	480		
F46096-A-1..	F46096-A-1MD..	96	E15147	540		
F46106-A-1..	F46106-A-1MD..	106	E15148	540		
F46116-A-1..	F46116-A-1MD..	116	E15149	540		
F46126-A-1..	F46126-A-1MD..	126	E15150	580		
F46136-A-1..	F46136-A-1MD..	136	E15151	580		
F46146-A-1..	F46146-A-1MD..	146	E15152	580		
F46156-A-1..	F46156-A-1MD..	156	E15153	640		
F46166-A-1..	F46166-A-1MD..	166	E15154	640		
F46176-A-1..	F46176-A-1MD..	176	E15155	640		
F46186-A-1..	F46186-A-1MD..	186	E15156	720		
F46196-A-1..	F46196-A-1MD..	196	E15157	720		
F46206-A-1..	F46206-A-1MD..	206	E15158	720		
F46216-A-1..	F46216-A-1MD..	216	E15159	760		
F46226-A-1..	F46226-A-1MD..	226	E15160	760		
F46236-A-1..	F46236-A-1MD..	236	E15161	760		
F46246-A-1..	F46246-A-1MD..	246	E15162	790		
F46256-A-1..	F46256-A-1MD..	256	E15163	790		
F46266-A-1..	F46266-A-1MD..	266	E15164	790		
F46276-A-1..	F46276-A-1MD..	276	E15165	810		
F46286-A-1..	F46286-A-1MD..	286	E15166	810		
F46296-A-1..	F46296-A-1MD..	296	E15167	810		
F46306-A-1..	F46306-A-1MD..	306	E15168	840		
F46316-A-1..	F46316-A-1MD..	316	E15169	840		
F46326-A-1..	F46326-A-1MD..	326	E15170	840		
F46336-A-1..	F46336-A-1MD..	336	E15171	880		
F46346-A-1..	F46346-A-1MD..	346	E15172	880		
F46356-A-1..	F46356-A-1MD..	356	E15173	880		

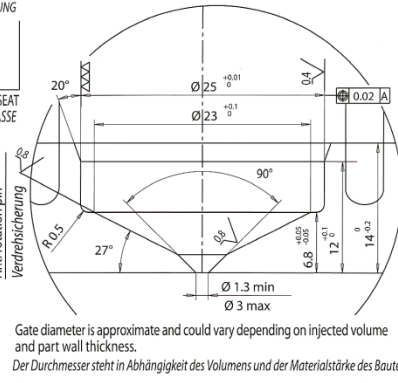
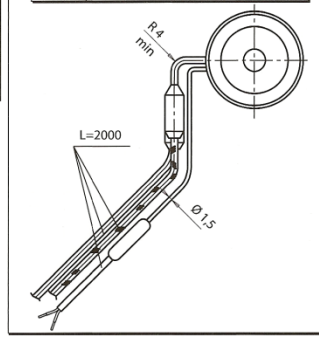
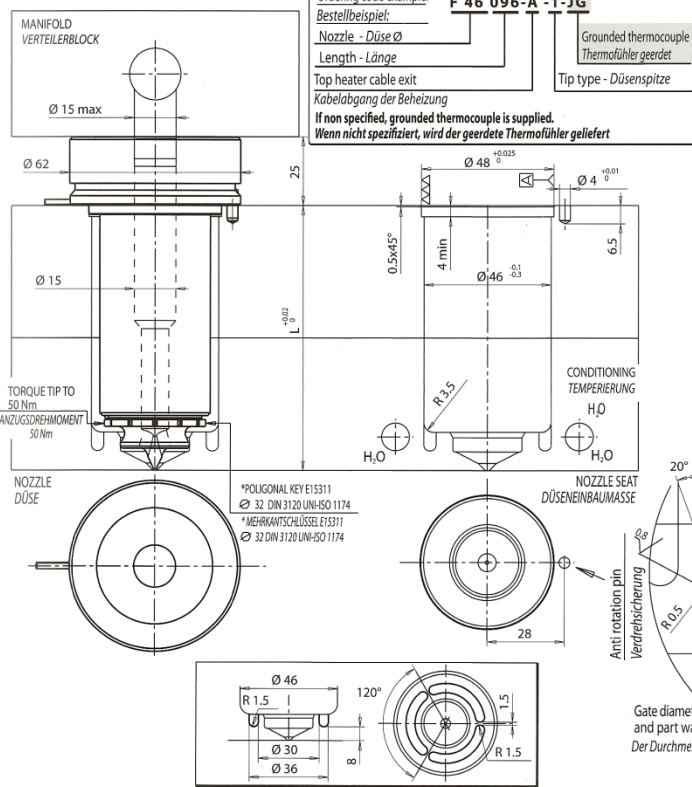


**HEATER AND THERMOCOUPLE  
HEIZUNG UND THERMOFÜHLER**

HEATER HEIZUNG	White / Weiss Red White Rot Weiss	230 V
	THERMOCOUPLE THERMOFÜHLER	
		TC+ TC-

Suffix: Zusatzcode      Description / Beschreibung

..-JG	Grounded thermocouple with J type calibration Geerdeter Thermofühler Typ J.
..-JU	Insulated thermocouple with J type calibration Isolierter Thermofühler Typ J.



Edition 03/2012 - Ausgabe 03/2012

## Příloha č.4 – Parametry stroje Allrounder 570S [1]

<b>Typ stroje</b>		<b>570 S</b>
Mezinárodní velikost stroje dle EUROMAP <sup>11</sup>		2200-1300
<b>Uzavírací jednotka</b>		
Uzavírací síla	max. kN	2200
Otevření	max. mm	650
Výška formy	min. mm	250
Světlost mezi upínacími deskami	max. mm	900
Vzdálenost mezi vodícími sloupy <sup>11</sup>	mm	570 x 570
Velikost upínací desky (hor. x vert.)	mm	795
Vyhazovací síla	max. kN	70
Zdvih vyhazovače	max. mm	200
<b>Hydraulika, pohon, všeobecně</b>		
Výkon čerpadla	kW	37
Doba cyklu nasucho při otevření <sup>2</sup>	s- mm	2,4 (2,3)-399
Celkový příkon stroje <sup>21</sup>	kW	63
<b>Vstříkovací jednotka</b>		1300
Průměr šneku	mm	55 / 60 / 70
Poměr šneku	L/D	22 / 20 / 17
Objem dávky	max. cm <sup>3</sup>	558 / 664 / 904
Hmotnost vstříkovací dávky	max. g PS	510 / 607 / 826
Kapacita zpracování materiálu <sup>21</sup>	max. kg/h PS	86 / 96 / 115
	max. kg/h PA 6.6	43 / 48 / 58
Vstříkovací tlak <sup>4/51</sup>	max. bar	2380 / 2000 / 1470
Vstříkovací rychlost (objemová) <sup>4/13</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	238 / 284 / 388
Vstříkovací rychlost (objemová) s akum.	max. cm <sup>3</sup> /s	714 / 848 / 1156
Krouticí moment šneku	max. Nm	1510 / 1640 / 1920
Přítlačná síla trysky	max. kN	90

**Příloha č.5 – Seznam dílů [11][20][45][46]**

Název dílu	Označení/Polotovary	Ks	Materiál	Cena za 1 kus [Eur]	Cena [Eur]
Upínací deska horní	K20/296x396x27/1.1730	1	1.1730	184,91	184,91
Upínací deska spodní	K20/296x396x27/1.1730	1	1.1730	184,91	184,91
Formovací deska	K20/296x396x116/1.1730	1	1.1730	490,34	490,34
Formovací deska horní	P/396x644x176/1.1730	1	1.1730	837,97	837,97
Opěrná deska	K20/296x396x116/1.1730	1	1.1730	490,34	490,34
Stírací deska	P/296x396x22/1.1730	1	1.1730	164,24	164,24
Vyhazovací deska	K60/296x396x17/1.2085	1	1.1730	153	153
Kotevní deska vyhazovačů	K70/296x396x22/1.2085	1	1.1730	115	115
Kotevní deska tvárníků	K30/296x396x36/1.1730	1	1.1730	208,5	208,5
Izolační desky	Z1212/296x396x5/	2		68	136
Tvárník	100x110x200	2	1.2080	60	120
Tvárnice	120x110x110	2	1.2080	38,8	77,6
Horní tvárnice	110x110x40	2	1.2080	13,3	26,6
Boční jádro	50x50x70	4	1.2080	5	20
Vedení	60x70x10	4	1.1730	3,4	13,6
Příruba	80x100x20	4	1.1730	4,7	18,8
Sloupky ke stírací desce	Ø30x300	4	1.1730	16,5	66
Vodící sloupky	Ø40x400	4	1.1730	29,4	117,6
Vyhazovací tyč	Ø50x260	1	1.1730	13,2	13,2
Hydraulické válce	CF036N035	4		1050	4200
Horký vtokový systém	E90102-C-STD-T2-JG	1		2506,38	2506,38
Závěsné oko	Z711/14	1		39,25	39,25
Středící prvek	Z0511/30	2		33,62	67,24
Středící prvek	Z0512/30	2		22,64	45,28
Zámek	Z73/20x32x80	1		41,3	41,3
Vodící pouzdro	Z10/56/22	4		19,1	77,2
Zátka	Z941/9x1	4		1,06	4,24
Válcová záslepka	Z940/8x0.75	8		0,44	3,52
Koncovky tvarník	Z81/13/11x1	4		1,16	4,64
Koncovky tvárnice	Z81/9/14x1.5	16		0,82	13,12
Hadice (koncovky)	Z802/9x13	4		8,3	33,2
Středící příruba	K501/120x15	1		23,57	23,57
Spirálové jádro	Z968/40x200	2		32,3	64,6
Šroub M12x150	Z31/12x200	4		4,1	16,4
Šroub M12x300	Z31/12x300	4		15,53	62,12
Šroub M8x55	Z31/8x55	4		0,32	1,28
Šroub M8x25	Z31/8x30	28		0,22	6,16
Šroub M8x20	Z31/8x20	10		0,21	2,1
Šroub M4x8	Z31/4x8	8		0,13	1,04

Šroub M3x25	Z31/3x25	8		0,18	1,44
Podložka M8	Z562/8	24		0,25	6
Kolík 5x16	Z25/5x16	16		0,21	3,36
				Suma	10662,05