



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOG

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉ PÁČKY

DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR PLASTIC LEVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUBOŠ STRÁNSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 20011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student(ka): Bc. Luboš Stránský

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 plastové páčky

v anglickém jazyce:

Design of manufacturing technology for plastic lever

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle diplomové práce:

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

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 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 Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Bc. Stránský Luboš: Návrh technologie výroby plastové páčky.

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy na výrobu plastové páčky. V úvodu se nachází obecná literární studie zabývající se plasty a technologií vstřikování. Dále pokračuje studie zabývající se vstřikovacím strojem, formou nebo volbou vtokové soustavy. Praktická část práce je konstrukce vstřikovací formy jejíž součástí je výpočet vstřikovacích parametrů, volba stroje a technicko ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: temperační systém, horká vtoková soustava, vstřikování, vstřikovací forma, vstřikovací cyklus, vstřikovací lis

ABSTRACT

Bc. Stránský Luboš: Design of manufacturing technology for plastic lever.

This thesis describes the design of injection form for production of plastic lever. In the introduction, there is general literary studies of plastics and injection molding technology. Then continues studies of the injection molding machine, injection form or by selecting the gating systém. The practical part is injection mold design which includes a calculation of the injection parameters, selection of equipment and technical and economic evaluation

Keywords: temperature systém, hot runner systém, injection molding, injection form, injection cycle, injection molding machine



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. STRÁNSKÝ, L. *Návrh technologie výroby plastové páčky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů 2012. 71s., 3 přílohy. 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 Králíkách dne 21.5 2012

.....
Podpis



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.



OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD

1	TEORIE PLASTŮ [9], [16], [24], [36]	12
1.1	PODSTATA A VZNIK POLYMERŮ	12
1.2	TŘÍDĚNÍ POLYMERŮ	13
2	VLASTNOSTI PLASTŮ [9], [10], [14], [15], [16], [20], [23], [32]	16
2.1	TERMODYNAMICKÉ VLASTNOSTI	16
2.2	REOLOGICKÉ VLASTNOSTI (ZPRACOVATELSKÉ)	16
2.3	MECHANICKÉ VLASTNOSTI	18
2.4	TEPELNÉ	19
2.5	ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI	19
2.6	OPTICKÉ VLASTNOSTI	19
2.7	NAVLAHAVOST A NASÁKAVOST	19
3	CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVÁNÍ A ZÁKLADNÍCH POJMŮ	20
3.1	VSTŘIKOVÁNÍ [7], [16], [32]	20
3.2	TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY [9], [32]	21
3.3	ČASOVÝ PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU [9], [39]	21
3.3.1	Dávkování a plastikace	21
3.3.2	Vstřikování (plnění)	22
3.3.3	Doplňování (Dotlak)	22
3.3.4	Chlazení	23
3.3.5	Vyhazování dílce z formy	23
3.4	ČASOVÝ PRŮBĚH TLAKU VE FORMĚ [3], [9], [16]	24
3.5	VÝHODY A NEVÝHODY VSTŘIKOVÁNÍ [9], [32], [38]	25
3.6	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU A VLASTNOSTI VÝSTŘIKU [9], [16]	25
3.6.1	Orientace	26
3.6.2	Rozměrová přesnost výstřiku	26
3.6.3	Smrštění	27
4	VSTŘIKOVACÍ STROJE [9], [16], [26], [27], [32]	29
4.1	VSTŘIKOVACÍ A PLASTIKAČNÍ JEDNOTKA	29
4.2	UZAVÍRACÍ JEDNOTKA	30
4.3	ŘÍDÍCÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍHO STROJE	30
5	VSTŘIKOVACÍ FORMA [8], [9], [32], [39]	31
5.1	POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY [8], [9], [32]	32
5.2	ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM [9]	33
5.3	VTKOVÝ SYSTÉM [9], [12], [13], [31], [32], [33], [39]	33
5.3.1	Studený vtokový systém	35
5.3.2	Horký vtokový systém	36



5.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM [3], [9], [31], [32], [33].....	37
5.4.1	Charakteristika temperačního systému.....	37
5.4.2	Tepelná bilance formy.....	38
5.4.3	Temperační prostředky.....	38
5.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉMY [9], [30], [32]	40
5.5.1	Mechanické vyhazovací systémy.....	40
5.5.2	Vzduchové vyhazovací systémy.....	40
5.5.3	Hydraulické vyhazovací systémy.....	40
6	ZADANÝ PLASTOVÝ DÍLEC A VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY [16].....	41
7	KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY	42
7.1	VOLBA MATERIÁLU PLASTOVÉHO DÍLU [11], [13], [19], [28], [29], [31]	42
7.2	TECHNOLOGIČNOST TVARU VÝLISKU [9], [10], [32]	44
7.2.1	Určení pozice dělicí roviny.....	44
7.2.2	Volba úkosů na výlisku.....	44
7.3	VÝPOČET VÝROBNÍCH PARAMETRŮ [31], [32], [19].....	45
7.4	VÝPOČET PRŮHYBU DESEK [29]	52
7.5	SIMULAČNÍ ANALÝZA PRŮHYBU OPĚRNÉ DESKY.....	53
7.6	KONSTRUKČNÍ NÁVRH SESTAVY FORMY.....	55
7.7	VOLBA MATERIÁLŮ VYBRANÝCH ČÁSTÍ FORMY.....	55
7.8	VOLBA HORKÉ VTOKOVÉ SOUSTAVY [34]	57
7.9	TEMPERAČNÍ SYSTÉM FORMY	58
7.10	VYHAZOVACÍ SYSTÉM FORMY	61
7.11	NÁVRH BOČNÍCH JADER	62
7.12	KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY FORMY	62
7.12.1	Odlehčení dělicí roviny.....	62
7.12.2	Transport demontáž formy.....	63
7.12.3	Návrh odvzdušnění formy.....	64
7.13	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE [1], [2], [9].....	65
8	TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [6], [9], [21], [31].....	66
8.1	NÁKLADY NA MATERIÁL	67
8.2	NÁKLADY NA STROJ A JEHO OBSLUHU.....	67
8.3	VÝPOČET NÁKLADŮ NA VÝROBU FORMY.....	68
9	ZÁVĚR.....	71

Seznam použité literatury

Seznam použitých veličin

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [33]

Člověk je již odedávna spjat se strojírenskou technologií, strojírenskou výrobou různých strojů, zařízení a strojních součástí. Společnost dnes čím dál častěji klade zvýšené požadavky např. na snížení hmotnosti, odolnost proti korozi, životnost, spolehlivost

a také vzhledové a estetické vlastnosti. Dnes tedy vedle typických konstrukčních materiálů jako je ocel hrají velmi významnou roli syntetické a organické polymery. Polymery spolu s přísadami tvoří různé druhy plastů, které dnes významně konkurují typickým konstrukčním materiálům. K jejich výhodám patří také využití symbiózy kovů s plasty.

Hlavním argumentem pro zakomponování plastů do strojírenské výroby bylo nepochybně snížení hmotnosti. Dále také korozivzdornost a elektrická vodivost. Velkou výhodou termoplastů je jejich opětovná recyklovatelnost, která napomáhá ochraně životního prostředí. Jako nejčastější technologie zpracování termoplastů je volena metoda vstřikování.

Doposud mají plasty respektive jejich aplikace největší uplatnění v automobilovém, elektrotechnickém a leteckém průmyslu. Čím dál tím více se začínají uplatňovat v konstrukci strojních zařízení. Dnešní plasty mají čím dál větší pevnost vůči namáhání. Pro zvýšení pevnosti mohou být plastové materiály obohaceny o skelná vlákna, která ke zvýšení pevnosti výrazně přispějí. Výrobky z plastů jsou výhodné nejen díky svým výše uvedeným vlastnostem, ale také díky tomu, že umožňují velkou svobodu co se designu týče.

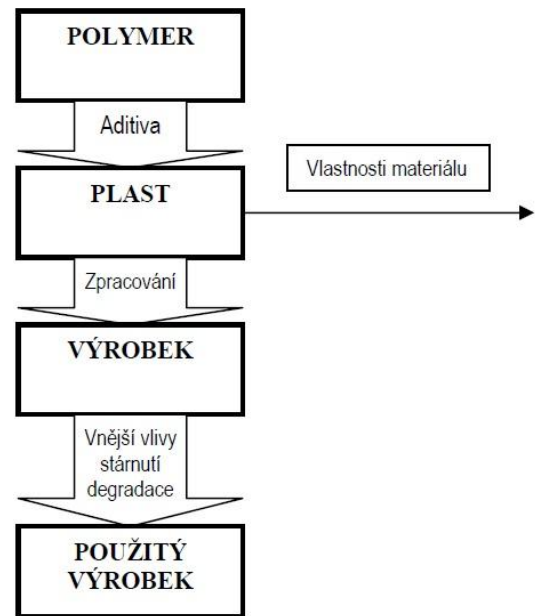
Cílem mé diplomové práce je technologický postup a konstrukce vstřikovací formy na výrobu plastové páčky. Jedná se o konstrukční součást, která bude sloužit k upínání. Budou tedy na ni kladeny větší nároky na mechanické vlastnosti. Požadované výrobní množství je 250 000 ks a termín dodání hotových kusů je 4,5 měsíce.



Obr.1 Příklady plastových výrobků [22], [37]

1 TEORIE PLASTŮ [9], [16], [24], [36]

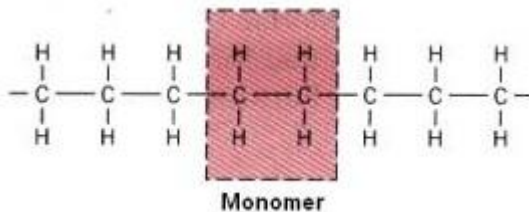
Plasty jsou materiály tvořené nadmolekulárními látkami (polymery), které lze tvarovat a tvářet například teplem či tlakem. Nadmolekulární látky jsou nejčastěji získávány z ropy, uhlí a zemního plynu. Kromě polymerních látek je plast tvořen také aditivami (přísadami), jejímž účelem je dát plasty požadované vlastnosti. Mezi přísady patří stabilizátory, retardéry hoření, antioxidanty, plniva, maziva, barviva, změkčovadla, nadouvadla a také látky, které výrazně mění mechanické vlastnosti jako je houževnatost, pevnost a elasticitu. Rozdělení plastů je v příloze č.1.



Obr. 1.1 Etapy vzniku plastového výrobku [32]

1.1 Podstata a vznik polymerů

Molekuly polymerů jsou složeny z velkého množství základních stavebních kamenů nazývaných monomery. Jako příklad monomeru je na Obr. 1.2. uveden monomer polyetyleny.



Obr. 1.2 Monomer Polyetyleny [16]

Polymery vznikají polyreakcemi:

- **Polymerace**

Dochází k zesílení základních částic (monomerů). Částice jsou spojeny řetězovým mechanismem. Jedná se o celkem velkou rychlost zesílení (řádově několik sekund). Vznikají různě dlouhé makromolekuly. Tento typ reakce probíhá u PVC, PE, PS. Při této reakci nevznikají vedlejší produkty jak je tomu např. u polykondenzací.

- **Polykondenzace**

Dochází k reakci dvou monomerů. Vedlejším produktem reakce je například voda nebo alkohol. Polykondenzace se od polymerace liší v tom, že při polymeraci nám vznikne polymer, jehož složení je totožné se složením původního monomeru na rozdíl od polykondenzace kde vzniklý polymer má jiné chemické složení než původní látka. Je to také pomalejší reakce. Polykondenzace je využívána například k přípravě PA66 a pro většinu reaktoplastů.

- **Polyadice**

Zde je rozdílná struktura polymeru a původního monomeru. Reakce je pomalá a nevznikají vedlejší produkty. Polyadice se využívá například ke vzniku epoxidové pryskyřice.

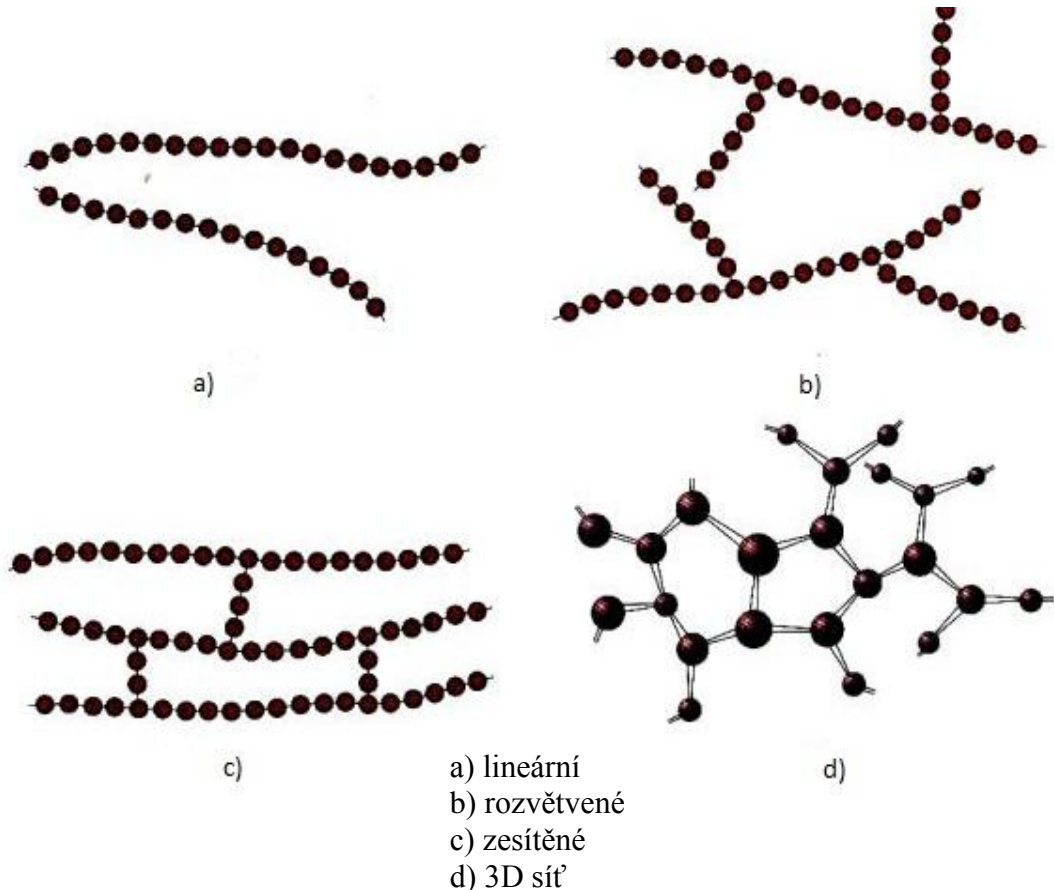
1.2 Třídění polymerů

Dle chemické struktury makromolekul:

Podle toho zda při polyreakci spojujeme chemicky stejné nebo odlišné monomery, rozdělujeme polymery do dvou skupin:

- **Homopolymer**
Polymer jehož makromolekuly jsou složeny z monomerů téhož typu.
- **Kopolymer**
Polymer složený ze dvou či více druhů monomerů

Dle tvaru makromolekul:



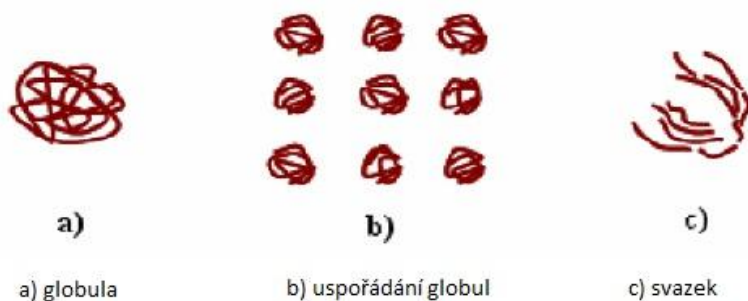
Obr. 1.3 Tvary makromolekul [16]

- **Lineární (termoplasty)**
Jednotlivé monomery jsou seřazeny za sebou a tvoří jednoduchý řetězec. Patří sem: PVC, PE, PS, PMMA, nylon
- **Rozvětvené (termoplasty)**
Struktura se vyznačuje jedním hlavním řetězcem, z kterého vystupují postranní větve. Rozvětvené polymery mají menší hustotu než polymery lineární.
- **Zesítěné (reaktoplasty, elastomery)**
Sousední řetězce jsou mezi sebou propojeny články. Působí mezi nimi silná kovalentní vazba. Mezi zesítěné materiály například patří přírodní či syntetický kaučuk.
- **3D síť**
Trojrozměrné monomery. Působí zde kovalentní vazba. Tyto polymery mají zajímavé mechanické vlastnosti. Mezi zástupce se řadí epoxidy a fenolformaldehydy.

Dle uspořádání makromolekulární struktury:

■ Amorfní

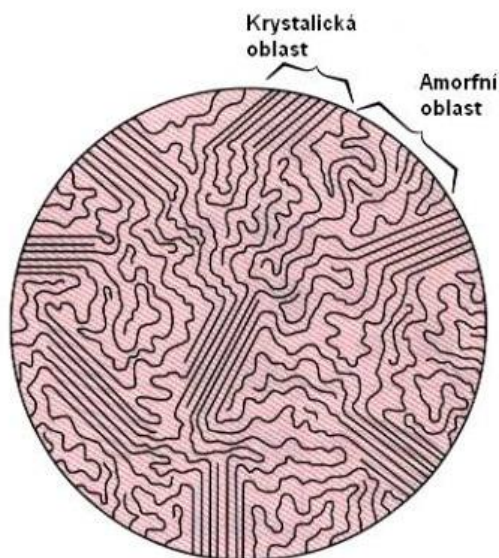
Amorfní struktura je struktura bez pravidelně uspořádané struktury. Jako základní útvary této struktury jsou tzv. globule o velikosti 10 až 30 nm vytvořené z makromolekul, které jsou chaoticky stočeny. Tato struktura se vyznačuje svou průhledností, dobrou vrubovou houževnatostí, větší pevností, tvrdostí, odolností proti creepu a menší smrštění v porovnání se semikrystalickou strukturou. Mezi představitele patří například PVC, PS, PMMA, PC.



Obr. 1.4 Struktura amorfních polymerů [16]

■ Krystalické – Semikrystalické

Překážkou úplné krystalizace je velká délka makromolekul. Přesto ale i u polymerů může být část struktury pravidelně uspořádána. Část objemu je uspořádána chaoticky. Hovoříme tedy o semikrystalickém stavu. Vyhodnocení semikrystalické struktury se provádí pomocí stupně krystalinity, který uvádí podíl krystalické struktury v daném objemu.



Obr. 1.5 Semikrystalická struktura [16]

Dle chování za zvýšených teplot a při působení vnějších sil:

▪ Termoplasty

Termoplasty se dají opakovaným ohřevem přivést do stavu taveniny a nechat opět ztuhnout při teplotě, odpovídající danému typu termoplastu. Aby přešly do tuhého stavu je nutné je ochladit pod teplotu tání. Dají se snadno tvářet různými technologiemi. T_m (semikrystalické plasty), respektive teplotu viskozního toku T_f (amorfní plasty). Při opakovaném ohřevu a zpětnému ztuhnutí, nedochází ke změně struktury. Tento proces se dá teoreticky opakovat do nekonečna. Termoplasty patří mezi nejvíce zpracované materiály procesem vstřikování. Nabízejí širokou škálu druhů, barev, různých mechanických vlastností počínaje pružnými až po plasty o vysoké pevnosti například za použití skelných vláken. Jejich zpracování určuje zejména tepelná degradace během vstřikování a tekutost, která souvisí se zaplňováním formy. Mezi termoplasty patří například polypropylen (PP), polystyren (PS), polyetylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), Poliamid (PA), Polymethylmethakrylát (PMMA).

▪ Reaktoplasty

Reaktoplasty (termosety, duroplasty) se nedají opětovně tavit a znovu zpracovávat jako termoplasty. V první fázi zahřívání měknou a lze je do určité míry tvářet. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci, díky které dochází k prostorovému zesíťování struktury (vytvrzování). Pokud bychom zahřívali dále, došlo by postupně k degradaci struktury. Využití reaktoplastů v oblasti vstřikování je oproti termoplastům daleko nižší. Jejich aplikace ve strojírenském provozu je omezena jejich nízkou vrubovou houževnatostí. Používají se spíše jako tepelně a elektricky izolační součásti například v elektrotechnice. Jejich tvrdost, pevnost a tepelná stálost je v porovnání s termoplasty vyšší. Ovšem tažné vlastnosti jsou nižší. Proces vstřikování reaktoplastů je v porovnání s termoplasty poněkud horší, vykazují horší tekutost a tedy i zabíhavost do formy a během vytvrzování vznikají těkavé plynné látky, kterým musí být umožněno dostat se z formy ven. Samotný proces je tedy trochu odlišný od klasické technologie vstřikování. Při samotném procesu dochází k výrazné orientaci plniva (přidáváno ke zlepšení zabíhavosti), což se projevuje zvýšením pnutí a anizotropií vlastností, díky kterým může dojít i k praskání. Příklady reaktoplastů: fenolformaldehydové hmoty, polyesterové hmoty, epoxidové pryskyřice apod.

▪ Elastomery

Elastomery jsou polymorfní materiály, které při prvotní fázi zahřívání měknou a je možno je tvářet. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci, a to prostorovému zesíťování struktury. Tomuto ději se říká vulkanizace. Elastomery mají schopnost se výrazně elasticky deformovat. Umožňuje jim to základní surovina kaučuk, který je již zmíněnou vulkanizací převeden na tvárnou pryž.

Dle obsahu částic – plnidel:

▪ Neplněné plasty

Nevyplněné plasty jsou plasty s nízkým obsahem přísad. Množství přísad neovlivňuje mechanické vlastnosti.

▪ Plněné plasty

Množství přísad ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti a také chemickou odolnost. Plněný plast je tvořen pojivem (makromolekulární látka) a určitým druhem přísady.

2 VLASTNOSTI PLASTŮ [9], [10], [14], [15], [16], [20], [23], [32]

2.1 Termodynamické vlastnosti

Vlastnosti polymerních látek jsou závislé především na teplotě. V některých oblastech teplot probíhá změna vlastností rychleji a někde dokonce skokově. Těmto oblastem říkáme přechodové. Figurují zde tzv. přechodové teploty:

T_g - teplota skelného přechodu

Při dosažení teploty skelného přechodu se pevnostní veličiny mění skokově. Koefficient tepelné roztažnosti se mění až o 100%. Na Obr. 2.1 je vidět výrazný pokles modulu pružnosti. Konkrétní hodnoty se odvíjejí od daného materiálu. Tato teplota se dá ovlivňovat přidáváním aditiv, zejména pak změkčovadel, které mají významný vliv na soudržnost a tím pádem i na teplotu T_g . Nejnižší hodnoty teploty skelného přechodu vykazují kaučuky, které mají malé mezimolekulární síly.

T_f - teplota viskozního toku

Při této teplotě narůstá změna vlastností polymerů. Dochází ke ztrátě kaučukovitých vlastností a polymer se mění ve vysoce viskózní kapalinu. Za touto teplotou se nachází oblast zpracování materiálu. Při dalším zvyšování teploty se snižují mezimolekulární síly a tím klesá i viskozita. Při dalším zvyšování teploty dochází k tepelné degradaci polymeru. Naopak při zvyšování teploty u zesíťovaných amorfních polymerů lze u těchto polymerů nalézt kaučukovitou oblast o relativně vysokém modulu pružnosti.

T_m - teplota tání krystalů (u semikrystalických polymerů)

Teplota T_m patří mezi významné veličiny u semikrystalických polymerů. Právě při dosažení této teploty dochází k nejrychlejším změnám mechanických vlastností. Dochází k tání a rozpadu krystalů. Hmota přechází z tuhého do kapalného stavu. Tato teplota se pohybuje v určitém intervalu hodnot. Záleží na velikosti makromolekulárních sil. Semikrystalický materiál obsahuje i určité množství amorfního podílu, a proto lze stanovit teplotu zesíťování (má významný vliv na změny vlastností polymeru).

Přehled stavů:

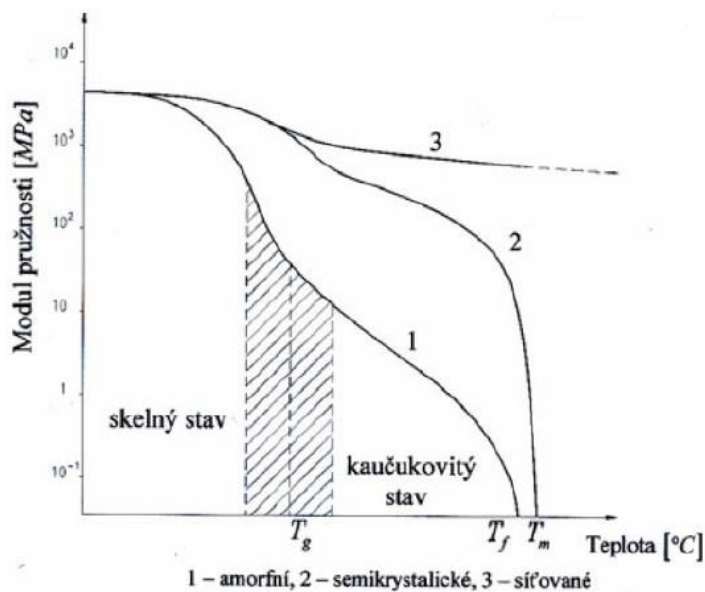
Skelný stav $T < T_g$

Kaučukovitý stav $T_g < T < T_f (T_m)$

Tavenina polymeru $T > T_f (T_m)$

2.2 Reologické vlastnosti (zpracovatelské)

Reologické chování tavenin polymerů je velice důležité jak pro výrobce surovin tak také pro výrobce strojů a nástrojů. Výrobci strojů využívají reologie chování při navrhování vstřikovacího šneku, vstřikovacích trysek a také pro stanovení velikosti uzavíracích sil formy. Konstrukteři forem dokáží lépe navrhnout tvarové řešení výlisku a vhodné rozmístění vtokového systému.



Obr. 2.1 Přechodové teploty u polymerů [32]

Objemový tok taveniny

Jako srovnávací číslo sloužící pro popis tečení taveny se udává ITT (index toku taveniny). Je to objem taveniny, který při dané teplotě a tlaku proteče definovanou kapilárou za 10 min. [cm³/10min]. Méně používaný je hmotnostní údaj udávaný v [g/10 min]. Čím větší hodnota, tím tekutější plast.

Tokové křivky

Popisují vztah mezi:

-smykovým napětím τ [Pa]

-smykovou rychlostí γ [s⁻¹]

-dynamickou viskozitou η [Pa.s]

$$\tau = \eta \times \gamma$$

(2.1)

Viskózní křivky

Jedná se o závislost dynamické viskozity na smykové rychlosti viz. Obr 2.2., $\eta = f(\gamma')$. Dynamická viskozita u tavenin plastů (pseudoplastické kapaliny) na rozdíl od tzv. newtonských kapalin závisí na teplotě a smykové rychlosti. Čím vyšší teplota, tím nižší viskozita.

1 – Oblast maximální newtonské viskozity

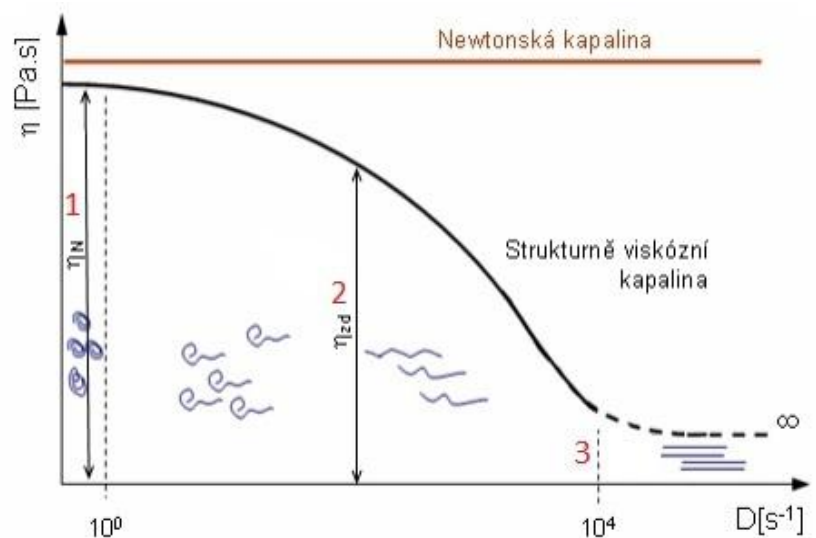
Při nízkých smykových rychlostech lze viskozitu považovat za konstantní a rovnou newtonské viskozitě. Makromolekuly zaujímají tvar volně sbalených „klubiček“ a přemísťují se jako celek.

2 – Oblast strukturní viskozity

Tuto oblast označujeme jako zdánlivou, jelikož záleží na okamžitých hodnotách smykového napětí a smykových rychlostí. Při poklesu viskozity dochází k rozbalování „klubiček“ makromolekul ve směru toku taveniny. Rozvinuté makromolekuly se pohybují snadněji a dochází tedy k poklesu viskozity.

3 – Oblast nekonečného smyku

Při velkých smykových rychlostech se viskozita stává nezávislou na smykové rychlosti. Je to případ, kdy jsou makromolekuly dokonale rozbaleny. V praxi se však s tímto případem u tavenin polymerů nesetkáme.



Obr. 2.2 Závislost dynamické viskozity tavenin polymerů na smykové rychlosti [14]

2.3 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti jsou velmi odlišné od typu polymeru a jsou silně závislé na teplotě a rychlosti deformace. Skutečné vlastnosti se odvíjejí také od tvaru výrobku a jeho zpracování (např. stupeň vytvrzení, orientace makromolekul, vnitřní pnutí).

■ STATICKÉ

Modul pružnosti v tahu E

Jeho velikost se mění dle způsobu a doby zatěžování. V technické praxi se proto využívá konstrukční modul pružnosti E_k , který se odvíjí od teploty, doby zatěžování a velikosti napětí.

Mez kluzu a pevnosti

Mez kluzu a pevnosti je důležitá při krátkodobém namáhání. Při dlouhodobém namáhání a rostoucí teplotě se snižují. Čím je stupeň orientace makromolekulární struktury vyšší, tím jsou vyšší i rozdíly v pevnostech podél směru orientace a směru příčném. Při vyšších rychlostech namáhání dochází k poklesu houževnatosti a významným způsobem dochází až k úplné ztrátě kluzu.

Kríp

Kríp (tečení) je pomalá deformace tělesa narůstající s časem, vyvolaná konstantní silou nebo konstantním napětím. Kríповé vlastnosti se posuzují pomocí tahové zkoušky za studena. K největšímu tečení dochází u materiálů semikrystalických. U amorfních plastů je hodnota nižší a u reaktoplastů hraje zanedbatelnou roli. Výstupem tahové zkoušky, která trvá poměrně dlouhou dobu, je závislost napětí a deformace, která odpovídá určité době zatěžování.

Tvrдость

Tvrдость se dá snadno ovlivnit pomocí přísad (aditiv-tvrdidel), které jsou do polymerů přidávány. Ovlivnit se dá rovněž teplotou, při jejímž poklesu tvrдость vzrůstá. Tvrдость plastů se dá měřit různými způsoby. Neexistuje žádná univerzální metoda, která by dokázala vystihnout tvrdé reaktoplasty a měkké elastomery. Pro tvrdé reaktoplasty se používá měření podle Brinella a na středně tvrdé a měkké plasty a elastomery se používá Shore.

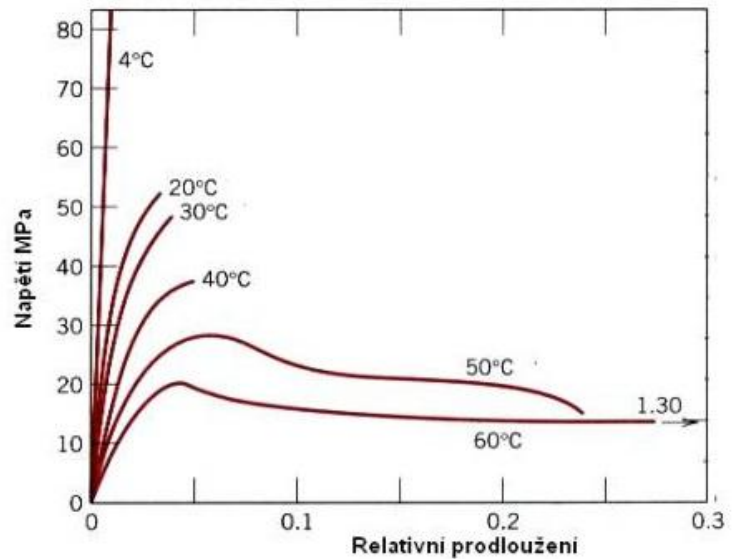
■ DYNAMICKÉ

Rázová houževnatost

Patří mezi nejdůležitější charakteristiky materiálu. Je měřítkem náchylnosti materiálu k lomu při rázovém namáhání. Je charakterizována energií (prací) potřebnou k přeražení normalizované zkušební tyčky. Při teplotách pod teplotou skelného přechodu T_g je rázová houževnatost nízká. Pokud se dostaneme do oblasti teploty skelného přechodu, T_g prudce vzrůstá.

Vrubová houževnatost

Měření vrubové houževnatosti se provádí stejným způsobem, ale v tomto případě je zkušební tyčka opatřena vrubem. Při zatížení dochází právě v tomto vrubu k velké koncentraci napětí, které usnadní vznik trhliny. Vrubová houževnatost posuzuje také citlivost k vrubům. Při vzrůstající teplotě nám vrubová houževnatost v porovnání s rázovou roste rychleji.



Obr. 2.3 Mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě [23]

2.4 Tepelné

Teplota má významný vliv na vlastnosti plastů. Vše je odvislé od prostorů, kde bude daný plastový výrobek používán.

Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je podstatně nižší než u kovových materiálů. Její nejvyšší hodnota se pohybuje v rozmezí -50 až $+50$ °C. Tepelná vodivost je vyšší ve směru orientace makromolekul než ve směru na orientaci kolmém. Přidáním příměsí jako jsou například skleněná vlákna či kovové prášky se vodivost zvyšuje. Naopak pórovitost a nadouvadla ji snižují.

Teplotní roztažnost

Plasty, které mají vyšší modul pružnosti vykazují nižší teplotní roztažnost. Plniva jako skleněná vlákna a grafit roztažnost plastů snižují. Anizotropie tepelné roztažnosti je způsobena orientací makromolekul. Ve směru orientace je roztažnost větší.

Tepelná odolnost

Jak se plasty chovají při změnách teploty je úzce spjato s teplotou skelného přechodu T_g . Pod touto teplotou jsou použitelné amorfní plasty, které nad teplotou T_g , ztrácejí pevnost vlastnosti a měknou. Proti tomu semikrystalické plasty se používají nad teplotou skelného přechodu, kde mají vyváženou kombinaci houževnatosti a pevnosti. Elastomery se využívají také nad teplotou T_g , kde mají kaučukovitý charakter. Reaktoplasty se využívají jak nad, tak pod touto teplotou.

Hořlavost

Zkoušení hořlavosti plastů má význam například ve stavebnictví či elektrotechnice. Její zkoušení se provádí různými metodami podle účelu použití. Hořlavost plastů jsme schopni snížit přidáním minerálních plniv nebo skelných vláken.

2.5 Elektrické vlastnosti

Plasty jsou všeobecně považovány za dobré elektrické izolanty. Přidáním některých přísad například grafit nebo v případě navlhavých plastů přítomností vody se izolační vlastnosti mohou snížit.

2.6 Optické vlastnosti

Optické vlastnosti nehrají ve strojírenství příliš významnou roli. Existují i případy kde se optické vlastnosti uplatňují. Například mezi amorfní termoplasty, které mají dobrou propustnost viditelného světla, například PS, PE, PVC, PC. Jsou využívány např. jako průhledná víka či průzory. Optické vlastnosti jsou rovněž důležité v automobilovém průmyslu na zadní či přední kryty světlometů automobilů.

2.7 Navlhavost a nasákavost

Navlhavost a nasákavost je vlastně přijímání vody polymerem z okolního prostředí. O navlhavosti mluvíme v případě, že se plast nachází ve vlhkém ovzduší. V případě, že se plast nachází ve vodě, mluvíme o nasákavosti. Přijímání vody je urychleno vyšším procentem vody v ovzduší a nižší tloušťkou stěny plastové součásti. Pro snížení absorpce vody se používají anorganická plniva (např. křemičitá močka či skleněná vlákna). Obsah vody v plastu ovlivňuje jak jeho rozměry, tak jeho pevnost, která se při zvyšujícím se obsahu vody, snižuje. Při vyšším obsahu nám klesá rovněž tvrdost a elektrické izolační vlastnosti. Naopak se zvyšuje tažnost a houževnatost. V případě vstříkovaní mají výrobky ihned po vstříknutí nulový obsah vody, někdy urychlujeme jejich navlhnutí ponořením do vodní lázně, abychom dosáhly rovnovážného stavu.

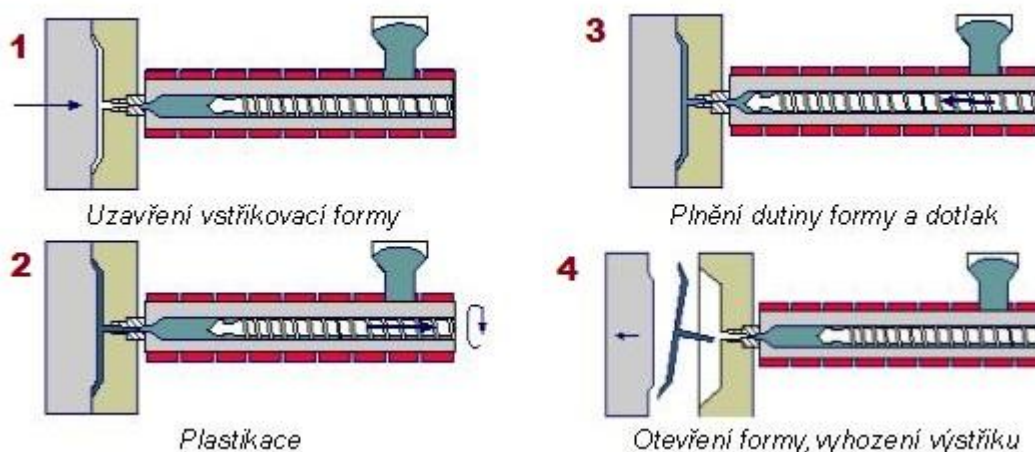
3 CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVÁNÍ A ZÁKLADNÍCH POJMŮ

3.1 Vstřikování [7], [16], [32]

Vstřikování je nejpoužívanější technologie zpracování termoplastů. Vstřikovací cyklus viz. Obr. 3.2 je sled přesně po sobě jdoucích operací, díky kterým je zhotovena plastová součást. Plast v podobě granulátu je nasypán do násypky, pomocí které je přiváděn ke šneku, který se otáčí a za pomoci tření vytváří homogenní taveninu. Jedná se o proces, kdy dochází k roztavení předepsaného množství materiálu, který je vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem vstříknut do vstřikovací formy, která má tvar požadované součásti. Je to velice progresivní technologie s vysokým počtem opakování, jež umožňuje zhotovit v jedné operaci více kusů zároveň. S výrobky vyrobenými technologií vstřikování se setkáváme prakticky všude. Mohou to být předměty běžné spotřeby, jako jsou přepravky, kbelíky, věšáky, páky, ale také předměty z technické sféry. Velmi významnou oblastí je automobilový průmysl, například víčka palivových nádrží části světlometů či palubních desek. Příklad pokovené části světlometu je na Obr. 3.1. Další uplatnění nacházejí také ve stavebnictví elektrotechnice či lékařství. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velice dobrou rozměrovou a tvarovou stálostí.



Obr. 3.1 Pokovená část světlometu zhotovená vstřikováním [7]



Obr. 3.2 Pracovní cyklus vstřikování [16]

3.2 Technologické parametry [9], [32]

Tavící komora

Tavící komora jinak také nazývaná jako vstřikovací komora je tlakový vytápěný válec, ve kterém dochází k plastifikaci, homogenizaci a přípravě materiálu ke vstřikování

Plastikace

Je to postup, ve kterém se hmota uvede do plastického stavu a to zpravidla zahříváním.

Plastický stav

Plastický stav je stav, kde se makromolekulární látka deformuje velmi malým napětím a tato deformace je nevratná.

Tvářecí tlak

Tlak ve tvarové dutině formy. Tvářecí tlak je vždy nižší než vstřikovací tlak vlivem tlakových ztrát.

Vstřikovací síla

Vstřikovací síla je síla, kterou vyvíjí zpravidla šnek (případně píst) v tavící komoře na roztavený materiál a kterou jej vstřikuje do vstřikovací komory.

Uzavírací síla

Uzavírací síla je největší síla potřebná k uzavření formy a zároveň slouží k zajištění její těsnosti během vstřikování.

Přisouvací síla

Přisouvací síla slouží k přisunutí pohyblivé části formy k její pevné části. Je mnohem menší než síla uzavírací a vstřikovací.

Vstřikovací teplota

Jedná se o teplotu taveniny při vstřiknutí, která se měří v trysce tavící komory.

Vstřikovací tlak

Vstřikovací síla vztahovaná na jednotku plochy čela vstřikovacího šneku nebo pístu.

Dotlak

Tlak, který působí na materiál po zaplnění tvarové dutiny formy do okamžiku zatuhnutí výstřiku nebo vtokového systému. Většinou je nižší než vstřikovací tlak, výjimečně může být i stejný. Dotlak působí delší dobu až desítky sekund.

Zpětný tlak

Tlak, kterým působí čelo šneku či pístu na taveninu během fáze plastikace až do okamžiku zatuhnutí taveniny ve formě. Zabraňuje tzv. dekompresi. Jeho velikost je nižší než velikost dotlaku.

Vstřikovací kapacita

Neboli maximální zdvihový objem šneku. Je to maximální objem taveniny v cm^3 , který šnek vystříkne při jednom pracovním zdvihu tavící komory.

Plastikační kapacita

Plastikační kapacita je množství hmoty v kilogramech, kterou je schopen šnek za jednu hodinu převést do plastického stavu.

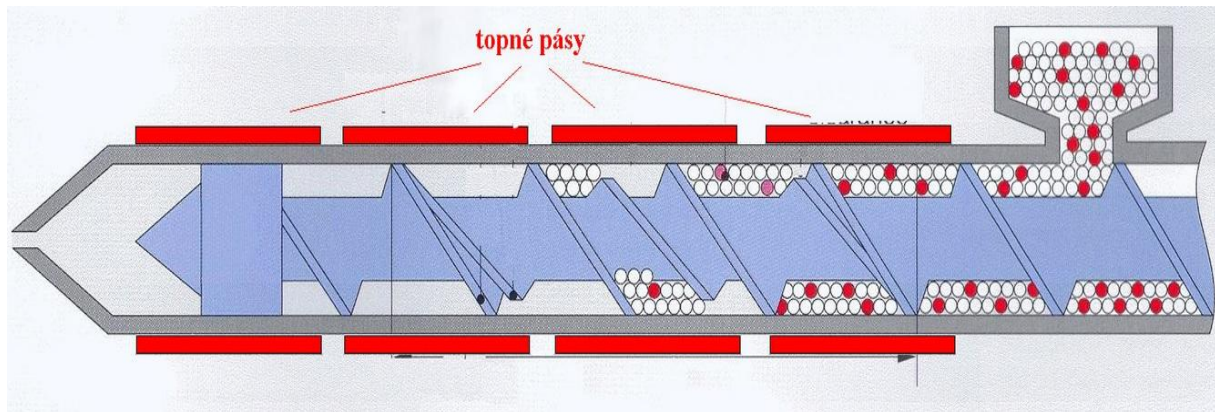
3.3 Časový průběh vstřikovacího cyklu [9], [39]

3.3.1 Dávkování a plastikace

Dávkování: Určíme optimální objem taveniny, který se bude vstřikovat do formy. Množství je potřeba navýšit (5 až 10%) o tzv. Materiálový polštář ve válci vstřikovacího stroje. *Materiálový polštář* slouží jako zásoba plastu pro doplňování. Je to vrstvička taveniny před čelem šneku, která mimo jiné chrání šnek (křehká zakalená část) před opřením o čelo tavící komory.

Plastikace: Plast přechází ze skelného stavu do stavu taveniny. Příprava homogenní taveniny plastu a shromáždění jí před čelem šneku. Přes násypku je granulát sypán do válce, kde se otáčí a současně posouvá šnek. Granulát se nejprve taví a poté hněte. Následně je dopraven do prostoru válce před čelem šneku. K plastikaci dochází pomocí topných těles, ale také díky tření (přeměna mechanické energie na tepelnou). Díky tření se materiál zahřeje sám až na 20% z celkového tepla potřebného k plastikaci (tzv. *frikční teplo*). Sníží se tím příkon topných těles.

Ovlivnit homogenitu taveniny lze konstrukcí šneku, otáčkami šneku, zpětným tlakem a vstříkovací dávkou.



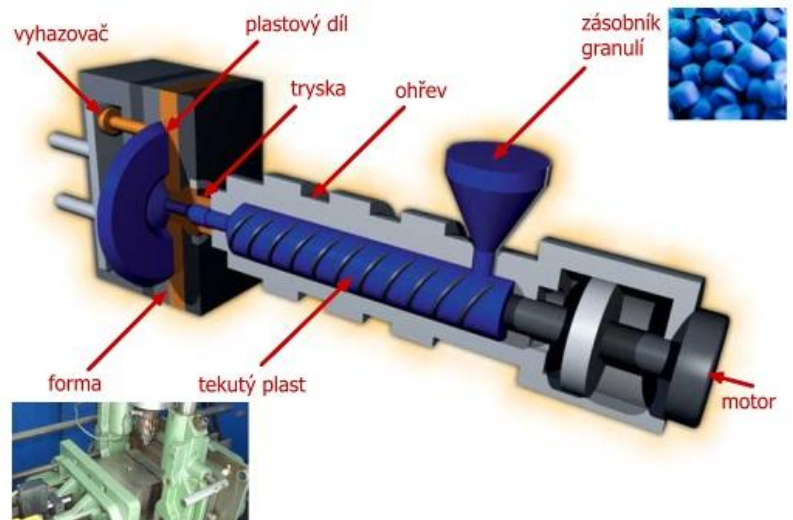
Obr. 3.3 Plastikace pomocí vstříkovací jednotky [16]

3.3.2 Vstříkování (plnění)

V této fázi nastává plnění dutiny formy taveninou za pomoci axiálního posuvu šneku. Dochází k objemovému naplnění formy (její tvarové dutiny) a následuje kompresní doba, kdy tvářecí tlak ve formě, ale i tlak v hydraulice vstříkovacího stroje prudce stoupne. Aby nedošlo k enormní tlakové špičce, tak nastává přepnutí vstříkovacího tlaku na dotlak.

Parametry vstříkování:

- Teplota taveniny
- Teplota formy
- Vstříkovací rychlost
- Vstříkovací tlak



Obr. 3.4 Vstříkování [4]

3.3.3 Doplnění (Dotlak)

Po zaplnění tvarové dutiny formy následuje okamžik procesu vstříkování, kdy dochází k přepnutí vstříkovacího tlaku na dotlak.

Správný čas přepnutí, může být řízen:

- Tlakem v hydraulice tlakového stroje
- Dle tlaku v tvarové dutině formy (tlakové snímače)
- Dle vstříkovaného objemu (dle dráhy šneku)
- Dle vstříkovacího času

Dotlak má velký vliv na vlastnosti výstřiku. V této fázi je nahrazován úbytek materiálu vyvolaným smršťováním hmoty při chlazení ze zpracovatelské teploty na teplotu formy. Dotlak by měl být udržován do té doby, dokud nedojde ke zchladnutí vtokové soustavy. Hodnota dotlaku se obvykle nastavuje na 40 až 60 % vstřikovacího tlaku. V ojedinělých případech může být i větší. Při vyšších hodnotách dotlaku se nám ovšem zvyšuje energetická náročnost procesu, vnitřní pnutí výstřiku a opotřebení formy. Právě v této fázi dochází k využití navýšené dávky o 5 až 10 % (viz výše). Dotlakem tohoto množství materiálu dochází k vyrovnání objemového smrštění, ke kterému dochází během fáze chladnutí. Dotlaková fáze má spolu s tuhostí formy a volbou uzavírací síly stroje vliv na tvorbu přetoků v dělicích rovinách formy, zvýšení nepřesností rozměrů a na schopnost vyhození výstřiku z formy při přeplnění tvarové dutiny formy.

Předčasné přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak

Při předčasném přepnutí může dojít k nedostříknutí materiálu, což může vést k propadlinám vnějšího povrchu nebo ke staženinám v řezu.

Pozdní přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak. Jak již bylo zmíněno výše, dochází k velkým tlakům ve formě a může docházet k přetokům v dělicí rovině. Dochází také k velkým vnitřním pnutím ve výstřiku, což může vést k jeho deformacím.

3.3.4 Chlazení

Proces chlazení probíhá již během vstřikování, ale většinou se nastavuje se začátkem dotlaku a trvá až do okamžiku otevření formy a vyhození výstřiku. Temperační soustavou je odváděno teplo z dutiny formy a dochází také k poklesu tlaku. Minimální doba ochlazování závisí na dosažení minimální meze tuhosti výstřiku, aby mohl být bezpečně vyhozen z formy.

Na ochlazování má vliv:

- Tvar výstřiku
- Tloušťka stěny
- Teplota taveniny, formy
- Vstřikovací rychlost
- Průběh dotlaku

K temperování se používá jednotka s uzavřeným okruhem. Pokud se bude jednat o složitější a komplikovanější tvary je možno použít více temperačních jednotek abychom zajistili správné ochlazování se správnou teplotou ve všech místech formy.

3.3.5 Vyhazování dílce z formy

Již zchladnutý výstřik je po odformování, během otevírání formy vyhozen z tvarové dutiny formy mechanickým zařízením – vyhazovačem nebo impulsem stlačeného vzduchu.

Ovládání vyhazovačů:

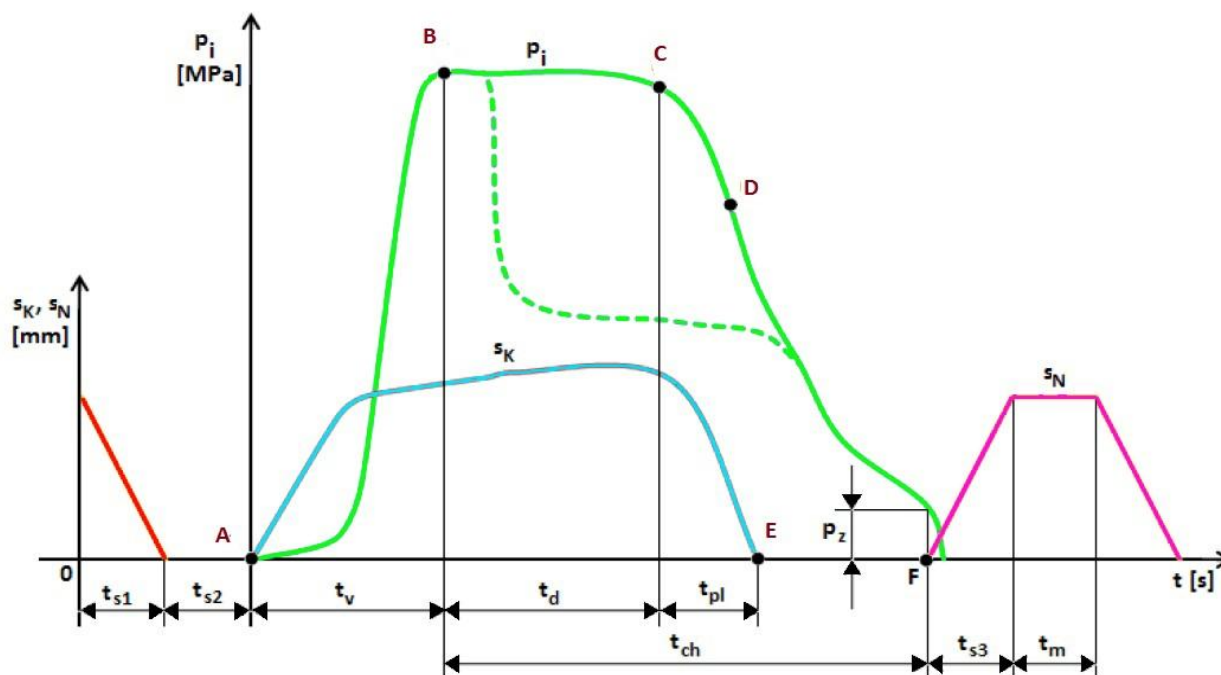
- Mechanicky

Za pomoci stavitelného dorazu stroje při otvírání formy. Do zasunuté polohy jsou vyhazovače vráceny při uzavírání formy opěrným (vratným) kolíkem.

- Hydraulicky

Samotný hydraulický vyhazovací systém stroje je mechanickou spojkou propojen s čepem vyhazovacího systému formy. Pohyb vyhazovačů formy není mechanicky vázán na pohyb formy při jejím otevírání či zavírání.

3.4 Časový průběh tlaku ve formě [3], [9], [16]



p_i – vnitřní tlak p_z – zbytkový tlak při otevírání formy
 s_K – pohyb šneku s_N – pohyb nástroje (formy)

t_{s1} – doba uzavírání formy t_{s2} – doba přisouvání vstřikovací jednotky k formě t_v – doba vstřikování
 t_d – doba dotlaku t_{ch} – celková doba chlazení t_{pl} – doba plastikace t_{s3} – doba otevírání formy t_m – prodleva

A – začátek vstřikování **B** – konec plnění dutiny formy **C** – začátek dotlaku **D** – konec dotlaku **E** – konec chlazení **F** – začátek pohybu formy

Obr. 3.5 Časový průběh tlaku ve formě [16]

Vstřikovací cyklus však můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu jako závislost vstřikovacího tlaku na čase. Tento tlak nazýváme tlakem vnitřním p_i viz. Obr. 3.5. Na počátku vstřikovacího cyklu bude dutina formy prázdná a forma otevřená (čas $t_0=0$). V tomto nulovém čase je dán stroji impuls aby byl zahájen cyklus. Pohyblivá část formy se tedy přisune k pevné části a forma se zavře a uzamkne –*strojní časy*. Na přisunutí části formy je potřeba přisouvací síla $F_{př}$, která je přibližně třikrát menší než uzavírací síla F_u na uzamčení formy. Musí být zaručeno, že se forma při vstřikování vlivem tlaku taveniny neotevře. Nyní následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná samotné vstřikování do tvarové dutiny formy. Šnek se nyní neotáčí ale pouze axiálně posouvá (chová se jako píst). Po naplnění formy dojde ještě k tzv. dotlaku, což je největší tlak v celém cyklu. Po vstupu taveniny do formy dochází ihned k předávání tepla formě a tavenina chladne. Proces chlazení trvá až do okamžiku otevření formy a vyjmutí výstřiku. V praxi se chlazení dělí na chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na chlazení při klesajícím tlaku. Doba po jakou dochází ke chlazení záleží na tloušťce stěny vylisku a na teplotě formy T_F . Během chlazení dochází ke smršťování vylisku a tedy ke změně jeho tvaru a rozměrů. Zamezujeme tomu dodatečným dotlačením taveniny do formy (Dotlak viz. výše). Velikost dotlaku může být po celou dobu vysoká **1**) jako maximální tlak a nebo se může po pár vteřinách snížit **2**). Dotlak tedy rozdělujeme na izobarický a izochorický. Pro dotlačování zůstává před čelem šneku materiálový polštář. Po dotlaku začíná plastikace nové dávky. Šnek se otáčí a přes násypku je

k němu přiváděn granulát. Dochází opět k plastizaci a hmota je vlačována před čelo šneku, který se současně odsouvá dozadu a musí překonávat tzv. protitlak (zpětný tlak). Velikost protitlaku závisí na době plastikace. Při vyšších hodnotách protitlaku by mohlo docházet k degradaci plastu. Pokud je komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Během pokračujícího chlazení klesne tlak v dutině formy až na tzv. zbytkový tlak p_z . Tento tlak se ve formě nachází i těsně před otevřením. Vysoký zbytkový tlak způsobuje vnitřní pnutí ve výliscích. Jeho snížení můžeme ovlivnit zkrácením doby dotlaku a nebo řízením jeho průběhu. Po zchladnutí je forma otevřena a výlisek vyhozen.

3.5 Výhody a nevýhody vstřikování [9], [32], [38]

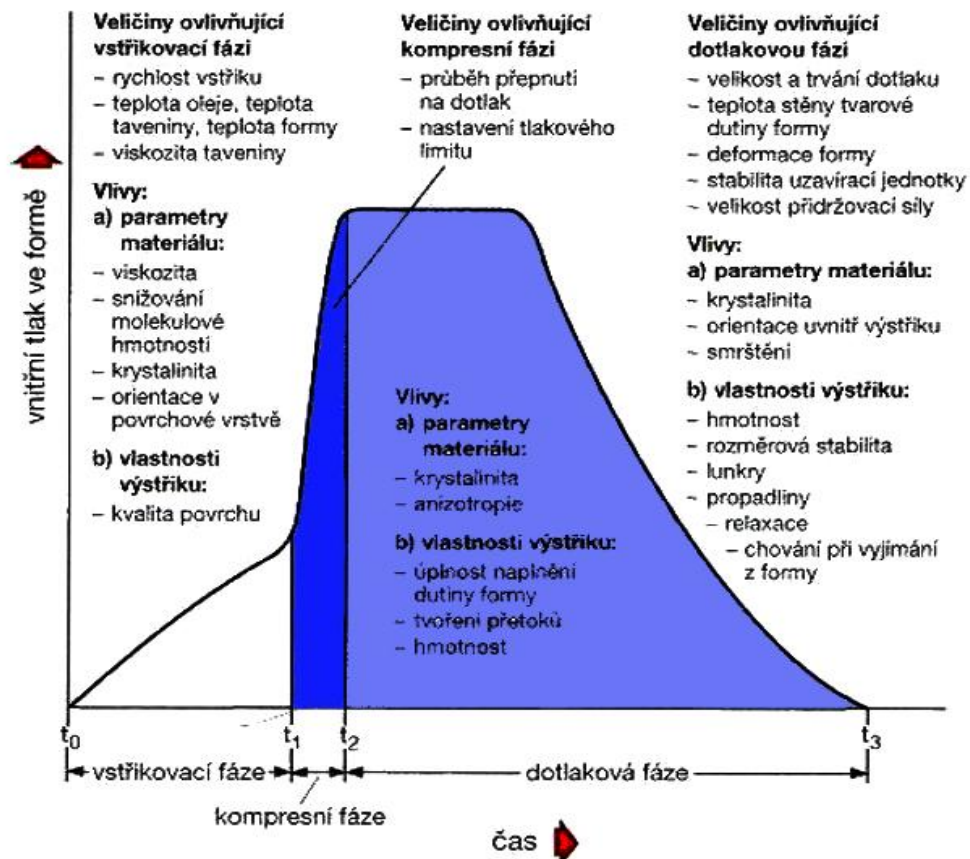
Výhody

- Možnost výroby tvarově složitých dílů
- Krátký výrobní čas (vstřikovací cyklus)
- Lze vyrábět součásti s vysokou rozměrovou přesností a se širokou škálou druhů povrchů.
- Lze vyrábět díly, u kterých není potřeba dokončovací operace.

Nevýhody

- Vysoké náklady na provoz
- Cena dílce je neúměrně nízká v porovnání s cenou vstřikovací formy (vyplatí se pouze při vysokém počtu kusů)
- Náročná a nákladná výroba vstřikovací formy

3.6 Faktory ovlivňující kvalitu a vlastnosti výstřiku [9], [16]



Obr. 3.6 Parametry ovlivňující jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu [16]

Vlastnosti a kvalita výstřiků výrazně ovlivňují podmínky vstřikovacího procesu (technologické parametry, volba stroje konstrukce formy). Významný vliv má i druh plastu a jeho reologické vlastnosti, rychlost plastikace, tepelná stabilita s ohledem na zpracovatelské teploty a především smrštění plastů. Tyto parametry se navzájem ovlivňují a působí společně. Z technologických parametrů, které mají největší vliv na vlastnosti výstřiků to jsou: vstřikovací tlak, teplota taveniny, teplota formy, rychlost plnění dutiny formy, výše a trvání dotlaku.

3.6.1 Orientace

Orientací je myšlena orientace makromolekul, která nastává pouze u zpracování termoplastů jelikož reaktoplasty mají strukturu zesíťovanou. Vše začíná vstřikováním taveniny o vysoké teplotě a rychlosti do úzkých kanálků, kde se makromolekuly různě nakrucují a vlivem smykového napětí dochází k jejich narovnávání ve směru toku taveniny. V tomto nepřírozeném stavu dochází ke ztuhnutí a k anizotropii vlastností výstřiku. Mechanické vlastnosti stoupají ve směru toku taveniny a snižují se ve směru kolmém. Pokud smykové napětí přestane působit dříve, makromolekuly se budou snažit zaujmout opět rovnovážnou polohu a orientace se může projevit jen z části. Orientace je nevratná, a její zmizení se projeví až po ohřátí na teplotu, při níž jsou překonány vazebné síly.

3.6.2 Rozměrová přesnost výstřiku

Rozměrová přesnost je ovlivněna těmito faktory:

- Vliv materiálu výstřiku (chemické složení a struktura polymeru, semikrystalické – velké smrštění, amorfní – menší smrštění)
- Vliv konstrukce plastového dílce (tloušťka stěny, členitost tvaru)
- Vliv konstrukce vstřikovací formy (rozměrová nepřesnost formy, vtoková soustava, chladicí a temperační systém)
- Kolísání technologických parametrů výroby (teplota taveniny a formy, vstřikovací tlak atd.)

Tyto faktory ovlivňují velikost celkového smrštění a orientaci, což má přímý dopad na rozměrovou přesnost viz. Obr. 3.7. Na rozměrové změny výstřiků mají vliv taktéž pracovní podmínky (teplota prostředí, stárnutí vlivem používání a relativní vlhkost povrchu).

Přesnost rozměrů

X – Střední rozměr

A1 – Rozměr ve formě

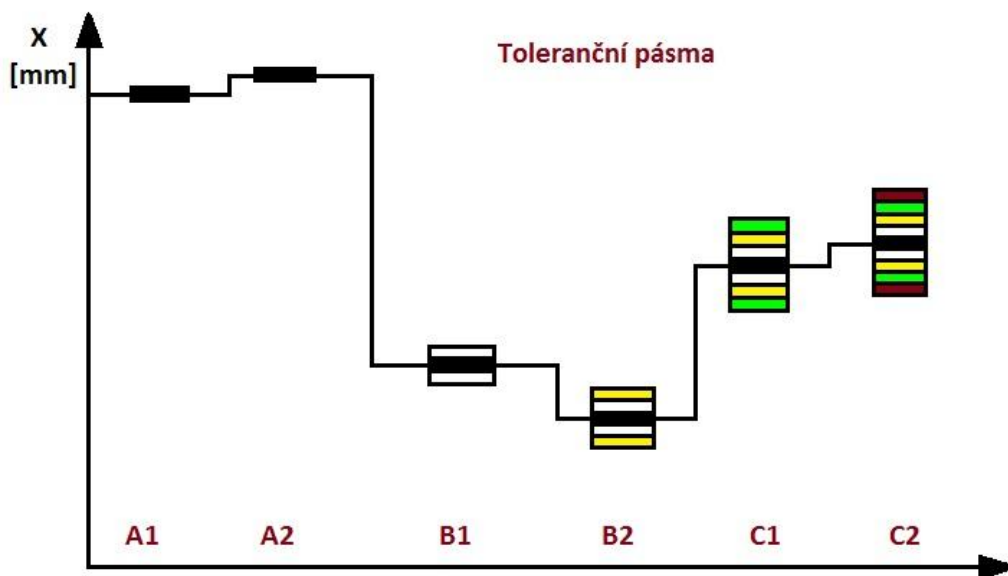
A2 – Rozměr ve formě po ohřevu na provozní teplotu

B1 – Rozměr výlisku po smrštění – po šestnácti hodinách

B2 – Rozměr výlisku po dostatečném smrštění

C1 – Rozměr výlisku po navlhnutí

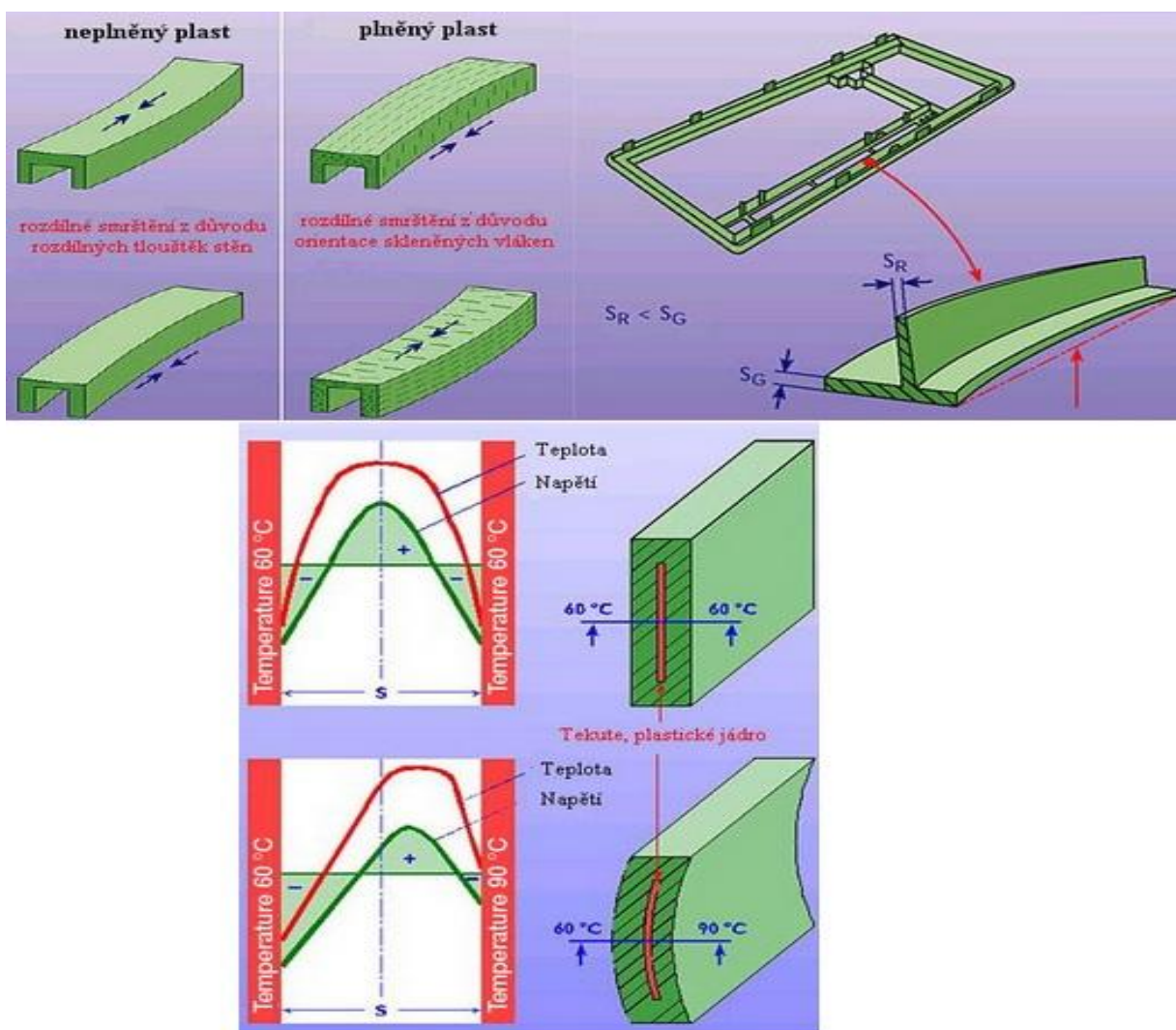
C2 – Rozměr po ohřevu na provozní teplotu (tolerance na výkrese)



Obr. 3.7 Přesnost rozměrů vyjádřená pomocí tolerančních pásem [9]

3.6.3 Smrštění

Smrštění je definováno jako rozměr v procentech mezi rozměry studeného nástroje a rozměry z něj vyrobeného dílu. Měří se nejdříve 24 hodin a nejpozději 168 hodin po vyrobení a uložení do normalizovaného prostředí (23°C/50% relativní vlhkost). Smrštění můžeme rozdělit do dvou skupin a to *výrobní smrštění* (až 90% celkového smrštění) a *dodatečné smrštění*, které probíhá v delším časovém horizontu a lze ho urychlit temperováním. Jeho velikost je ovlivněna druhem plastu. Mezi další vlivy mající vliv na velikost smrštění má bezpochyby technologii vstřikování, homogenita taveniny, druh výstřiku, tloušťka stěny a i vstřikovací forma (temperační systém, vtoková soustava). Při krátké době dotlaku dochází ke zvětšení smrštění. Stanovení smrštění u jednotlivých plastů je složité. Existují tedy tabulky s určitým rozmezím smrštění jednotlivých druhů plastů.



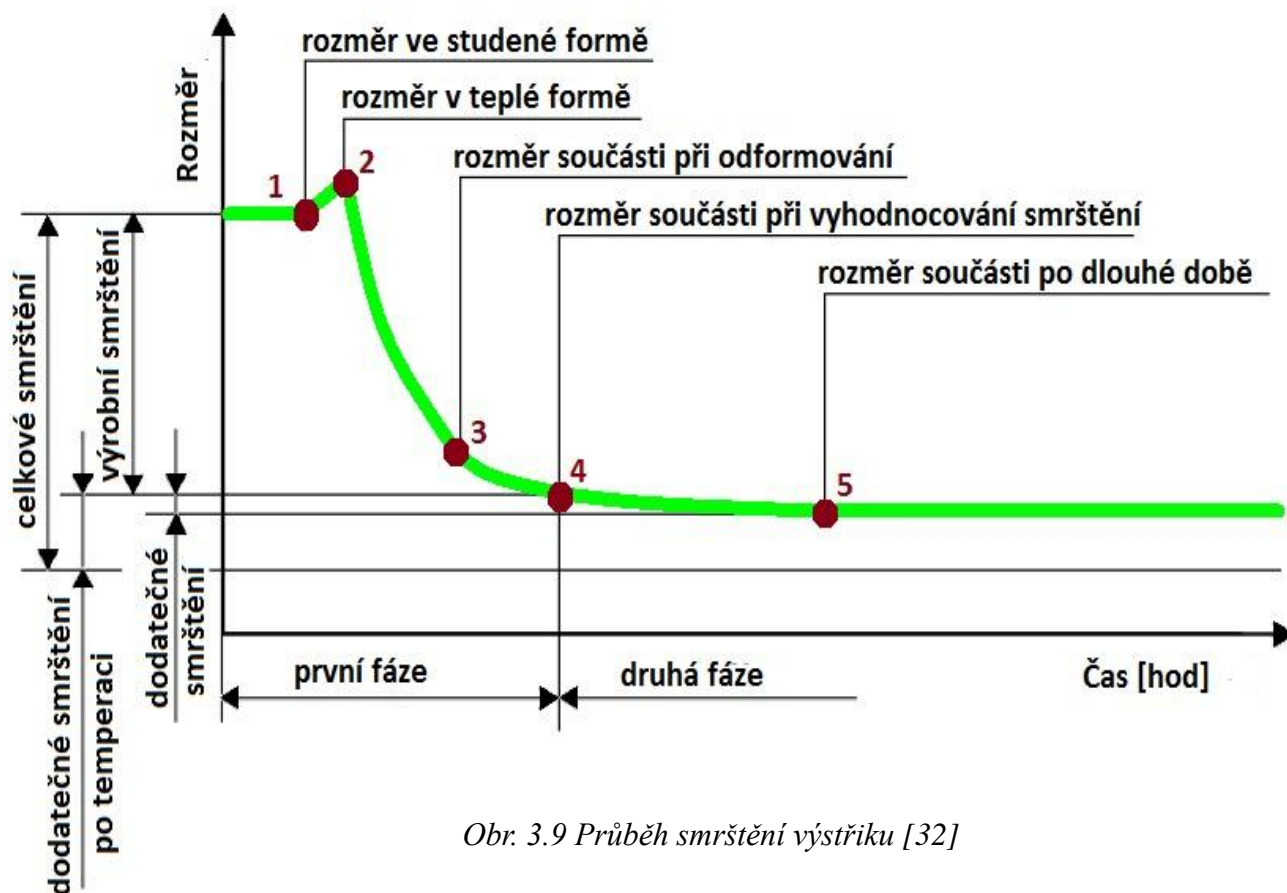
Obr. 3.8 Smrštění při chlazení plastového dílce [16]

Ke smrštění se musí přihlížet i při konstrukci tvarových částí formy. Řeší se to například způsobem, že rozměr součásti, který bude výsledkem vstřikování, se zvětší o velikost smrštění. Dalším způsobem mohou být některé výměnné části jako jsou vložky či tvárníky vyrobeny větší a v případě nesprávných rozměrů po zchladnutí se mohou nahradit za jiné.

Smrštění nemusí být stejné v podélném a kolmém směru. Což může například způsobovat nevhodné umístění vtoku, nebo použití plniv, například skelných vláken (Obr. 3.8).

Amorfní termoplasty – smrštění 0,3 až 0,5%

Semikrystalické plasty – 0,8 až 4%



Obr. 3.9 Průběh smrštění výstřiku [32]

4 Vstřikovací stroje [9], [16], [26], [27], [32]

Proces vstřikování probíhá na dnešních vstřikovacích strojích plně či částečně automaticky. Díky automatizaci a volbě vhodných technologických parametrů je dosažena vysoká produktivita práce. Pořizovací cena stroje je poměrně vysoká, je proto tedy vhodné jeho maximální využití ve velkosériové či hromadné výrobě.

Vstřikovací stroj se skládá z:

- Vstřikovací a plastikační jednotky
- Uzavírací jednotky
- Řídicího systému

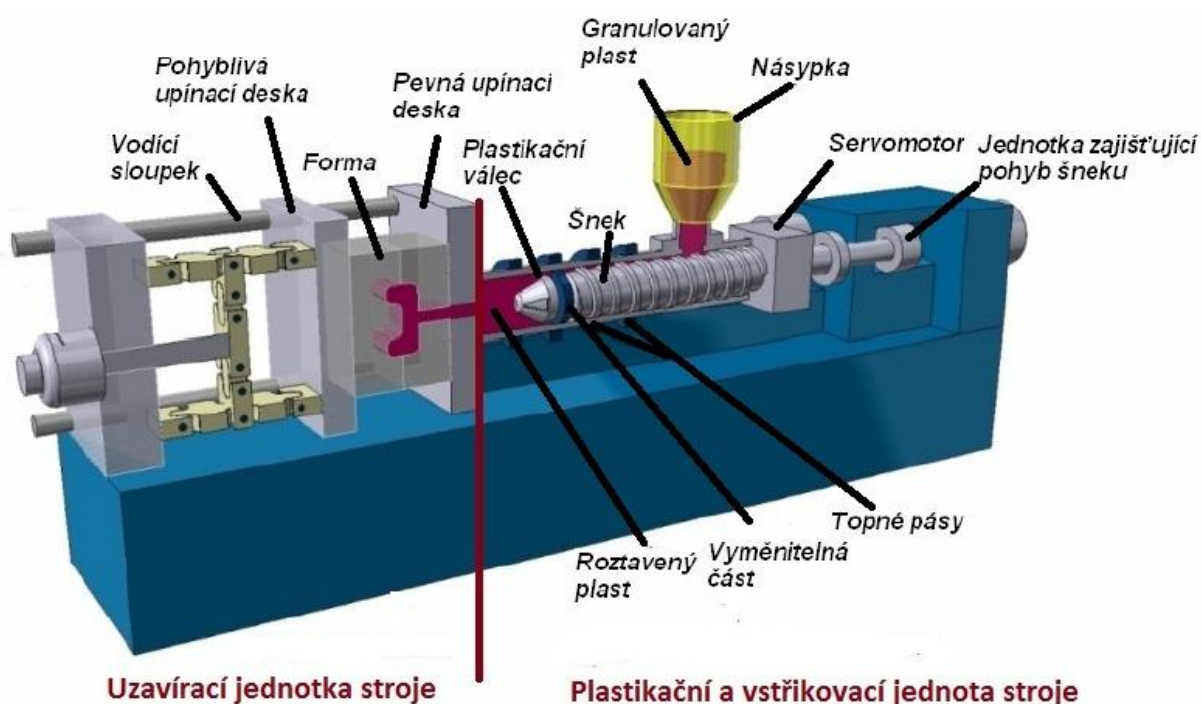
Vstřikovací stroje mohou být dvojího uspořádání:

a) *Vodorovné uspořádání*

Osa vstřikovací a uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je v horizontální poloze.

b) *Svislé uspořádání*

Osa vstřikovací a uzavírací jednotky je ve vertikální poloze.



Obr. 3.10 Části vstřikovacího stroje [26]

4.1 Vstřikovací a plastikační jednotka

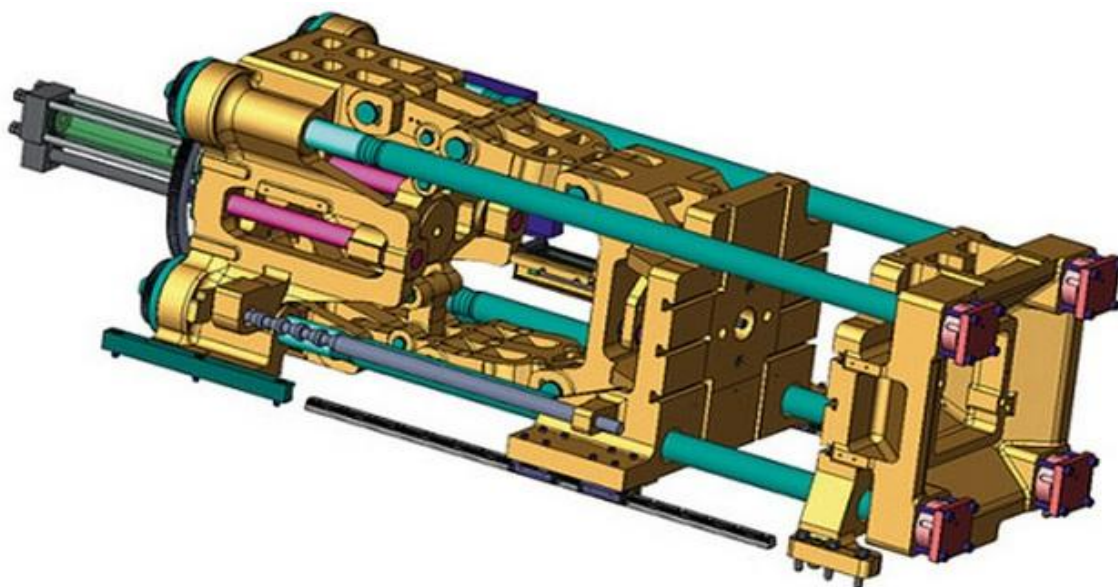
Vstřikovací a plastikační jednotka je tvořena: dávkovacím zařízením, plastikačním válcem se šnekem nebo pístem, tryskou, vytápěním a pohonem s regulací. Jednotka plní dva hlavní úkoly. Jedním je přeměna plastového granulátu na materiálově a teplotně homogenní taveninu o zvolené viskozitě. Druhým úkolem je doprava a následné vstřikování taveniny velkou rychlostí a pod vysokým tlakem do tvarové dutiny uzavřené vstřikovací formy. Ukázka plastikační jednotky je na obrázku 3.3. Jako první vstřikovací jednotky byly jednotky pístové, jejichž princip byl převzat tlakového lití kovů. Pístové jednotky vydržely do poloviny 20.století, kdy byly nahrazeny šnekovými jednotkami, jejichž největší přednosti v porovnání s pístovými jsou:

- větší plastikační výkon
- vyšší teplota taveniny
- menší tlakové ztráty
- vyšší vstřikovací rychlost
- vyšší homogenita taveniny
- kratší výrobní cyklus
- nižší topný příkon vytápění

4.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje veškerý pohyb formy. Stará se o její uzavírání. Zajišťuje pevné uzavření formy takovou silou, aby při velkých vstřikovacích tlacích nedošlo k jejímu otevření. Pokud by uzavírací síla byla nižší než síla vyvolaná tlakem taveniny, vznikaly by v důsledku pootevření formy přetoky v dělicí rovině. Uzavírací jednotka obsahuje také přidržovací a vyhazovací mechanismus. Jako mechanismy uzavíracích jednotek jsou používány například hydraulické, kloubové či kombinované systémy.

Pro spolehlivé a přesné vedení pohyblivých částí vstřikovací formy jsou uzavírací jednotky nejčastěji konstrukčně řešeny se čtyřmi vodícími sloupky. V menším rozsahu jsou také používány bezsloupkové jednotky s tzv. „C“ rámem, kde spolehlivost přesného vedení pohyblivých částí je zajištěna tuhostí rámu.



Obr. 3.11 Uzavírací jednotka s kloubovým mechanismem [27]

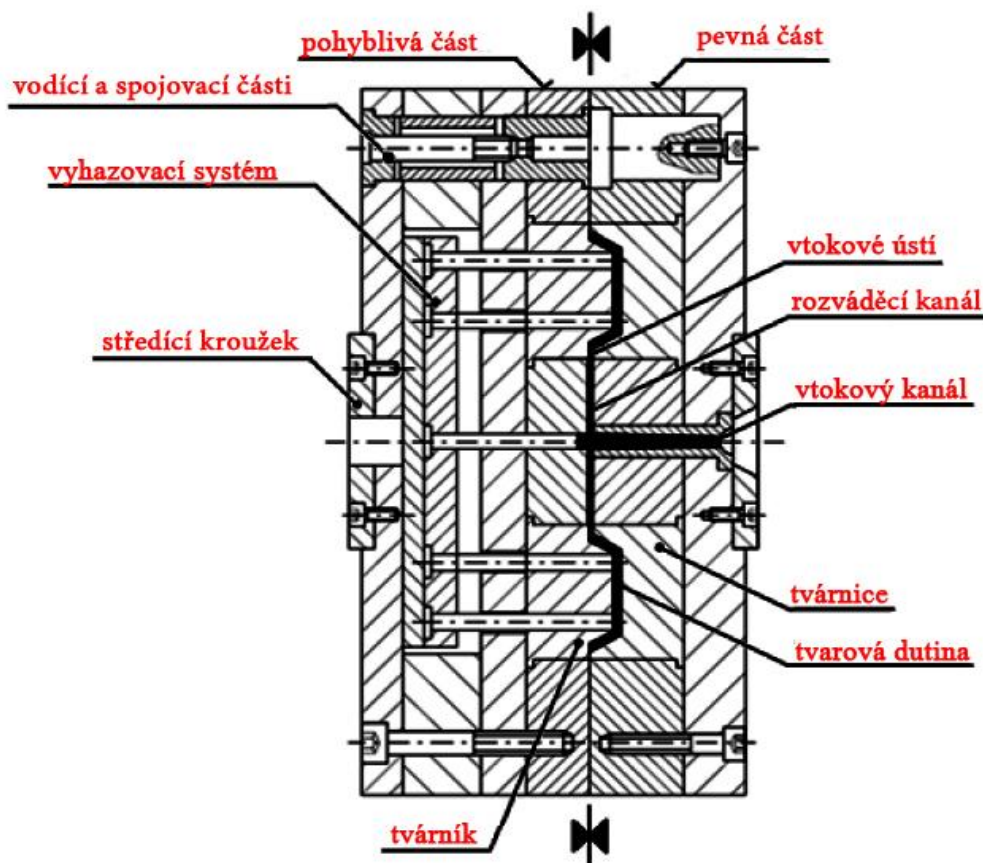
4.3 Řídicí systém vstřikovacího stroje

U vstřikovacích strojů je velice důležité držení vstřikovacích parametrů na stejných, obsluhou naprogramovaných parametrech, které jsou nezbytné pro kontinuální výrobu daného kusu při velké sérii, při které je nežádoucí výroba zmetků. Proto je každý stroj opatřen řídicími a regulačními prvky. Základem centrální ovládací jednotky je mikroprocesorový řídicí systém obsahující paměť, který řídí činnost vstřikovacího stroje. Řídicí systém umožňuje rychlé a jednoduché nastavení režimu činnosti stroje, diagnostiku, řízení procesu včetně technologických parametrů, možnost připojení na centrální počítač pro řízení skupiny strojů a další. Jeho cena může dosahovat až 50% ceny stroje.

5 Vstřikovací Forma [8], [9], [32], [39]

Forma je výměnnou částí uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. Je to nástroj, který je v průběhu vstřikování naplňovaný roztaveným plastem, který má tvar dle tvarové dutiny formy. Vedle plastikačního válce je nejdůležitější částí vstřikovacího stroje a na její konstrukční a výrobní přesnosti závisí nejen rozměrová tolerance výrobku, ale i jeho užitné vlastnosti a také ekonomie celé výroby.

Vstřikovací forma bývá velmi často velice komplikované strojní zařízení, které musí odolávat vysokým tlakům a musí umožňovat snadné vyjmutí (vyhození plastového výstříku). Dnešní životnost forem dosahuje životnosti více než 1 000 000 pracovních zdvihů. Její násobnost může být rovněž vysoká.



Obr. 5.1 Hlavní části vstřikovací formy [32]

Mezi hlavní prvky vstřikovacího systému patří:

- **Vyhazovací systém**

Vyhazovací systém slouží k vyhození plastového výstříku a vtokového zbytku z formy. Systém může být tvořen mechanickými vyhazovači či pneumatickým vyhazováním.

- **Temparační systém**

Jeho funkcí je temperovat formu a udržovat její požadovanou teplotu a po vstříknutí taveniny zajišťuje ochlazování formy, aby docházelo k rovnoměrnému zchladnutí plastového výstříku. Ovlivňuje také výslednou kvalitu výstříku.

- **Tvarová dutina**

Určuje nám výsledný tvar výstříku. Tvoří jí tvárník a tvárnice viz. Obr. 5.1. Další součásti, které mohou tvořit tvarovou dutinu, mohou být například boční jádra či různé tvarové vložky.

▪ Vtokový systém

Vtokový systém je tvořen celou řadou kanálů, které zajišťují rovnoměrné plnění tvarové dutiny formy.

5.1 Postup při konstrukci formy [8], [9], [32]

Konstruktér na základě podkladů, jako jsou například typy stroje, násobnost formy, výkres součásti a další doplňkové údaje, musí dodržovat určité kroky při konstrukci formy.

- Dle typu součásti vhodně umístit vtok. Vhodně součást zaformovat tak, aby bylo její vyjmutí z formy co možná nejsnadnější. V případě, že tvar součásti není příliš vhodný a došlo by k jeho špatnému odformování, je potřeba provést po konzultaci s konstruktérem dílce případné korekce.
- V potaz musí být bráno také smrštění, výrobní tolerance a opotřebení dutiny, což má výrazný vliv na rozměry tvarových dutin. Opotřebení dutiny je většinou tak malé, že je zanedbáváno.
- Vhodně volit vedení temperačních kanálů, konstrukci vyhazovacího systému a odvodu vzduchu formy.
- S ohledem na zatížení a technologické podmínky vstřikování volit vhodné materiály na výrobu formy a jejich částí.
- Zvolení vhodného upnutí formy na stroji.



Pohyblivá část formy



Pevná část formy

Obr. 5.2 Ukázka vstřikovací formy [8]

Při konstrukci formy se musíme řídit nejen funkčními a výrobními parametry, ale také ekonomickou stránkou a termínem dodání. Jsou tedy velice často využívány normalizované součásti či celky, které konstrukci formy urychlují a usnadňují. Konstrukce formy se řídí nejen funkčními a výrobními požadavky, ale také ekonomikou a termínem dodání. Proto se dají použít i různá příslušenství, která splní všechny tyto podmínky. Jsou to např. typizované rámy forem, vyhřívané trysky, robotizace při vstřikování a další zařízení. Příklad vstřikovací formy je na Obr. 5.2.

5.2 Rozdělení vstřikovacích forem [9]

- **Dle typu vstřikovacího stroje**
 - Se vstřikováním do osy
 - Se vstřikováním do dělicí roviny
- **Dle počtu tvarových dutin**
 - Jednásobné
 - Vícenásobné
- **Dle uspořádání vtoku**
 - Dvoudeskové (jednoduché)
 - Třideskové (s odtrhnutím vtoku)
 - S horkým vtokem (pro bezezbytkové vstřikování)
 - S izolovanými vtokovými kanály
 - S vyhřívanými vtokovými kanály
- **Dle konstrukce**
 - Jednoduché
 - Čelist'ové
 - S výsuvnými jádry
 - Vyšroubovací
 - Etážové
- **Dle zpracovatelského materiálu**
 - Termoplasty
 - Reaktoplasty
 - Elastomery

5.3 Vtokový systém [9], [12], [13], [31], [32], [33], [39]

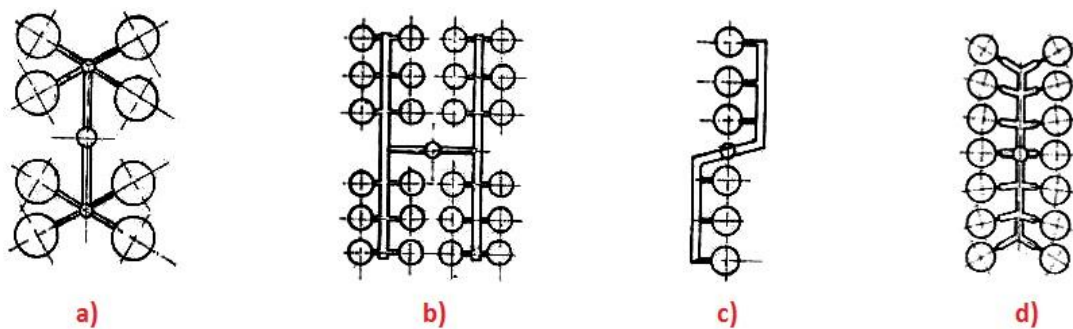
Vtokový systém vede proud taveniny od vstřikovacího stroje přes rozváděcí kanály do tvarové dutiny formy. Její naplnění homogenní taveninou by mělo proběhnout v co možná nejkratším čase a s minimálními odpory. Vtokový systém je tvořen rozváděcími kanály a ústím vtoku. Jejím hlavním úkolem je zajistit správné naplnění dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení vylisku a snadné vyhození vtokového zbytku.

Tvar, rozměry vtoku spolu s umístěním ústí do dutiny ovlivňuje:

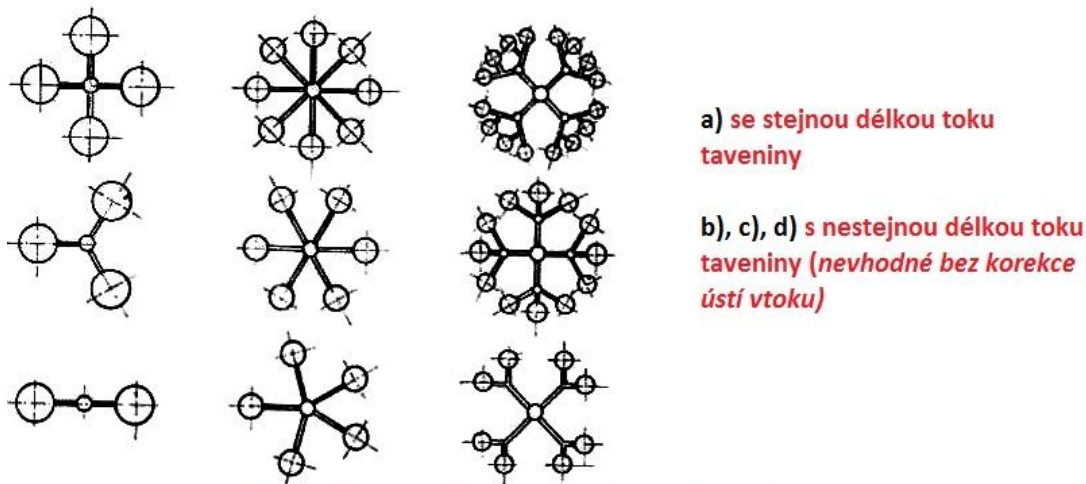
- Rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku
- Spotřebu plastu
- Náročnost začíštění vtoku na výstřiku
- Energetickou náročnost výroby

Uspořádání vtokového systému se odvíjí od konstrukce formy a její násobnosti. Pokud je forma řešena jako vícenásobná, mělo by plnění všech tvarových dutin probíhat současně za stejných technologických podmínek. Abychom co nejvíce splňovali tyto podmínky, je potřeba tomu uzpůsobit rozmístění tvarových dutin. Můžeme mít dva typy uspořádání a to do hvězdy nebo do řady viz. Obr. 5.3. Uspořádání do hvězdy je oproti uspořádání do řady vhodnější. K zaplnění dutiny dochází ve stejný čas a při stejném tlaku. Při uspořádání do řady je potřeba upravit rozváděcí kanály směrem ke vzdálenějším tvarovým dutinám.

Průřez rozváděcích kanálů by měl být takový, aby kontaktní plocha mezi stěnou kanálu a taveninou byla co nejmenší při zachování největšího průřezu. Jeho průřez závisí na tloušťce stěny výstřiku, objemu výstřiku, dráze, kterou urazí tavenina, použitým plastu a teplotě formy. Typy průřezů rozváděcích kanálů jsou zobrazeny na Obr. 5.4.



ŘADOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VTKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

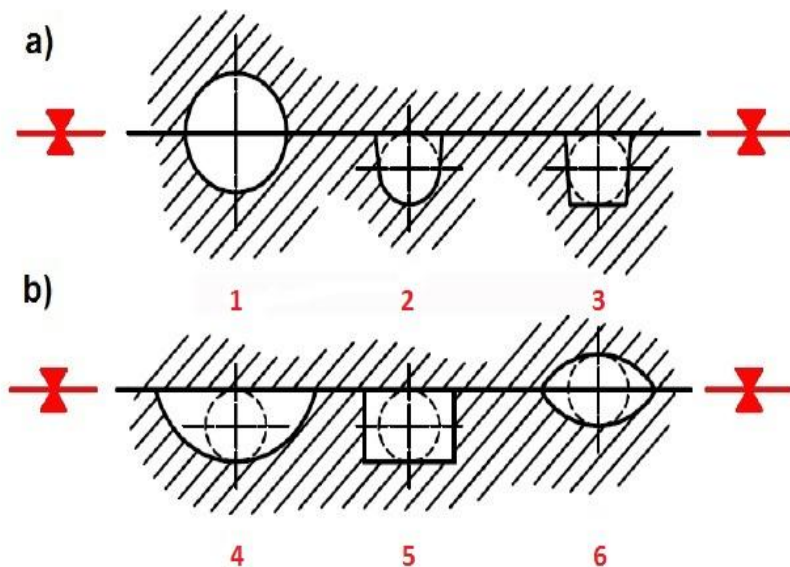


a) se stejnou délkou toku taveniny

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

SYMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ VTKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

Obr. 5.3 Uspořádání vtokových kanálů [39]



a) Funkčně výhodné, b) funkčně nevýhodné, 1,6 – výrobně nevýhodné, 2,3,4,5 –vývýrobně výhodné

Obr. 5.4 Průřezy vtokových kanálů [32]

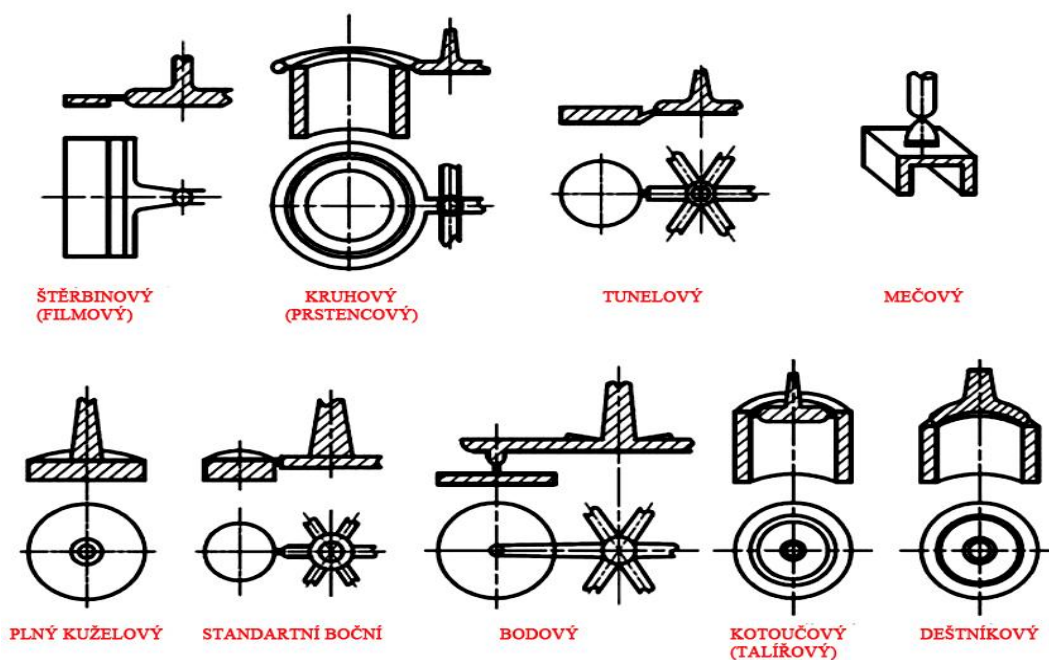
Dle typu a charakteru výstřiku se určuje, zda bude výhodnější použití studené či horké vtokové soustavy. Na jejím určení se také podílí sériovost a ekonomičnost výroby.

- *Studený vtokový systém*
Vhodný pro jednoduché výstřiky a malosériovou výrobu
- *Horký vtokový systém*
Vhodný pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu

5.3.1 Studený vtokový systém

Pokud tavenina protéká studeným vtokovým systémem, roste její viskozita na vnějším povrchu. Což znamená, že plast tuhne. Tato ztuhlá vrstva vytváří tepelnou izolaci proudu taveniny, který teče uvnitř a je stále v tekutém stavu. Po zaplnění formy dochází k rychlému nárůstu odporu proti tečení taveniny do formy a postupně dochází předání k předání tepla stěnám formy a to, jak od výstřiku, tak od vtokové soustavy.

Druhy vtoků



Obr. 5.5 Příklady různých druhů vtoků [32]

Návrh a volba vtokového systému by mělo zabezpečit aby:

- Dráha toku taveniny od vstřikovacího stroje byla co nejkratší, aby se předcházelo poklesu tlaku a předčasnému ztuhnutí taveniny.
- Při variantě vícenásobné formy byla dráha toku taveniny stejně dlouhá ke všem tvarovým dutinám, a bylo tak zajištěno rovnoměrné plnění.
- Dostatečně velký průřez vtokového kanálu při minimálním povrchu.
- Umístění vtoku nebylo pokud možno na pohledové stěny, a kde je to funkčně nevhodné.
- Aby bylo plnění dutiny formy bylo rovnoměrné, je vhodné volit vtok do geometrického středu výstřiku.
- Druh, počet a umístění vtoku má významný vliv na proudění taveniny ve formě. Dochází ke vzniku tzv. studených spojů (jiná orientace makromolekul a již částečně zchladlá tavenina). Aby k tomu nedocházelo, je potřeba volit co nejkratší cestu toku taveniny, kde by k výrazným tepelným ztrátám nedocházelo.

5.3.2 Horký vtokový systém

Horké vtokové systémy byly vyvinuty na základě úspory plastového materiálu při výrobě velkých sériích. Jedná se tedy o vstřikování bez vtokového zbytku. Dnešnímu vstřikování bez vtokového zbytku dříve předcházely jednodušší systémy. Mezi první patřilo například zvětšení ústí vtoku nebo izolovaný vtokový systém s předkomůrkami, kde byla šířka rozváděcích kanálů natolik silná, že termoplast v blízkosti stěny ztuhl a uprostřed byl stále tekutý. Dnešní vyhřívané vtokové soustavy (VVS) zabezpečují minimální úbytek tlaku i teploty systému a zajišťují optimální tok taveniny. Vstřikování s využitím VVS spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celém systému (od vtoku až po ústí) v tekutém stavu.

Vyhřívaná tryska

Pomocí vyhřívané trysky dojde k propojení dutiny formy a vstřikovacího stroje. Tryska je ohřívána vlastním topným článkem či nepřímo.

Přímo vyhřívané trysky:

- Mohou být dotápěny miniaturním topným tělískem (torpédo), které je zabudováno do ocelového pouzdra a špička vyčnívá do ústí vtoku. Další možností je topení z vnější strany trysky.

Nepřímo vyhřívané trysky

- K jejímu vytápění může docházet také přenosem tepla z rozváděcích kanálů. Využití u vícenásobných forem.



Obr. 5.6 Vyhřívaná tryska [12]

Vyhřívaný rozváděcí blok

Používají se k rozvodu taveniny u vícenásobných forem. Vyhřívanými kanály je tavenina dopravována do tvarových dutin. Většinou jsou používány v kombinaci s vyhřívanými, nebo i izolovanými tryskami. Vyrábějí se ve tvarech I, H, X, Y a jiné. Jejich tvar a rozměry se většinou odvíjejí dle požadavků konstruktérů forem a jejich konstrukčnímu provedení.

Vytápění rozváděcích bloků je realizováno pomocí vnitřního či vnějšího odporového topení.

Kanály a jejich vytápění musí být navrženo tak, aby nevznikala tzv.

hluchá místa, kde by mohlo docházet k předčasnému tunutí taveniny. Formy s vyhřívanými vtokovými soustavami se většinou využívají pro velkosériovou a hromadnou výrobu (například: kelímky, obaloviny, předlisky PET lahví, plastové přístroje). Příklad vyhřívaného rozváděcího bloku s vyhřívanými tryskami je na Obr. 5.7.



Obr. 5.7 Vyhřívaný rozváděcí blok s vyhřívanými tryskami [13]

Výhody vyhřívaných vtokových soustav oproti studeným

- Nevzniká vtoková soustava. Nemusí tedy docházet k jejímu vyhození a tím dojde ke snazšímu odformování a zkrácení času vstřikovacího cyklu.

- Snížení nákladů na dokončovací operace. Není zde potřeba odstraňovat vtokové zbytky.
- Odpadá manipulace a transport zbytků vtokové soustavy. Tím odpadá použití recyklátu, a tedy možné snížení mechanických vlastností.
- U hodně rozvětvených vtokových soustav dojde i ke snížení vstřikovacího tlaku. Tavenina je totiž udržována ve více viskózním stavu.
- Předpoklady k hromadné výrobě

Nevýhody vyhřívaných vtokových soustav

- Jejich použití není vhodné u malých sérií
- Nákladné formy neboť VVS se nakupují od specializovaných firem
- Vyšší cena za el. energii při samotném vstřikování. Nelze to však říci paušálně. Je potřeba posoudit konkrétní operaci a sériovost a spočítat cenu na recyklaci plastu vzniklým vstřikováním do studené vtokové soustavy.
- V závislosti na způsobu vstřikování, době cyklu a vstřikované dávce může tavenina zůstat déle v horké vtokové soustavě a může dojít k její degradaci.

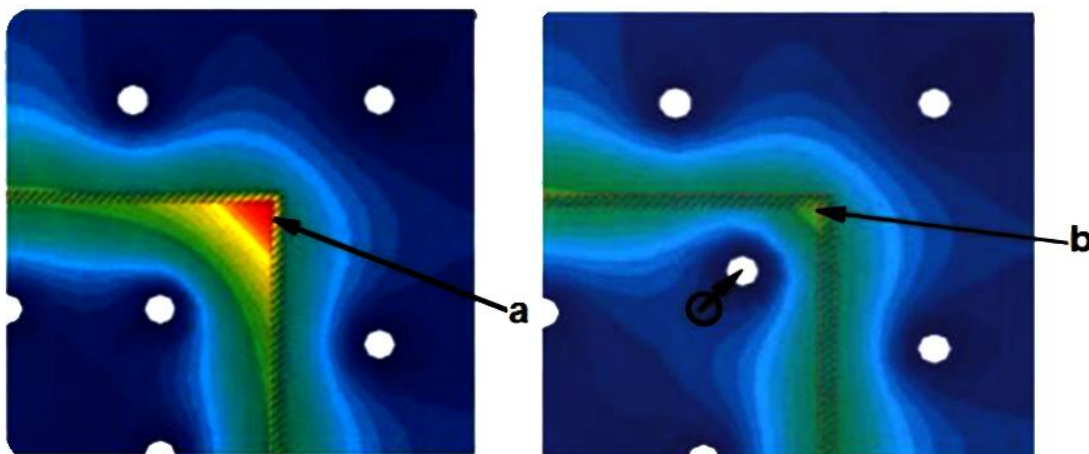
5.4 Temperační systém [3], [9], [31], [32], [33]

Temperaturaci využíváme k udržení konstantní tepelné bilance formy. Díky ní se snažíme dosáhnout krátkého pracovního cyklu vstřikování. Během vstřikování se přivádí tavenina do dutiny formy, kde se ochlazuje na teplotu vhodnou pro její vyhození. Při každém výstřiku je taveninou přivedeno do formy určité množství tepla, které bude z části odváděno přirozeným ochlazením a z části pomocí temperačního (ochlazovacího) média, které je přiváděno do temperační soustavy formy. V případě, že se zpracovávají plasty při vyšších teplotách formy je nutné formu předehřívat. Příkladem může být Polykarbonát PC, kde má teplota formy při jeho zpracování až 120°C.

Nerovnoměrné rozložení teplot forem má bezprostřední vliv na smrštění, tvarové změny, jakost povrchu a mechanické vlastnosti výstřiku. V některých případech dochází k odlišné temperaturaci různých částí formy, díky které dochází k eliminaci tvarové deformace.

5.4.1 Charakteristika temperačního systému

Ohřívání a následné ochlazení formy na danou teplotu závisí na energetické bilanci formy a okolního prostředí. Největší část tepla je z formy odváděno temperačním systémem. Zbytek je odváděn přes upínací desky, vzduchem a vyzářením do okolí. Pokud chceme, aby



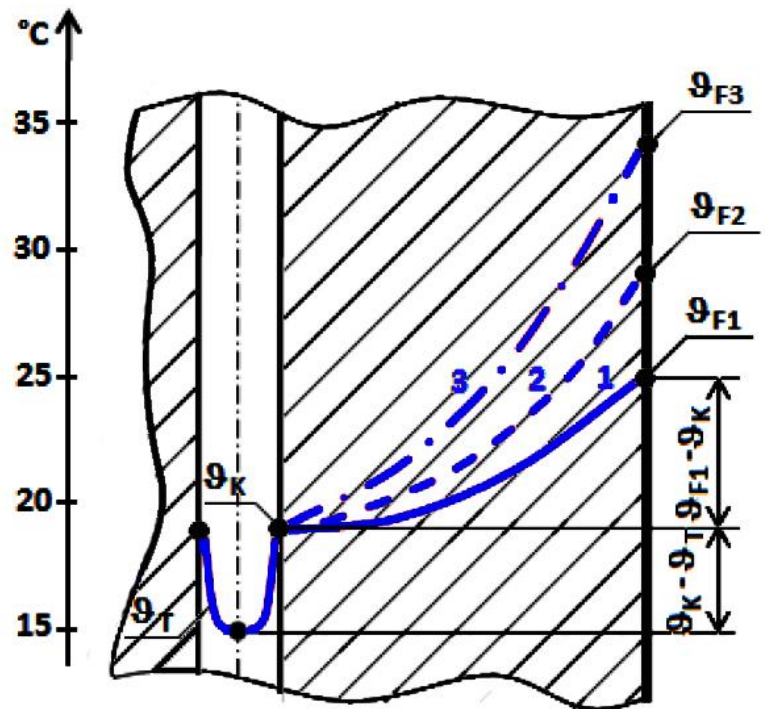
a) špatná volba

b) dobrá volba

Obr. 5.8 Volba pozice temperačních kanálů [17]

na jednotlivých částech formy nebyly příliš velké rozdíly teplot je potřeba správně navrhnout velikost a rozmístění temperačních kanálů. Vliv na teplotu formy a tedy i na správné ztuhnutí vylisku můžeme vidět na Obr. 5.8, kde je rozdílné rozmístění temperačních kanálů.

Kanály temperačního systému jsou jak v pevné, tak v pohyblivé části formy. Většinou jsou jako dva nezávislé okruhy. Rozmístění kanálů se volí dle konstrukce formy a charakteru vylisku. Vzhledem k velkým tlakům ve formě by vzdálenost kanálů měla být dostatečná, aby nebyla ovlivněna pevnost a tuhost stěn dutiny formy. Platí pravidlo, že větší počet menších kanálů je lepší než menší počet kanálů větších. Při větším počtu menších kanálů dochází k lepšímu odvodu tepla Q , které projde stěnou. Teplo je závislé na rozdílu teplot ΔT a na součiniteli tepelné vodivosti materiálu λ . Průběh teplot v kanálu s médiem i ve stěně materiálu je vidět na Obr. 5.9.



ϑ_k – teplota stěny kanálu, ϑ_T – teplota chladiva

$\vartheta_{F1, F2, F3}$ – teplota stěny dutiny 1 – beriliový bronz,

2 – konstrukční ocel, 3 – chromová ocel

Obr. 5.9 Průběh teplot v kanálu s médiem a ve stěně formy [32]

5.4.2 Tepelná bilance formy

V případě ustáleného pracovního cyklu platí zásada: Teplo, které je do formy přivedeno teveninou plastu = teplo, které je z formy odvedené temperací a ostatními ztrátami. Na Obr. 5.10 vidíme tepelnou bilanci vstřikovací formy.

Q_p [W] = přivedené teplo

Q_t [W] = teplo přivedené nebo odvedené temperačním médiem

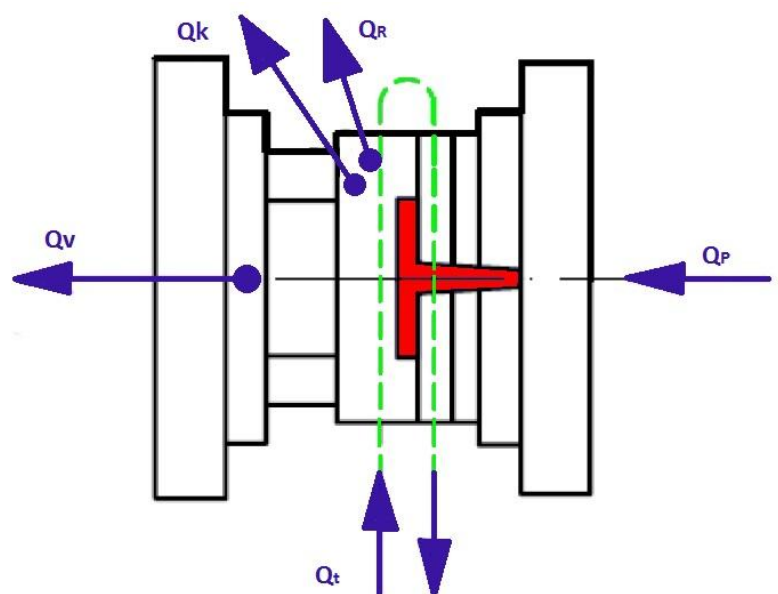
Q_k [W] = ztráty odvodem tepla do okolí

Q_R [W] = ztráty tepla vyzařováním

Q_v [W] = ztráty tepla odvodem do upínacích ploch vstřikovacího stroje

5.4.3 Temperační prostředky

O práci formy v optimálních tepelných podmínkách se starají temperační prostředky. Jejich volba vychází z koncepce formy a požadavků na temperaci. Můžeme je rozdělit na tzv. *Aktivní* – Teplo přivádějí nebo odvádějí dle požadavků na formu. Jsou přímo ve formě (kapaliny, elektrické tepelné zdroje).



Obr. 5.10 Tepelná bilance formy [32]

Pasivní – Svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy. Jsou to například tepelně vodivé nebo izolační materiály či tepelné trubice. V případě materiálů o vysoké tepelné vodivosti to mohou být například slitiny na bázi Co, Cu, které mohou být jak ve formě tělísek, tak i ve formě nástřiků přímo v tvarové dutině formy.

Tab.6.1 Aktivní temperační prostředky [32]

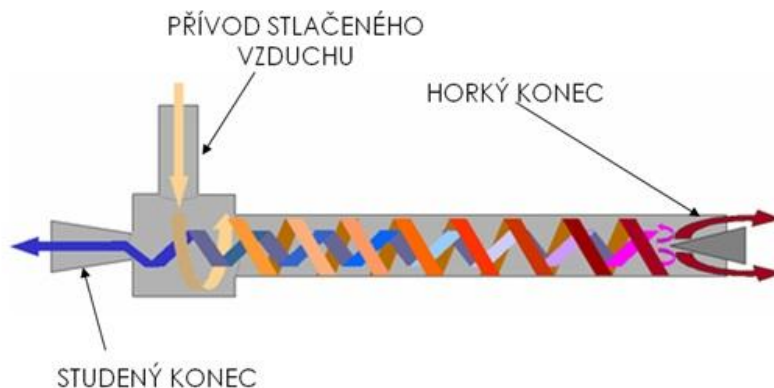
TYP	VÝHODY	NEVÝHODY
voda	Nízká viskozita, dobrý přestup tepla, nízká cena, ekologická nezávadnost	Použitelnost do 90°C *), vznik koroze**), usazování kamene
oleje	Možnost tepmerace i nad 100°C	Zhoršený přestup tepla
glykoly	Omezení koroze a ucpávání systému	Stárnutí, znečišťování prostředí

Vyvětlivky: *) v tlakových okruzích možno vodu použít i při vyšších teplotách

**) lze potlačit upravením vody

Temperace pomocí Ranque-Hilsch vírové trubice

Temperace vstřikovací formy pomocí Ranque-Hilschovi vírové trubice patří k nekonvenční metodě. Její princip můžeme vidět na Obr. 5.11. Jedná se o zařízení, které separuje obyčejný stlačený vzduch současně na dva vzduchové proudy. A to proud horký a studený. Vliv trubice na chladnutí výstřiku a teplotní profil ve formě během vstřikování mělo vliv i na mechanické vlastnosti. Bylo



Obr. 5.11 Ranque-Hilsch vírová trubice [30]

zjištěno, že množství odvedeného tepla z nástroje pomocí stlačeného vzduchu, který vychází z konce s horkým vzduchem je vzhledem ke špatné tepelné vodivosti vzduchu špatný. Díky tomu se teplota ve formě při vstřikování stále zvyšovala, a dosažení rovnováhy mezi přivedeným a odvedeným teplem bylo časově náročnější. Další nevýhodou vírové trubice je potřeba nastavení teploty formy před vstřikováním a tuto teplotu (v určité toleranci) držet v celém průběhu vstřikování. Vírová trubice je schopna dosáhnout teplota až 100°C. Ovšem vytemperovat formu do začátku produkce na požadovanou teplotu je však příliš zdlouhavé. V porovnání s temperačním systémem využívajícím k temperaci vodu je účinnost trubice mnohem nižší. Voda je také schopna držet teplotu v určité toleranci během procesu vstřikování. Nedochází ke zvyšování teploty.

5.5 Vyhazovací systémy [9], [30], [32]

Vyhazování výstřiku z formy je proces, při kterém se z dutiny či tvárníku otevřené formy vysune zhotovený výstřik s vtokovým ústím. A to buď společně nebo odděleně, což záleží na konstrukci formy. O tento proces se stará vyhazovací zařízení, které zajišťuje automatický výrobní cyklus. Ke kvalitnímu vyhození vylisků je zapotřebí kvalitního úkosování stěn ve směru výhozu. Umístění vyhazovačů je různorodé a to podle typu a tvaru dané součásti. Jejich umístění se využívá i jako části funkční dutiny nebo jako část tvárníku.

Pohyb vyhazovacího systému je vyvíjen pomocí hydraulického či pneumatického zařízení, které je většinou součástí vstřikovacího stroje. Další možností je ruční vyhazování za pomoci různých mechanismů.

5.5.1 Mechanické vyhazovací systémy

Patří mezi nejvíce rozšířené vyhazovací systémy. Mezi nejpoužívanější systém patří systém vyhazování pomocí kolíků.

Vyhazovací kolíky

Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější způsob vyhazování vylisků z formy. Jedná se o normalizované součásti, které dodává celá řada dodavatelů. Jejich umístění ve formě je voleno dle tvaru vylisku. Ovšem jejich umístění by nemělo zasahovat do vzhledové plochy dílu. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle tekutosti plastu. Mají obvykle kruhový tvar. Mohou mít však tvary různé. Příklady některých různých typů jsou na Obr. 5.12. Speciálním případem mohou být tzv. šikmé kolíky, které jsou k dělicí rovině uloženy pod úhlem a nikoli kolmo. Využívají se u součástí s vnějšími či vnitřními zápichy. Nahrazují tak posuvné čelisti.

Stírací deska

Vyhazování stírací deskou znamená, že vylisek je z tvárníku stáhnut po celém jeho obvodu. Jedná se tedy o větší vyhazovací plochu oproti kolíkům. Nejsou zde tedy tolik patrné stopy po vyhození. Použití stírací desky je především u tenkostěnných vylisků, kde vzniká nebezpečí deformace. Funkce trubkového vyhazovače je speciálním případem stírání tlakem. Pohyb stírací desky může být odvozen od vyhazovacího systému nebo například prostřednictvím pevné desky, která se posouvá při rozevírání formy.

5.5.2 Vzduchové vyhazovací systémy

Jedná se o vhodný způsob vyhazování tenkostěnných vylisků, u kterých je požadováno, aby došlo při vyhazování k jejich odvzdušnění. Díky pneumatickému vyhazování dojde k rovnoměrnému oddělení výstřiku od tvárníku. Rovněž zde nebudou stopy po vyhazovačích. Vzduch je do dutiny formy přiváděn přes jehlový či talířový ventil, nebo různé kolíky. Otevření ventilu je realizováno pomocí tlaku vzduchu a zavírání pomocí pružiny.

5.5.3 Hydraulické vyhazovací systémy

Většinou bývají součástí vstřikovacího stroje a slouží k ovládní mechanických vyhazovačů. Dnes se tento způsob téměř nevyskytuje. Jejich použití je spíše k ovládní bočních čelistí. Hydraulický vyhazovač je většinou vyroben jako samostatná uzavřená jednotka, která je zabudována do připraveného místa ve formě. Vyznačují se velkou vyhazovací silou a kratším a pomalejším zdvihem.

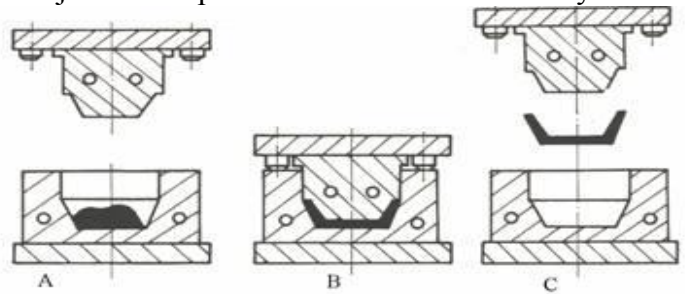


Obr. 5.12 Typy vyhazovacích kolíků [30]

6 Zadaný plastový dílec a volba technologie výroby [16]

Vstřikování termoplastů

Jedná se o velice dobře automatizovaný proces. Není tedy nutný neustálý dohled pracovníků. Použitím technologie vstřikování jsme schopni dosáhnout velice slušných výsledků, a to jak po stránce rozměrové, tak vizuální. Vyrobenou součást již není nutné ve většině případů dále upravovat (pouze odstranění vtoků). Další nespornou výhodou je zpětné zpracování vtokových zbytků na regranulát, který lze opětovně použít.



Lisování reaktoplastů

Jedná se o technologii, kdy je lisovaná hmota (volně sypaný granulát nebo tabletovaná v přesně stanoveném objemu) vložena do dutiny formy a za působení tlaku a teploty formy je přivedena do plastikačního stavu, který umožňuje tváření. Dále dochází k pohybu tvárníku až do úplného zaplnění tvarové dutiny. Poté musí dojít k odlehčení, kdy dojde k unikání plynů a za působení teploty i k vytvrzování (vytvoření zesíťované struktury). Postup můžeme vidět na Obr. 6.1. Samotný proces vytvrzování je velice zdlouhavý a velice by prodloužil cyklus výroby jedné dávky. Výrobní proces je hůře automatizovatelný a výrobek potřebuje velice často finální úpravy. U mého dílce by byl rovněž problém s výrobou otvoru. Součást by se mohla touto technologií zhotovit bez otvoru. Byla by však zapotřebí další přídavná operace na jeho zhotovení. Zbylý reaktoplast, u něhož už došlo k zesítní, nelze znovu použít.

A - Vložení reaktoplastu do dutiny formy

B - lisování a vytvrzování

C – vyhození vylisku

Obr. 6.1 Princip technologie lisování reaktoplastů [16]

Jako technologii výroby mé součásti volím vstřikování termoplastů. Vzhledem k tvaru součásti a výhodám dané technologie (viz. výše) je to nejvhodnější řešení. Na Obr. 6.2 vidíme součást, pro kterou bude vstřikovací forma navržena.



Obr. 6.2 Model páčky

7 Konstrukční návrh formy

Konstrukční návrh formy jsem provedl dle níže uvedených výpočtů a pro vizualizaci vstřikovací formy jsem použil CAD software Solidworks 2012.

Konstrukční návrh formy se bude skládat z návrhu:

Vtoková soustava

Vzhledem k mé násobnosti (viz zadání), budu volit horkou vtokovou soustavu. Bude se jednat o samostatně vytápěnou horkou trysku s torpédem, která nebude umístěna přímo na díl, ale tavenina bude rozvedena pomocí vtokových kanálů. Vzhledem k velikosti série a množství materiálu, který bude ušetřen díky absenci vtokové vložky, ve které by zůstal ztuhlý, se vyplatí použití horké trysky.

Volba vtoku a vtokové soustavy

Vzhledem k tvaru a konstrukci součásti volím filmový vtok, který bude muset být rozdělen do dvou polovin, aby bylo plnění rovnoměrné.

Násobnost formy

Násobnost formy bude vycházet ze stanovené série a doby dodání.

Volby temperačních kanálů

Vyhazování výlisku

Vyhazování výlisku bude realizováno pomocí vyhazovacích kolíků.

Volba vstřikovacího stroje

Dle vypočtených parametrů pro výrobu určíme vhodný typ vstřikovacího stroje.

Ekonomické zhodnocení

V závěru bude proveden komplexní pohled na cenu formy a ekonomickou náročnost.

7.1 Volba materiálu plastového dílu [11], [13], [19], [28], [29], [31]

Správná volba materiálu je velice důležitá. Při správné volbě se můžeme vyhnout problémům při zavedení součástky do reálného provozu, ve kterém bude fungovat. V mém případě se jedná o součást sloužící k upínání a zajištění polohy. Budou na ni tedy kladeny větší požadavky na mechanické vlastnosti.

Požadavky na plastový díl během provozu:

- Vyšší odolnost vůči mechanickému namáhání
- Dobrá otěruvzdornost a houževnatost
- Odolnost vůči změně teploty (-30° až 50°C)

Jako vhodné materiály, které splňují podmínky používání jsem určil Polyamid PA 66 plněný 30% skelných vláken a Polyoxymetylen POM plněný 30% skelným vláknem.

Polyamid PA66 - GF30

Obchodní název od firmy BASF je Ultramid A3WG6

Vlastnosti

V porovnání s jednoduchým polyamidem PA 66 má PA66 – GF30, který je vyztužen skelným vláknem zvýšenou houževnatost, pevnost, tuhost rozměrovou stálost, odolnost proti vyšším teplotám a proti tečení. Má vynikající odolnost vůči opotřebení, dobré kluzné vlastnosti a dobře barvitelný. Odolává olejům, rozpouštědlům. Jedná se o tzv. hydrofobický materiál. Je ho nutné tedy sušit v případě, že není dodáván v nepropustných obalech. Navlhavost ve vzduchu s 65% vlhkostí se pohybuje mezi 2,5 až 3%. Doporučuje se sušit při 70 až 80°C po dobu až 30 hodin.

Použití

Chladicí ventilátory, isolační profily na hliníkových okenních rámech, součásti v automobilovém průmyslu, jako například chladicí systém či elektrické izolační části.

Polyoxymetylén POM + 30%SV (skelná vlákna)

Obchodní název od firmy Polykemi Polyform POM C M90 GF30

Vlastnosti

Vykazuje dobrou tvrdost, tuhost, houževnatost, tvarovou stálost za tepla, dobré kuzné vlastnosti, odolnost proti otěru, použitelný do -40°C . odolává slabým kyselinám, alkoholu a olejům.

Použití

Používají se například v elektroprůmyslu, jemné mechanice nebo v automobilovém průmyslu. Využívá se k výrobě dílů čerpadel, ozubených kol, pouzder, tělesa ventilátorů, a nebo součásti krytů.

Oba plasty mají dobré mechanické vlastnosti, které jsou pro moji součást výhodné. Přesto vyšší hodnoty mechanických vlastností má PA 66 a proto jsem se rozhodl pro volbu materiálu na výrobu plastové páčky využít materiál **Polyamid PA66 - GF30**. Přehled některých vlastností je uveden v tabulce 7.1. V příloze 2 je uveden kompletní materiálová list od firmy BASF.

Tab.7.1 Přehled některých vlastností Polyamidu PA 66 – GF 30 [29], [13]

VLASTNOSTI	HODNOTY	JEDNOTKY
ρ - hustota	1.36	g/cm^3
MECHANICKÉ VLASTNOSTI		
E - Modul pružnosti v tahu	10 000	MPa
R_e - Mez kluzu v tahu	40 - 50	MPa
R_m - Mez pevnosti v tahu	120 - 140	MPa
Deformace při přetržení	3/5	%
Tvrdost (metoda kuličkou)	165	N/mm^2
Tažnost	5	%
Charpyho- rázová houževnatost (23°C)	12/23	KJ/m^2
TEPELNÉ VLASTNOSTI		
C_p - Měrná tepelná kapacita	1.4	$\text{KJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
λ- Tepelná vodivost při 20 až 50°C	0.22	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Teplota tání	260	$^{\circ}\text{C}$
ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI		
Měrný vnitřní odpor	10^{14}	$\Omega.\text{cm}$
Měrný povrchový odpor	10^{12}	$\Omega.\text{cm}$
Elektrická pevnost (suchý/vlhký)	44/34	kV.mm^{-1}
JINÉ VLASTNOSTI		
Smrštění při vstřikování	0.55	%
Absorpce vlhkosti	1.7	%
Absorpce vody	5.5	%

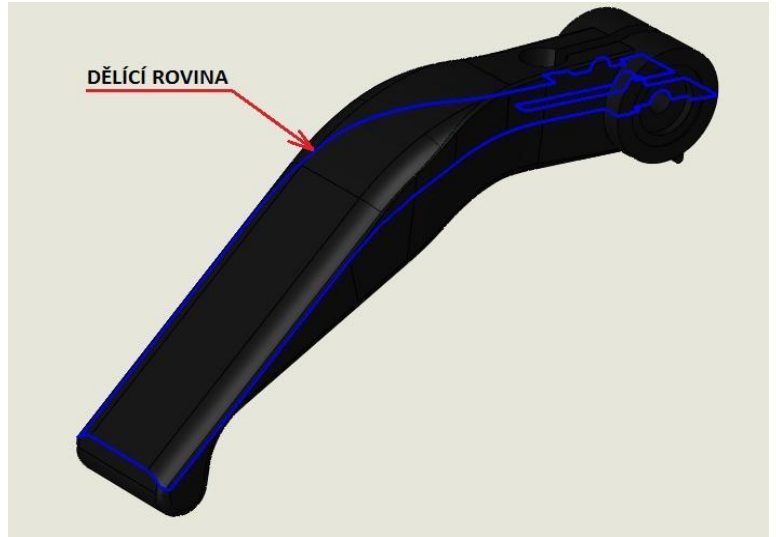
7.2 Technologičnost tvaru výlisku [9], [10], [32]

Již při samotného návrhu plastového výlisku by měl konstruktér uvažovat, jak bude součást vyráběna. Při návrhu by se neměl soustředit pouze na design a na výpočet pevnostních charakteristik. Měl by také uvažovat, zda půjde součást vyrobit. Mělo by dojít k určitému kompromisu mezi designem a technologičností výroby. Konstruktér by měl při návrhu rovněž přemýšlet například nad tím, kde by mohla vést dělicí rovina nebo kde zvolit jaké úkosy kvůli dobrému vyhození výlisku z formy.

7.2.1 Určení pozice dělicí roviny

Při volbě dělicí roviny bychom se měli držet některých zásad:

- Aby bylo umožněno vyjmutí výlisku z formy, měla by být dělicí rovina tak, aby bylo možné součást vyjmout při použití konstrukčních úprav (například boční jádra výměnné vložky atd.).
- V mém případě chci, aby při odformování zůstal výlisek na pohyblivé straně formy, tedy na tvárníku. Vzhledem k tomu budu volit odpovídající úkosy a zaformování. O to, aby mi výlisek zůstal na pohyblivé straně formy se mi také budou starat boční jádra, která součást podrží.
- Správná volba úkosů
- Volit pokud možno jednodušší tvar dělicí roviny. Příliš složitý tvar prodražuje výrobu formy.
- V případě výroby vzhledové součásti výrazně zvážit volbu dělicí roviny.
- Při návrhu pozice dělicí roviny zvážit umístění vtoku.



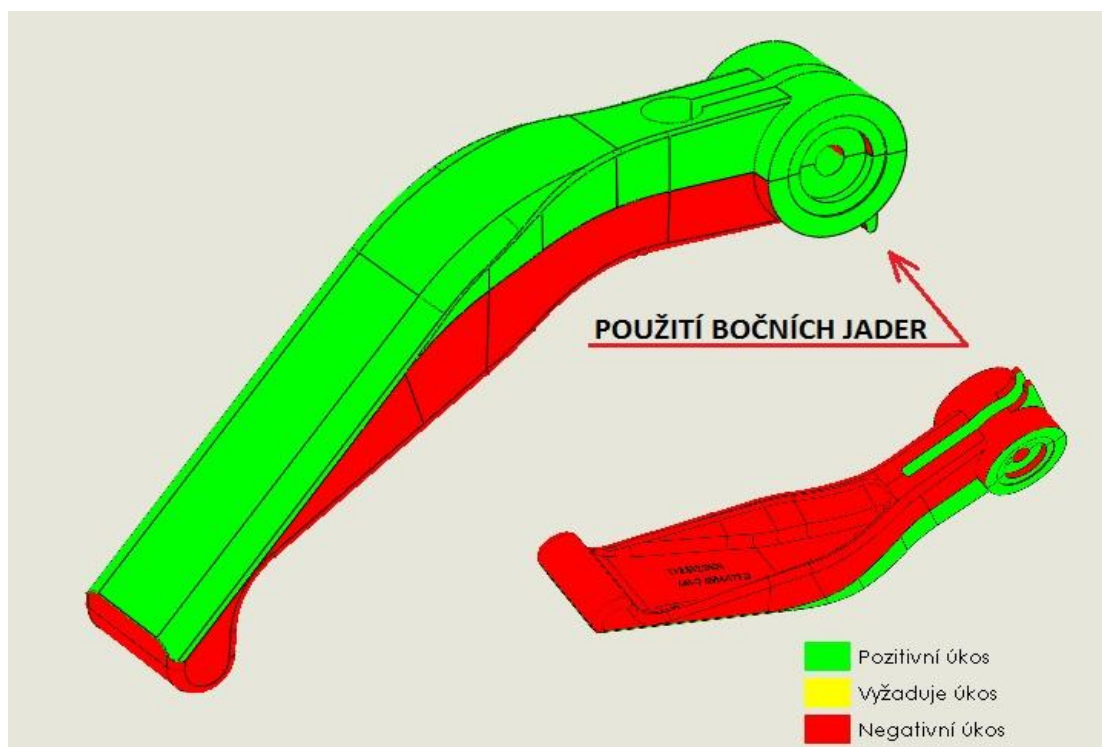
Obr. 7.1 Volba dělicí roviny

Na Obr. 7.1 můžeme vidět mnou zvolené umístění dělicí roviny na páčce. Nejedná se o vzhledovou součást, a proto vzhled pozice roviny není vzhledem k estetickým vlastnostem rozhodující.

7.2.2 Volba úkosů na výlisku

Úkosy nám zajišťují snadnější vyjmutí výlisku z tvarové dutiny formy. Při chladnutí výlisku dochází k jeho smrštění a ulpívání materiálu na stěnách tvarové dutiny. Právě vhodně zvolené úkosy nám zajistí, že při vyhození součásti nedojde k její deformaci vlivem ulpívání na stěnách. Vzhledem ke smrštění je zároveň celá tvarová dutina formy zvětšena o hodnotu smrštění, tedy o 1,1%. V případě plněných plastů se volí velikost úkosů zhruba o 0.5° vyšší v porovnání s plasty neplněnými, a to díky tomu, že plněný plast se skelnými vlákny má větší tekutost na stěnách formy. Velikost úkosu volím 2°. Jelikož se jedná o součást tvarovou, kde na sebe plochy plynule přecházejí, tak úkos 2° je přibližný a v určitých částech výlisku se nepatrně mění.

Na Obr. 7.2 můžeme vidět analýzu úkosů z programu Solidworks. Úkosy jsou cca 2° jak na pozitivní, negativní a na vnitřní straně. Místa okolo funkčního otvoru úkosovaná dle zadané součásti nejsou. Barvy zde podle analýzy ukazují nesprávné informace. Tyto místa budu řešit použitím bočních jader.



Obr. 7.2 Analýza úkosů v programu Solidworks

7.3 Výpočet výrobních parametrů [31], [32], [19]

Tab.7.2 Přehled technologických a materiálových parametrů [19], [31]

PARAMETR		HODNOTA	JEDNOTKY
Hustota	ρ	1.36	g/cm^3
Měrná tepelná vodivost	a_{eff}	0.088	mm^2/s
Viskozita při smyk. Rychlosti 1000 s^{-1} a při teplotě materiálu (taveniny) 290°C	η	124	$\text{Pa}\cdot\text{s}$
Faktor schopnosti tečení taveniny	K_f	1.7	bar/mm
Faktor navýšení objemu taveniny	K_a	1.23	g/cm^3
Koeficient rovnice dráhy toku taveniny	m	120	-
Exponent rovnice dráhy toku taveniny	n	1.77	-
Teplota materiálu (vstřikovací teplota taveniny)	T_M	280 – 300 (280)	$^\circ\text{C}$
Teplota formy	T_F	80 – 90 (80)	$^\circ\text{C}$
Teplota odformování	T_E	120	$^\circ\text{C}$
Maximální obvodová rychlost šneku	v	0.3	m/s
Rozdíl entalpií	Δh	550	kJ/kg
Vstřikovací tlak	p_v	65 – 155 (650 – 1550)	MPa bar
Dotlak	p_d	55 - 105	MPa
Zpětný tlak	p_z	4-8	MPa

1) Výpočet Objemu V [cm^3] plastového dílce

Objem součásti jsem stanovil pomocí programu solidworks.

$$V = 17300 \text{ mm}^3 \longrightarrow 17,3 \text{ cm}^3$$

2) Výpočet hmotnosti G [g] plastového dílce

Hmotnost součástí a vtokového zbytku byla stanovena programem Solidworks na základě zadání správné hustoty materiálu tedy:

Hmotnost jednoho výlisku

$$G = 23,1 \text{ g}$$

Hmotnost vtokového zbytku

$$G_z = 1,9 \text{ g}$$

3) Stanovení rozměru filmového vtoku

$$D = \left(s \div \frac{4}{3}s + k \right) \rightarrow D = s + k$$

(7.1)

k...parametr zahrnující vliv dráhy toku taveniny a tloušťku dílce

$$k = 2 \text{ mm}$$

Pro krátkou délku dráhy tečení a velkou tloušťku stěny dílce.

$$k = 4 \text{ mm}$$

Pro dlouhou délku dráhy tečení a malou tloušťku stěny dílce.

s...tloušťka stěny dílce

$$D = s + k = 4,5 + 2$$

$$D = 6.5 \text{ mm}$$

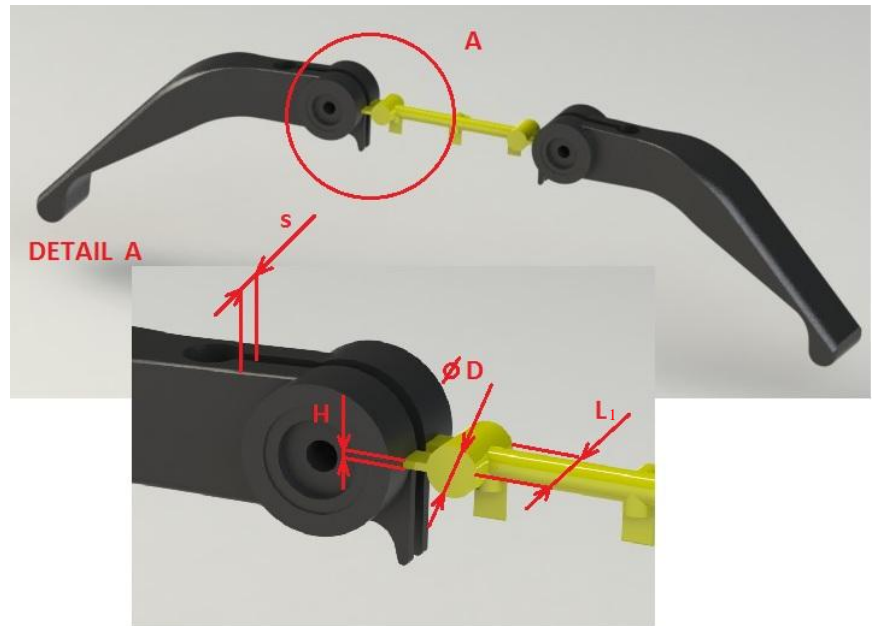
$$H = (0.2 \div 0.7) \cdot s \rightarrow H = 0.2 \cdot s$$

$$H = 0,9 \sim 1 \text{ mm}$$

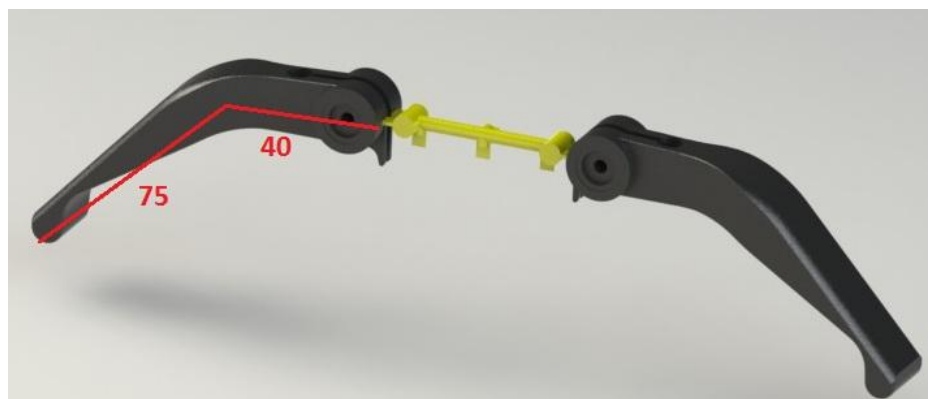
Šířka filmového vtoku L_1 je zvolena $L_1 = 11 \text{ mm}$

4) Stanovení délky dráhy toku taveniny f [mm]

$$f = 115 \text{ mm}$$



Obr. 7.3 Filmový vtok



Obr. 7.4 Délka dráhy toku taveniny do jedné tvarové dutiny

5) Stanovení maximální výpočtové délky toku taveniny L [mm]

$$L = m \cdot s^n \quad (7.2)$$

s ...tloušťka stěny dílce. Tloušťka dílce se pohybuje v rozmezí 3,5 až 6 mm a to v poměru cca 60/40, volím $s = 4,5 \text{ mm}$.

Materiálové hodnoty pro daný material PA 6.6 - GF30 :

m ...koeficient dráhy toku taveniny

$$m = 120$$

n ...exponent dráhy toku taveniny

$$n = 1,77$$

$$L = 120 \cdot 4,5^{1,77}$$

$$L = 1720 \text{ mm}$$

Aby došlo ke kvalitnímu zatečení taveniny do tvarových dutin formy, musí být splněna podmínka:

$$L > f$$

1720 mm > 115 mm → VYHOVUJE, dojde k zaplnění tvarových dutin taveninou

6) Stanovení doby chlazení t_{ch} [s]

$$t_{ch} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F} \right) \quad (7.3)$$

Materiálové hodnoty pro daný material PA 6.6 - GF30 :

T_M ...Teplota taveniny (vstřikovací teplota taveniny)

$$T_M = 280^\circ\text{C}$$

T_E ...Teplota odformování

$$T_E = 120^\circ\text{C}$$

T_F ...Teplota formy

$$T_F = 80^\circ\text{C}$$

a_{eff} ...Měrná tepelná vodivost

$$a_{eff} = 0,088 \text{ mm}^2/\text{s}$$

$$t_{ch} = \frac{4,5^2}{\pi^2 \cdot 0,088} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{280 - 80}{120 - 80} \right)$$

$$t_{ch} = 32,6 \text{ s}$$

7) Stanovení doby vstřikování t_v [s]

Dobu vstřikování určím na základě vstřikovaného objemu (vstřikovaná dávka V_D) a viskozity materiálu (viz. tabulka 7.3).

Tab. 7.3 Viskozita materiálů [32]

VISKOZITA	VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL
Nízkoviskozní materiály viskozita $\eta < 150$ Pa.s	PE lineární, PP, PS, PA6, PA66, PA66 GF
Středně viskozní materiály viskozita $\eta = 150 - 300$ Pa.s	PE, PVC měkké, PMMA, POM, ABS
Vysokoviskozní materiály viskozita $\eta > 300$ Pa.s	PC, PET, PBT, tvrdé PVC, PMMC

Tab. 7.4 Doby vstřikování v závislosti na viskozitě materiálu [32]

VSTŘIKOVANÝ OBJEM [cm ³] 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

Podle vypočtené vstřikovací dávky (dva plastové dílce včetně rozváděcího kanálu) v programu solidworks 2012 $V_D = 36 \text{ cm}^3$ a dané viskozitě materiálu PA 66 – GF30 ($\eta = 124 \text{ Pa.s}$) volím dobu vstřikování $t_v = 0,65 \text{ s}$.

8) Stanovení doby vstřikovacího cyklu t_c [s]

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_{ch} + t_3 + t_4 \quad (7.4)$$

t_1 ...uzavření formy $\sim 1,0 - 2,0 \text{ s} \rightarrow 1,5 \text{ s}$

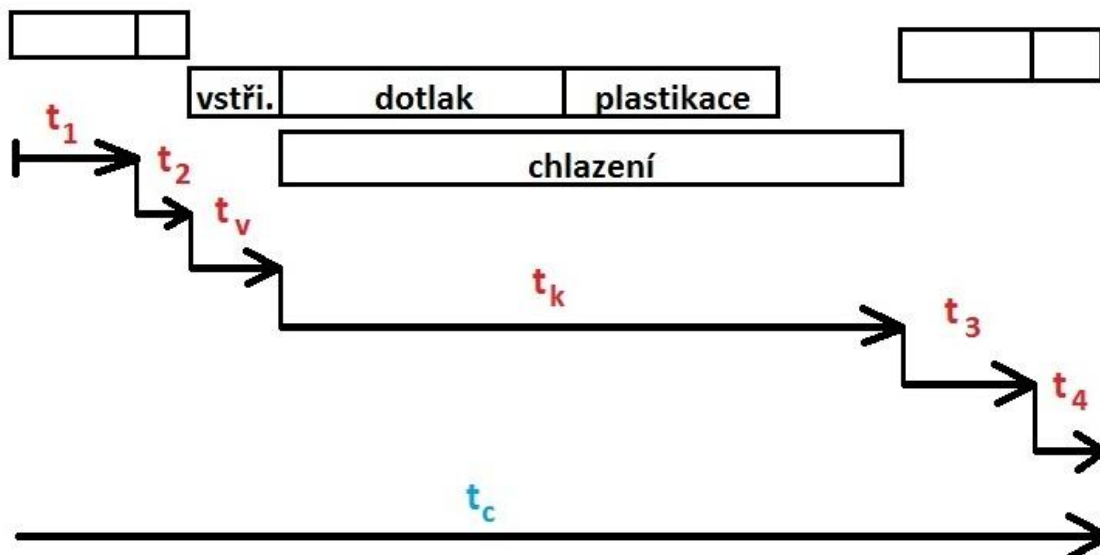
t_2 ...přisunutí vstřikovací jednotky $\sim 0,5 \text{ s}$

t_3 ...otevření formy a vyhození výstřiku $\sim 1,0 - 2,0 \text{ s} \rightarrow 1,5 \text{ s}$

t_4 ...prodleva $\sim 0,5 \text{ s}$

$$t_c = 1,5 + 0,5 + 0,65 + 32.6 + 1,5 + 0,5$$

$$t_c \doteq 37,3 \text{ s}$$



Obr. 7.5 Znáornění doby vstřikovacího cyklu [31]

9) Výpočet termínované násobnosti n_T

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} \quad (7.5)$$

τ_p ...požadovaný termín dodání (budeme uvažovat třisměnný provoz)

Termín: 4,5 měsíce ~ 90 dní $\rightarrow \tau_p = 2160 \text{ hod}$

N... vyráběný počet kusů

$N = 250\,000 \text{ ks}$

K...faktor využití času ($K = 0,7 - 0,9$) $\rightarrow 0,8$

$$n_T = \frac{250\,000 \cdot 37,3}{2160 \cdot 0,8 \cdot 3600}$$

$$n_T = 1,5 \rightarrow 2$$

10) Výpočet minimální vstřikovací kapacity C_v [cm^3]

$$C_v \geq 1,1 \cdot n_T \cdot (V + V_{rk}) \quad (7.6)$$

V_{rk} ...objem rozváděcího kanálu do jedné dutiny

$$V_{rk} = 0,7 \text{ cm}^3$$

V ...objem vstřikované součásti

$$V = 17,3 \text{ cm}^3$$

$$C_v \geq 1,1 \cdot 2 \cdot (17,3 + 0,7)$$

$$C_v \geq 39,6 \text{ cm}^3 \sim 40 \text{ cm}^3$$

Plastikační dávka V_D bude nyní 40 cm^3 .

11) Výpočet minimální plastikační kapacity C_p [kg/hod] vstřikovacího stroje

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n_T \cdot \rho \cdot (V + V_{rk})}{t_c} \quad (7.7)$$

Materiálové hodnoty pro daný material PA 6.6 - GF30 :

ρ ...hustota materiálu

$$\rho = 1.36 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$$

$$C_p \geq \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,36 \cdot (17,3 + 0,7)}{37,3}$$

$$C_p \geq 5,25 \text{ kg/hod}$$

12) Výpočet minimálního plnicího tlaku p_f [bar]

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f \cdot s^{-1,6} \quad (7.8)$$

Materiálové hodnoty pro daný material PA 6.6 - GF30 :

K_f ... Faktor schopnosti tečení taveniny

f ...délka dráhy toku taveniny stěnou plastového dílce

$$p_f = 3 \cdot 1,7 \cdot 115 \cdot 4,5^{-1,6}$$

$$p_f = 40,4 \text{ bar}$$

Musí být splněna podmínka : $p_v > p_f$

Pro daný materiál je doporučený tlak $p_v = 650 - 1550 \text{ bar}$

650 – 1550 bar > 40,4 bar → **Vyhovuje**, lze tedy použít jako plnicí tlak 40,4 barů.

13) Výpočet minimální přidržovací (uzavírací) síly F_p [kN] vstřikovacího stroje

$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n_T \cdot p_v \cdot (A_D + D_{rk} \cdot L_{rk}) \quad (7.9)$$

Pro materiál PA 6.6 - GF30 :

$$p_v = 65 - 155 \text{ MPa} \rightarrow 80 \text{ MPa}$$

A_D ...plocha průmětu dílce do dělicí roviny.

Spočítáno pomocí programu Solidworks 2012 – viz. Obr. 7.6

$$A_D = 1782 \text{ mm}^2$$

D_{rk} ...průměr rozváděcího kanálu

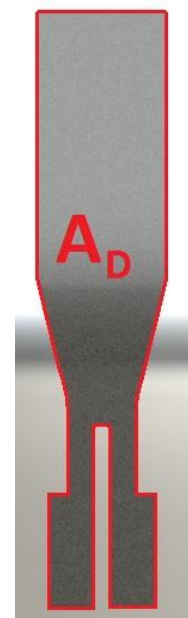
$$D_{rk} = 4 \text{ mm}$$

L_{rk} ...délka rozváděcího kanálu k jedné tvarové dutině.

$$L_{rk} = 28 \text{ mm}$$

$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 80 \cdot (1782 + 4 \cdot 28)$$

$$F_p \geq 333 \text{ kN}$$



Obr. 7.6 Plocha průmětu dílce do dělicí roviny

14) Výpočet optimálního průměru šneku D_s [mm] vstříkovacího stroje

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (7.10)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{36} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{36}$$

$$24,7 \text{ mm} < D_s < 34,6 \text{ mm}$$

Průměr šneku volím z řady průměrů: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90 mm

Volím šnek o průměru $D_s = 30 \text{ mm}$

15) Stanovení délky dráhy pohybu šneku L_s [mm] pro vstříkovací dávky V_D

$$V_D = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4 \cdot 10^3} \cdot L_s \rightarrow L_s = 1273 \cdot \frac{V_D}{D_s^2} \quad (7.11)$$

$$L_s = 1273 \cdot \frac{40}{30^2}$$

$$L_s = 56,7 \sim 57 \text{ mm}$$

Musí být splněna podmínka: $1D_s < L_s < 3D_s$

$$1D_s < 57 < 3D_s$$

$30 < 57 < 90 \rightarrow$ **Vyhovuje**, délka dráhy šneku bude **57 mm**

16) Určení otáček šneku n_s [1/min] vstříkovacího stroje pro plastikaci

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s} \quad (7.12)$$

Materiálové hodnoty pro daný material PA 6.6 - GF30 :

v ...maximální obvodová rychlost šneku

$$v = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 30}$$

$$n_s = 191 \cdot \text{min}^{-1}$$

17) Výpočet vstříkovací rychlosti v_s [cm^3/s]

$$v_s = \frac{V_D}{t_v} \quad (7.13)$$

$$v_s = \frac{40}{0,65}$$

$$v_s = 61,5 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

18) Výpočet průchodu materiálu (taveniny) \dot{G} [kg/h]

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot V_D \cdot \rho}{t_c} \quad (7.14)$$

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot 40 \cdot 1,36}{37,3}$$

$$\dot{G} = 5,3 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$$

19) Výpočet tepla Q [kJ/hod] vneseného taveninou plastu do formy

$$Q = \dot{G} \cdot \Delta h \quad (7.15)$$

Materiálové hodnoty pro daný material PA 6.6 - GF30 :
 Δh ...rozdíl entalpií použitého plastu pro teploty T_M a T_E

$$Q = 5,3 \cdot 550$$

$$Q = 2915 \text{ kJ/hod}$$

7.4 Výpočet průhybu desek [29]

Dané rozměry

délka $b = 396 \text{ mm}$

šířka $L = 118 \text{ mm}$

výška $h = 36 \text{ mm}$

Vstřikovací tlak p_v [MPa]

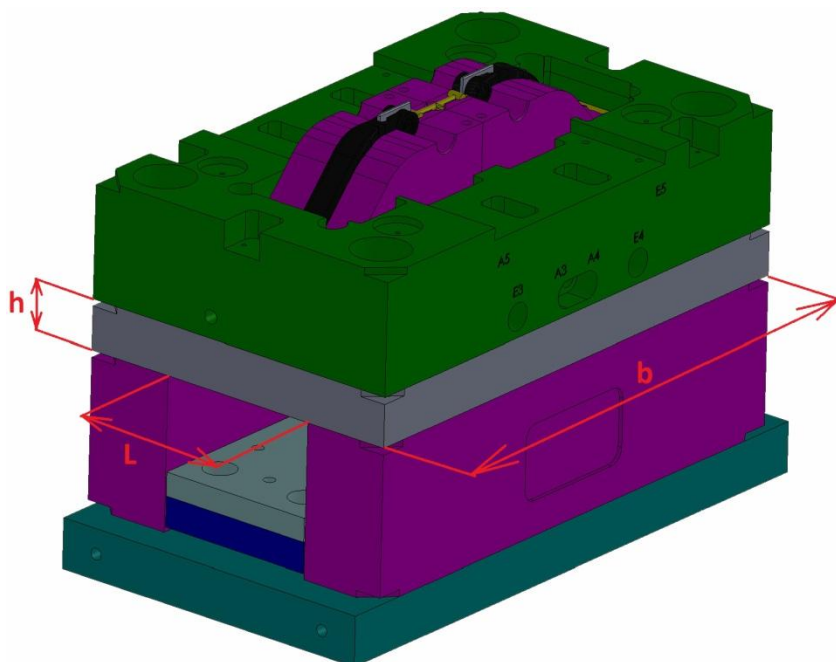
$$P = p_v = 80 \text{ MPa}$$

Plochy průmětů S [mm²]

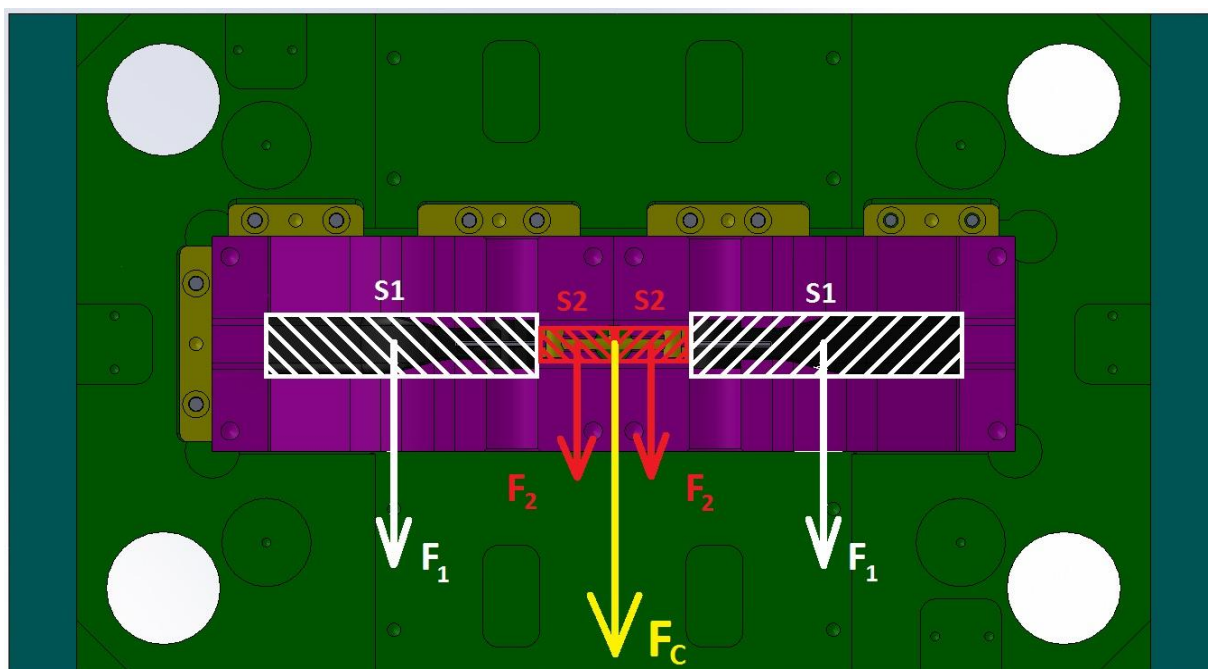
Plochy průmětů dílců a vtokových kanálů:

$$S_1 = 1782 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 112 \text{ mm}^2$$



Obr. 7.7 Rozměry pro výpočet průhybu



Obr. 7.8 Schéma pro výpočet náhradního obdélníkového zatížení

Výpočet sil F [N]

$$F_1 = p_v \cdot S_1 \quad (7.16)$$

$$F_1 = 80 \cdot 1782$$

$$F_1 = 142\,560\,N$$

$$F_2 = p_v \cdot S_2 \quad (7.17)$$

$$F_2 = 80 \cdot 112$$

$$F_2 = 8\,960\,N$$

Celková síla F_C

$$F_C = 2 \cdot F_1 + 2 \cdot F_2 \quad (7.18)$$

$$F_C = 2 \cdot 142\,560 + 2 \cdot 8\,960$$

$$F_C = \mathbf{303\,040\,N}$$

Výpočet průhybu pro oboustranně vetknutou desku

Kvadratická moment průřezu J [mm^4]

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{396 \cdot 36^3}{12} \quad (7.19)$$

$$J = 1\,539\,648\,mm^4$$

Velikost průhybu desky y [mm]

$$y = \frac{F_C \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J} = \frac{303\,040 \cdot 118^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1\,539\,648} \quad (7.20)$$

$$y = \mathbf{0,032\,mm}$$

Dovolený průhyb by neměl přesáhnout $0,02 \div 0,03\,mm$. Výpočet průhybu opěrné desky nám sice vyšel větší, avšak pokud uvážíme, že do procesu vstupuje i formovací deska, průhyb bude tedy reálně nižší.

7.5 Simulační analýza průhybu opěrné desky

Pro určení průhybu opěrné desky při vstřikování jsem se rozhodl využít i simulaci zatížení při vstřikování v programu ANSYS a porovnat ji s vypočtenou hodnotou v bodě 7.4 viz. výše. Pro numerické výpočty jsou důležité parametry materiálu (modul pružnosti materiálu E a poissonovo číslo) a určení okrajových podmínek při zatěžování. Pro výpočet byl zadán modul pružnosti materiálu $E = 2,1 \cdot 10^5\,MPa$ a poissonovo číslo $\mu = 0,3$. Protože ve výpočtech uvažujeme materiál jako izotropní spojité kontinuum, mohl jsem použít k tvorbě sítě automatický nástroj free mesh. Na součástech formovací a opěrná deska jsem provedl zjemnění sítě s největší velikostí elementu 10 mm. Zvolil jsem tak proto, že při simulaci ohybu je nutné mít ve směru ohybu alespoň tři prvky.

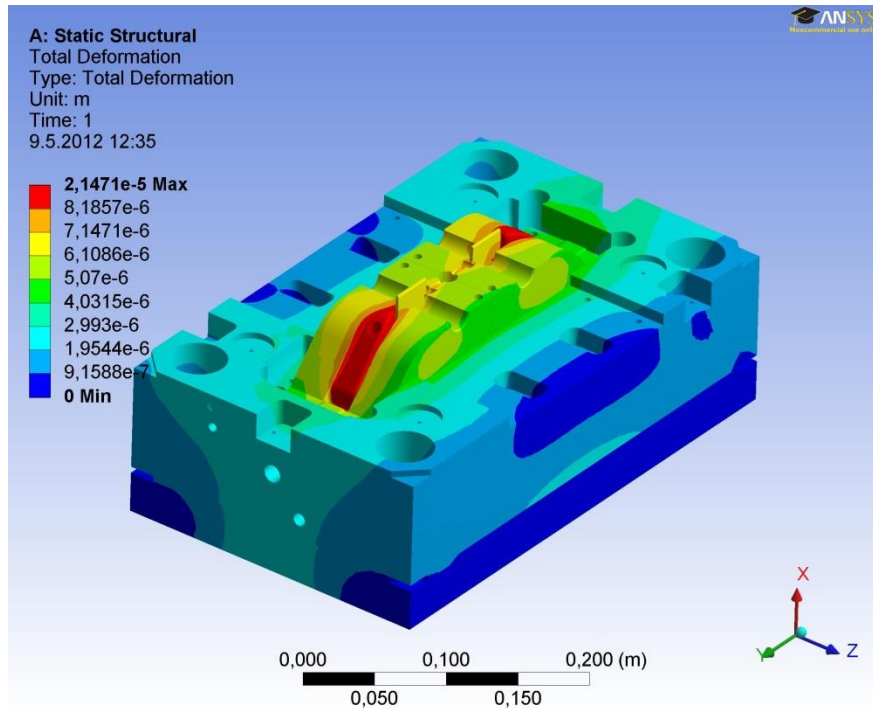
Zajímá mě průhyb opěrné desky, na které jsem nastavil okrajové podmínky takové, aby zatížení odpovídalo skutečnosti. Určil jsem pevnou vazbu v místě dotyku s rozpěrkami. Vazba mezi opěrnou a formovací deskou byla nastavena jako třecí se součinitelem tření $f = 0,15$.

Veškeré plochy, které přijdou do kontaktu s plastem (vločky, tvárníky) jsem zatížil vstřikovacím tlakem 80 MPa. Rozložení deformací při vstřikování jsou na Obr. 7.9. Úlohu nebylo možné řešit s využitím symetrie pro zjednodušení výpočtu, protože se v modelu nacházejí klíny na zajištění polohy tvárníků. Jejich rozmístění není symetrické.

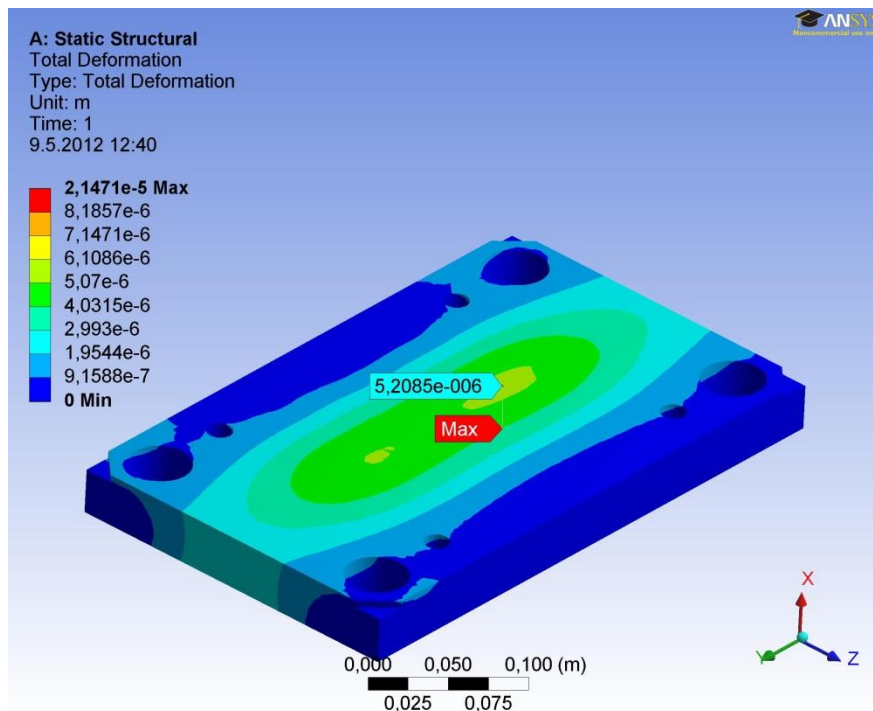
Cílem simulace bylo zjistit maximální průhyb opěrné desky. Maximální průhyb byl dle očekávání v místech pod vložkami tvárníků, které byly tlakem nejvíce zatíženy. Maximální hodnoty průhybu je $y = 5,2 \cdot 10^5\,m$ ($\mathbf{0,0052\,mm}$) Obr. 7.10.

Zhodnocení

Při analytickém výpočtu jsem počítal průhyb opěrné desky, aniž bych uvažoval desku formovací. Ve skutečnosti bude hodnota průhybu nižší. Při simulaci v ANSYS jsem však uvažoval veškeré součásti formy, které by mohly průhyb opěrné desky zmírnit (formovací deska, klíny a tvárníky). Průhyb tedy vyšel v porovnání s analytickým výpočtem nižší a bude vyhovovat kritérium, které říká, že maximální průhyb by neměl přesahovat 0,03 mm.



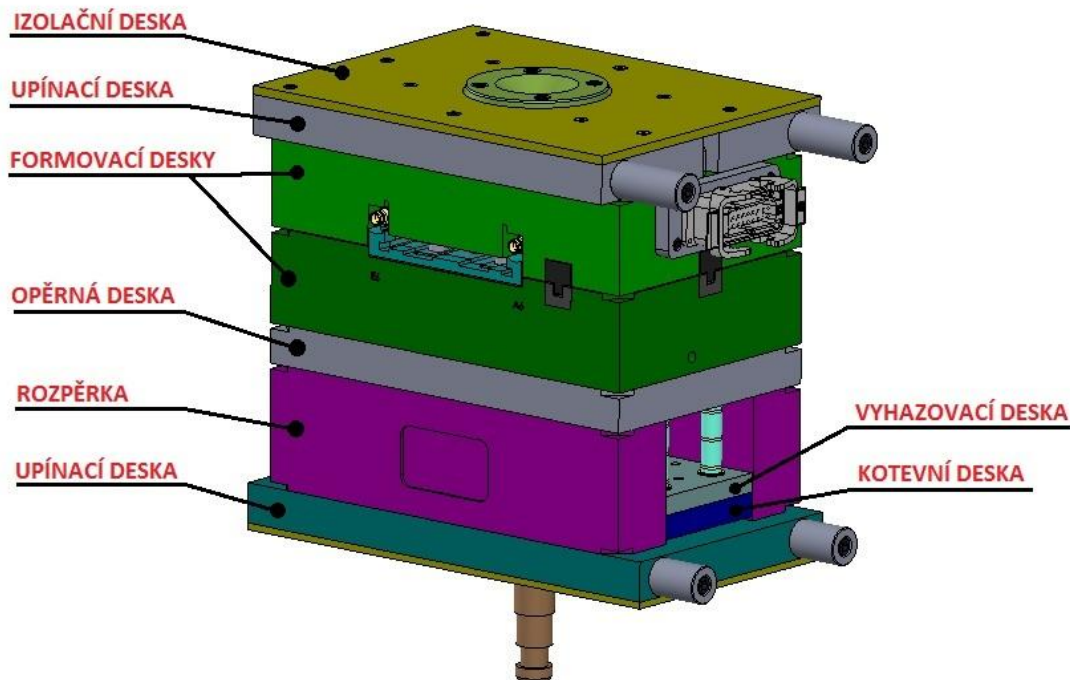
Obr. 7.9 Rozložení deformací při vstřikování



Obr. 7.10 Průhyb opěrné desky

7.6 Konstrukční návrh sestavy formy

Při návrhu vstřikovací formy jsem se co nejvíce snažil využívat normálií od společností HASCO a MEUSBURGER. Například při volbě desek formy jsem využil normálie typu P od společnosti HASCO. Jedná se o desky, které jsou bez konstrukčních úprav, jako jsou například otvory pro šrouby a vedení pro sloupky. Tyto úpravy provede dodatečně nástrojárna. Toto řešení jsem zvolil z toho důvodu, že volba již hotových desek by nevyhovovala mému rozvržení a návrhu ostatních částí formy. Názvy desek můžeme vidět na Obr. 7.11.



Obr. 7.11 Názvy desek vstřikovací formy

7.7 Volba materiálů vybraných částí formy

Vzhledem k provozním podmínkám formy je potřeba zvážit použití materiálů na její výrobu. Co se týče materiálů normalizovaných součástí, jako jsou sloupky, zátky, náustky, vyhazovače, kluzné vedení, šrouby a jiné, zde je materiál daný přímo výrobcem. Ovšem co se týká desek formy je možno zvolit z celé řady materiálů. Rozhodujícími pro mě byly tedy materiály tvárníků, tvárnice a desek.

Pro nejvíce namáhané části formy (tvárník a tvárnice) jsem zvolil materiál 1.2343 (ČSN 19 552) a pro méně namáhané desky formy jsem zvolil levnější variantu nástrojové oceli, a to materiál 1.1730 (ČSN 19 083). Základní informace k materiálům jsou v tabulce 7.5 a 7.6. Materiálové listy daných ocelí jsou v příloze č.3.

- **Materiál tvárníku a tvárnice**

Tab. 7.5 Značení a charakteristika materiálu 1.2343 [35]

Části formy - desky		Označování materiálu dle:		
		EN ISO 4957	EN 10027-2	ČSN
		X37CrMoV5-1	1.2343	19 552
Charakteristika		Ocel kalitelná v oleji a na vzduchu, vhodná pro nástroje chlazené vodou.		
Obvyklé použití		Velmi namáhané nástroje pro práci za tepla jako lisovací trny a matrice, nástroje na protlačování, nástroje pro výrobu šroubů a matic za tepla, nástroje pro tlakové lití, lisovací nářadí, vložky zápustek, nože pro stříhání za tepla.		
Vlastnosti	Pevnost po zušlechtění	1200 – 1600 MPa		
	Tvrдость po popouštění	až 54 HRC		

- **Materiál Upínací, opěrné, vyhazovací, kotevní a formovací desky**

Tab. 7.6 Značení a charakteristika materiálu 1.1730 [35]

Části formy - desky		Označování materiálu dle:		
		EN ISO 4957	EN 10027-2	ČSN
		C45U	1.1730	19 083
Charakteristika		Ocel s dobrou obrobiteľnosťou a stejnomerností vlastností.		
Obvyklé použití		Ruční nástroje (kleště, šroubováky, kladiva, sekery, kovářské nářadí), polnohospodářské nářadí, části hospodářských strojů, pomocné části lisovacích nástrojů, upínací a základové desky.		
Vlastnosti	Pevnost po zušlechtění	1080 - 1270 MPa		
	Tvrдость po popouštění	až 57 HRC		

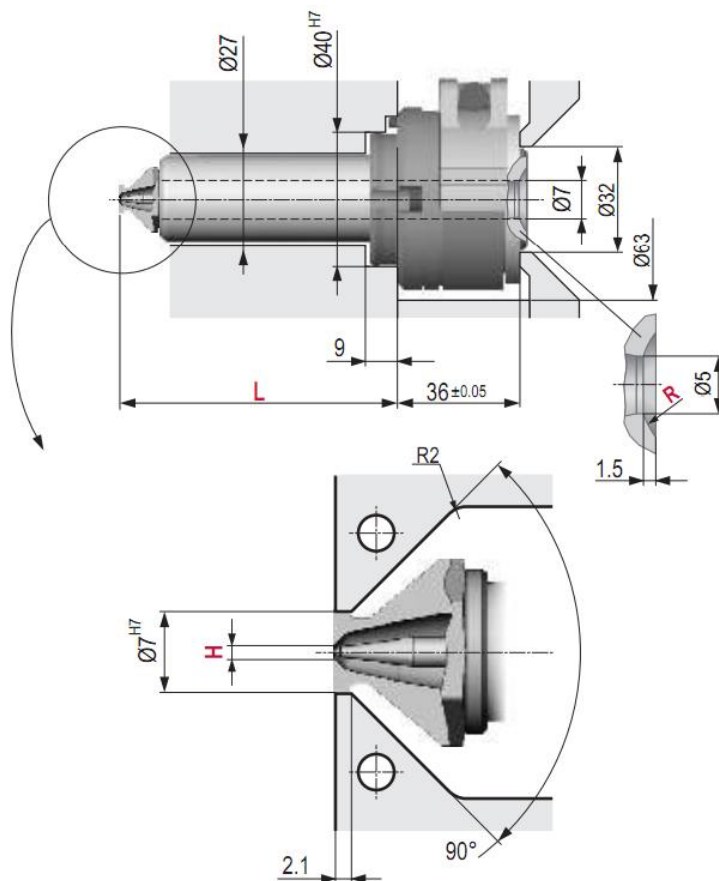
7.8 Volba horké vtokové soustavy [34]

Vzhledem k velikosti vyráběné série, volím horkou vtokovou soustavu a to single trysku. Umístěná bude v těžišti formy s vyústěním do studeného rozvodu. Tryska bude koupená od firmy *Synventive molding solutions s.r.o* (dále jen *Synventive*). Materiál, který by v případě volby studené vtokové soustavy zatuhnul ve vtokovém kůlu, bude nyní ušetřen a vykompenzuje tedy cenu trysky.

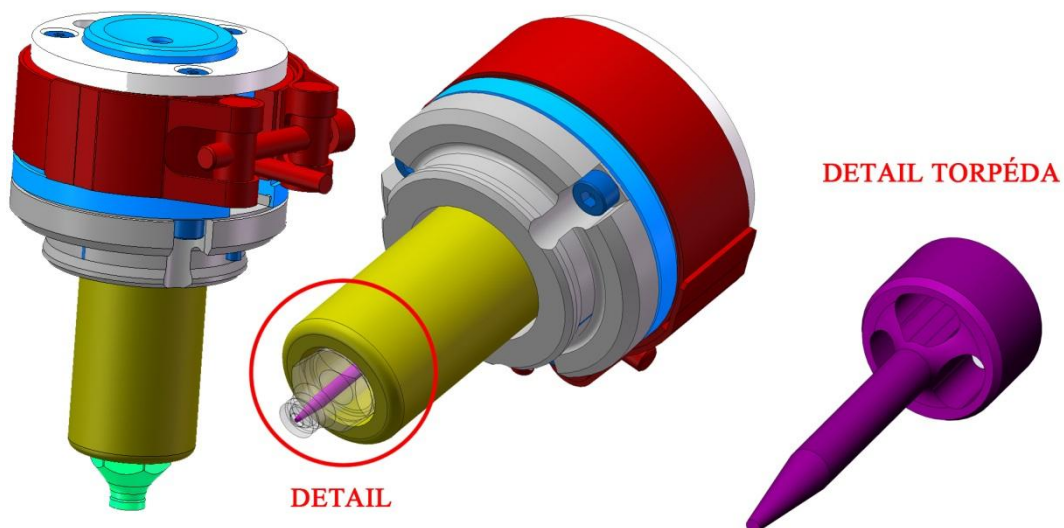
Vzhledem ke vstřikování materiálu s obsahem skelných vláken je potřeba dodržet zásadu, že výstupní otvor trysky musí mít větší jak $\varnothing 1,5\text{ mm}$. Na webových stránkách firmy *Synventive* jsem si zvolil vhodný rozměr a typ trysky vzhledem ke konstrukci formy. Dalším požadavkem při volbě bylo, aby jednotlivé funkční otvory, ve kterých bude tryska umístěna měly tvrdost 51 HRC.

Důležitým parametrem byla také střední hodnota dávky v gramech. V mém případě bude mít vstřikovací dávka při jednom cyklu necelých 48 gramů. Zvolený typ trysky poskytuje 50 gramů na jednu dávku a nese označení *CBYTE 056*, $H=2,7$, $R=40$. Jedná se o trysku s tzv. torpédovým vtokovým ústím. Torpédo je z dobře tepelně vodivého materiálu. Zajistí nám, aby byl materiál u vtokového ústí ve stále tekutém stavu.

Délka trysky je zvolena 56 mm, tj. rozměr kóty L na Obr. 7.12. Průměr vtokového ústí, tedy rozměr H byl dle katalogu zvolen 2,7 mm. Zobrazení trysky *CBYTE 056* je na Obr. 7.13.



Obr. 7.12 Znázornění rozměrů při volbě horké trysky [34]



Obr. 7.13 Tryska *CBYTE 056*

7.9 Temperační systém formy

Temperace vstříkovací formy se stará o konstantní režim teploty formy jak při vstříkování, tak při vyhazování výlisků. Při teplotě formy $T_F = 80^\circ\text{C}$ volím jako temperační médium vodu.

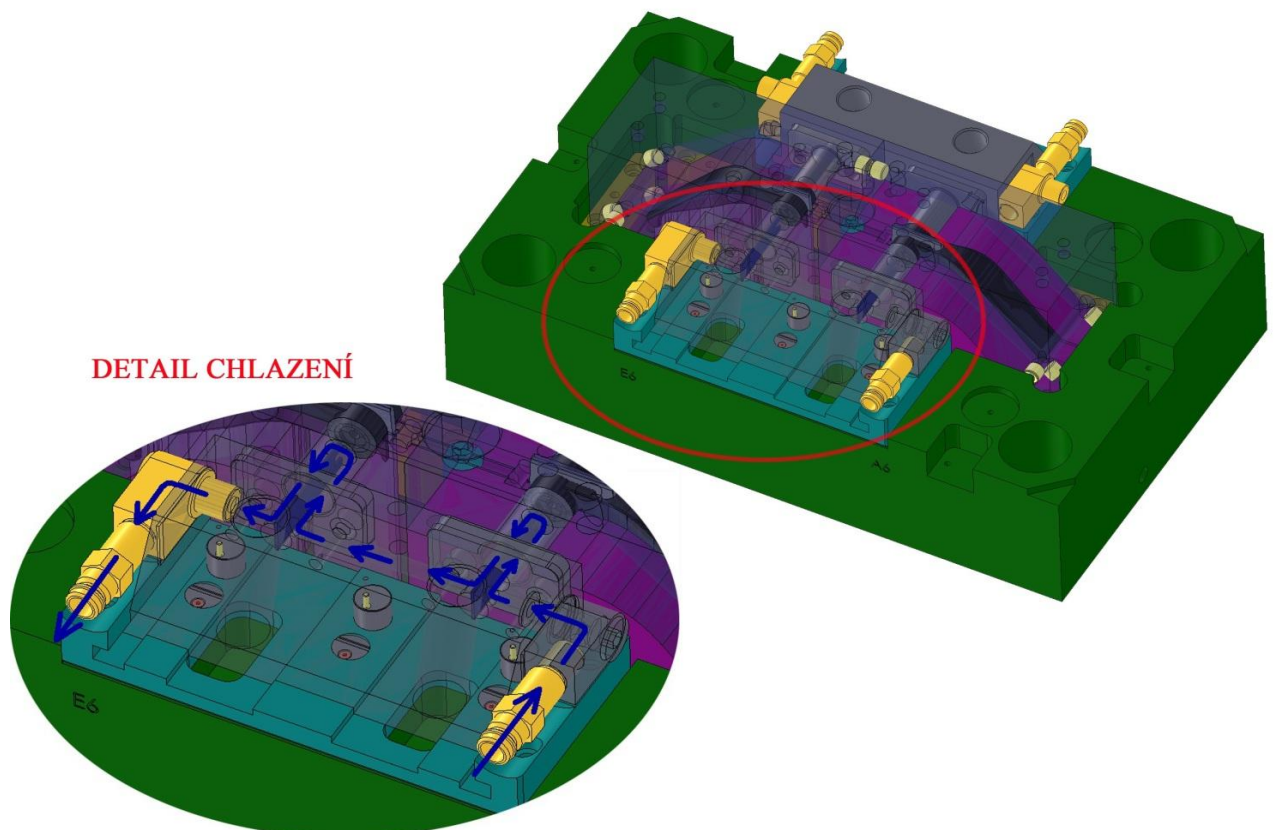
Aby temperační proces probíhal správně a odvozy tepla byly rovnoměrné, tak se v dnešní době používá řada podpůrných programů na odsimulování procesu temperace, rozmístění kanálů, jejich průměry, rychlosti proudění média atd. Jedním z programů může být například Moldflow od firmy Autodesk.

Tab. 7.7 Orientační hodnoty průměrů temperačních kanálů [32]

Tloušťka stěny výstřiku s [mm] přes - do	Průměr temperačních kanálů d [mm]
0,0 - 1,0	5 - 6
1,0 - 2,0	6 - 8,5
2,0 - 4,0	8,5 - 11
4,0 - 6,0	11 - 14

Z tabulky 7.7 jsem určil aspoň přibližný průměr rozváděcích kanálů. Vzhledem k rozmístění kanálů a jejich vzdálenosti od stěn tvárníku jsem jako průměr zvolil 9 mm.

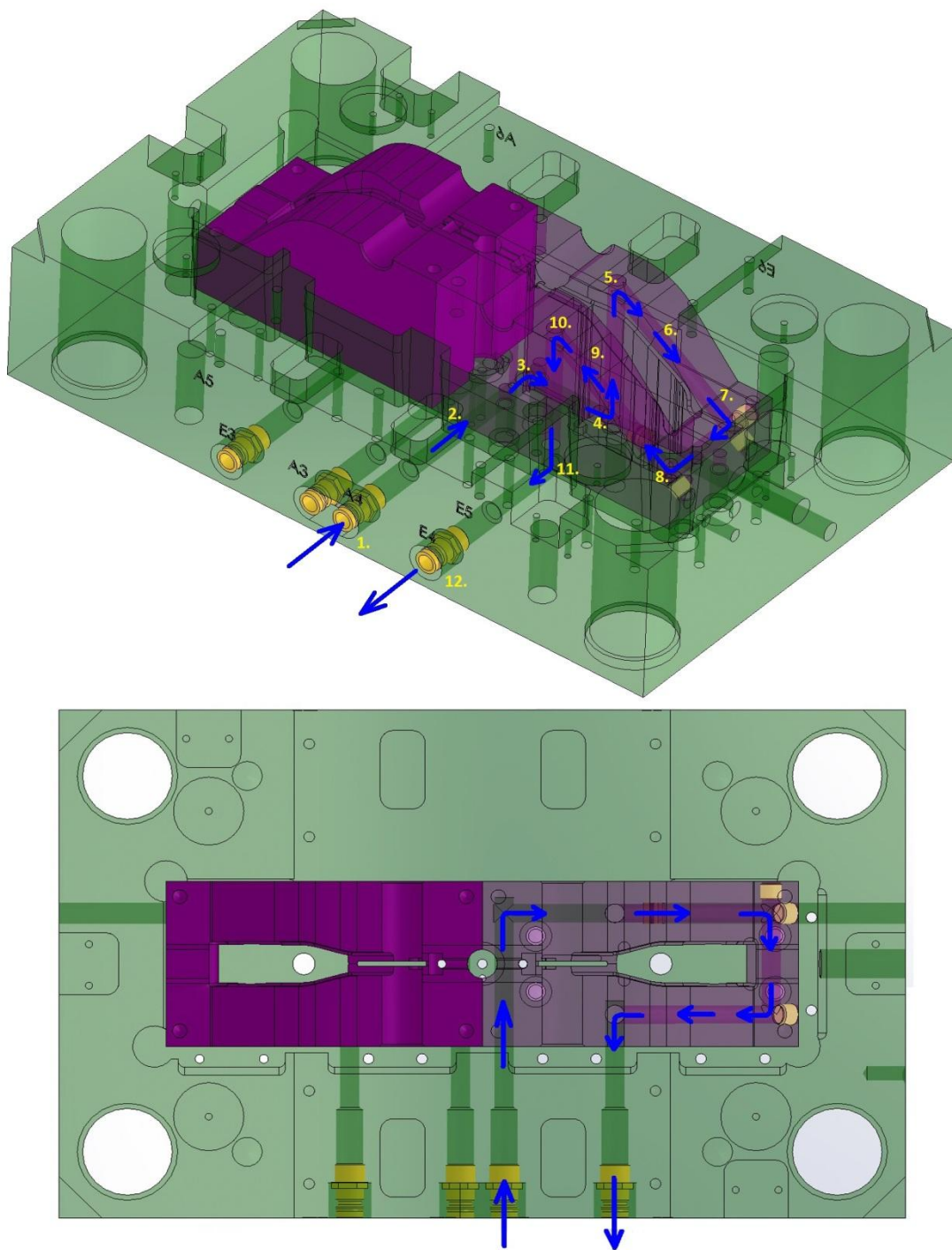
Vzhledem k tvaru plastové součásti jsem zvolil konstrukci formy za použití tvárníku a tvárnice, které jsou uloženy ve formovacích deskách. S ohledem k poloze formy na stroji jsou jak vstupní, tak výstupní temperační kanály vyvedeny na jednu stranu formy a to na stranu odvrácenou obsluze. Kanály postupně přecházejí z formovací desky do tvárníků a tvárnice a



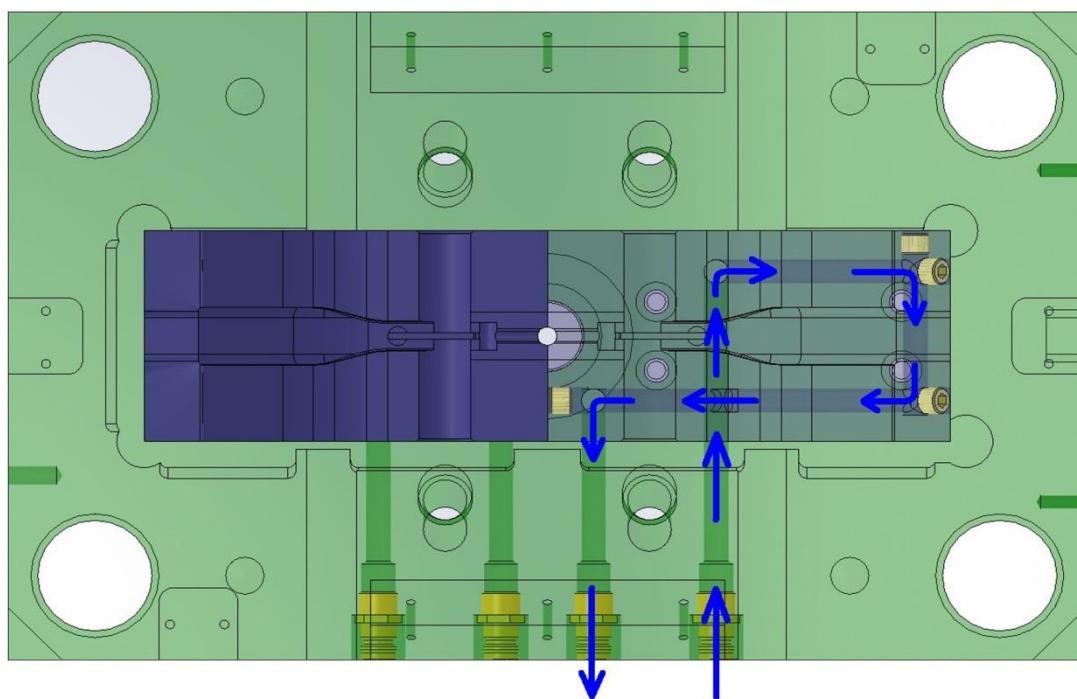
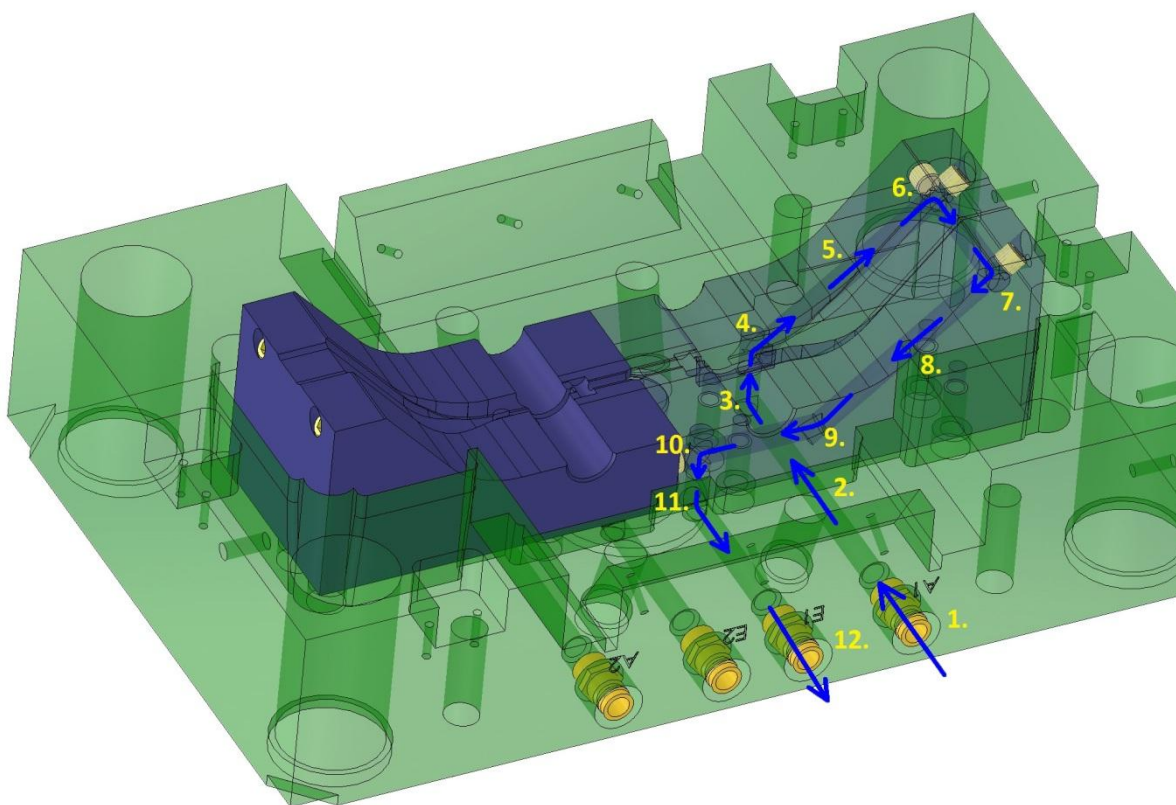
Obr. 7.14 Temperační okruh bočního jádra

po odvedení tepelné energie se znovu vrací do formovací desky. Ukázka rozmístění kanálů v horní a spodní polovině formy je na Obr. 7.15 a 7.16. Pro názornost jsou směry proudění kapaliny znázorněny jen v jedné polovině. Druhá polovina je symetrická. Další temperační okruh je v použitých bočních jádrech. Zde jsem ho navrhl s ohledem na větší tloušťku stěny výlisku a tedy k lepšímu dochlazení. V tomto případě jsou vstupy a výstupy i na straně obsluhy viz. Obr. 7.14. Usměrnění kapaliny je zde realizováno přepážkami.

Po vyvrtání kanálů je potřeba usměrnit tok chladicí kapaliny správným směrem a zároveň zamezit vytékání kapaliny. K těmto účelům jsem zvolil ucpávky a záslepky, které jsem opět navrhnul z online katalogů firmy HASCO a MEUSBURGER.



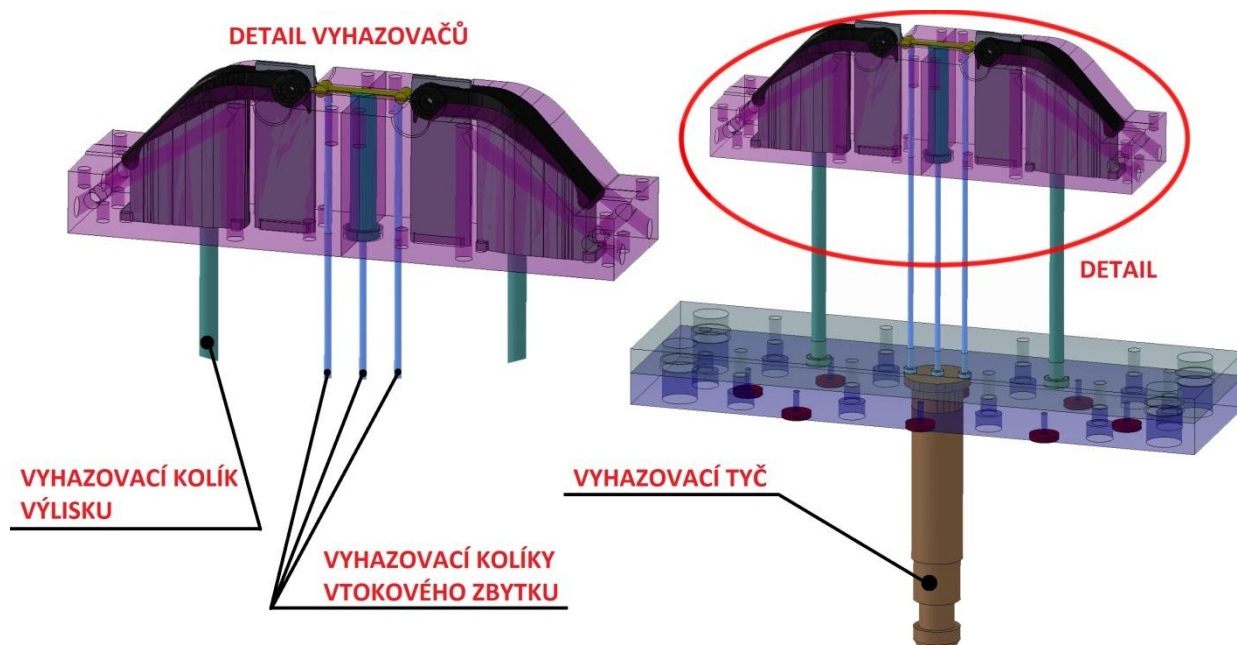
Obr. 7.15 Temperační okruh spodní části formy s tvárníky



Obr. 7.16 Temperační okruh horní části formy s tvárnicemi

7.10 Vyhazovací systém formy

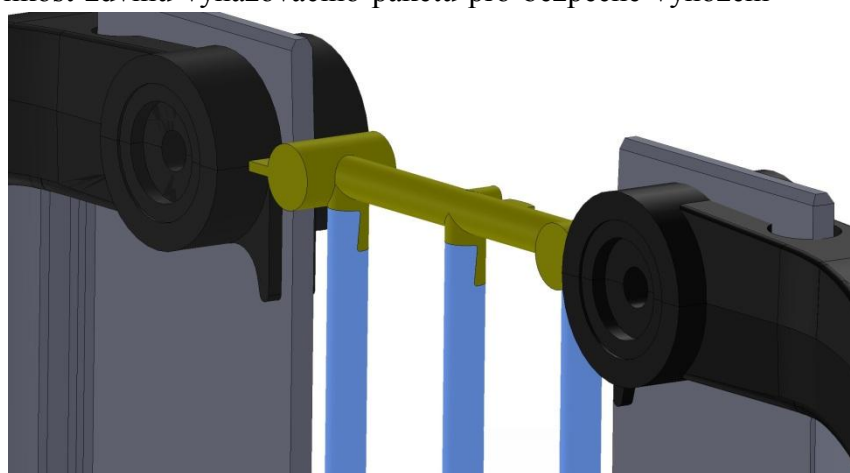
Vyhazovací systém nám zajišťuje správné vyhození výstříku z formy. Tvar a rozmístění vyhazovacích kolíků záleží na konkrétním tvaru součásti. Pro vyhození výstříku jsem zvolil vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků. Jejich rozmístění je na Obr. 7.17. Zajišťují jak vyhození součásti, tak vtokového zbytku. Kolíky uvažuji jako nakupované normálie. Nakupují se v určitých typizovaných délkách, a proto je bude nutné dodatečně upravit podle tvaru plochy součásti, ke které budou přiléhat a na kterou budou působit vyhazovací silou. Nevýhodou požití vyhazovacích kolíků je, že na součásti zanechávají stopy po otláčení. V mém případě však plocha, ke které přiléhají, není vzhledová, a proto mi stopy nebudou vadit.



Obr. 7.17 Vyhazovací paket

Vyhazovací kolíky jsou uloženy mezi kotevní a vyhazovací deskou (vyhazovací paket). O pohyb vyhazovacího paketu se stará vyhazovací tyč, která je na jedné straně spojena s deskami a na druhé straně je připevněna k vyhazovacímu systému stroje. Vyhození nastává po otevření vstřikovací formy. Velikost zdvihu vyhazovacího paketu pro bezpečné vyhození součásti bude 70 mm.

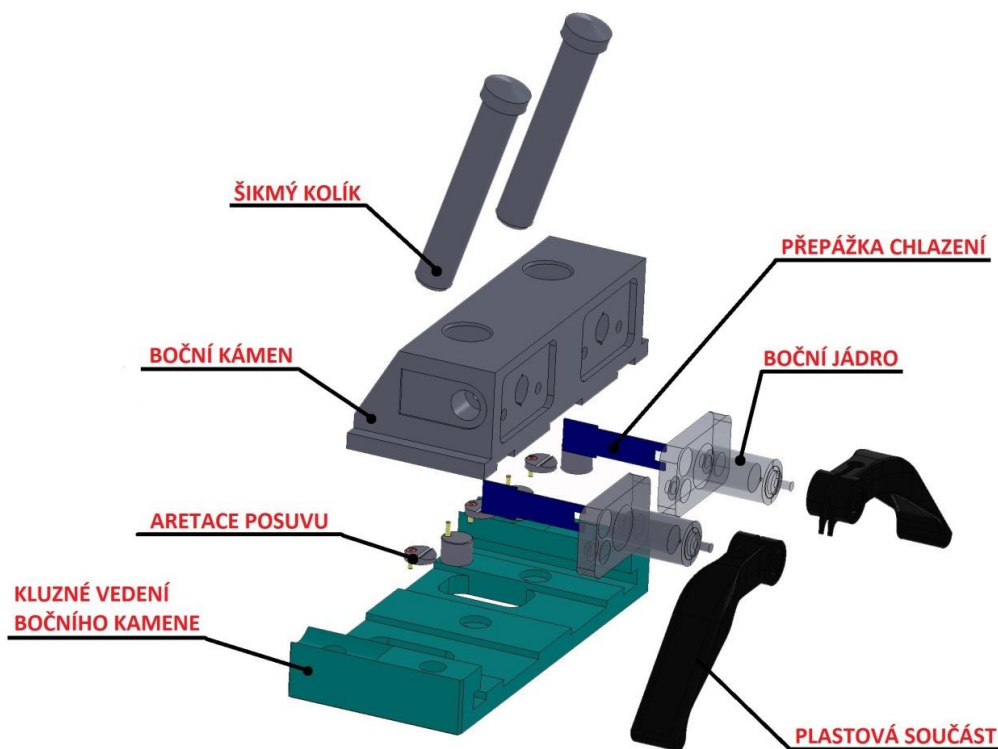
Vzhledem k tvaru plastové součásti je hlavní kolík umístěn v jejím těžišti a má dostatečný průměr aby nedošlo k protržení. Kolíky menších průměrů slouží k vyhození vtokového zbytku. Aby při vyhození zůstal vtokový zbytek přichycen ke kolíkům, jsou opatřeny zpětným úkosem viz Obr. 7.18. Proti pootočení jsou upraveny vyfrézováním plošky na jejich konci.



Obr. 7.18 Způsob zachycení vtokového zbytku na kolíku při vyhození

7.11 Návrh bočních jader

Vzhledem ke konstrukci plastové součásti bylo nutné použití bočních jader. Pro plynulý a bezproblémový chod vstřikovací formy jsem jako nejvhodnější způsob ovládání kamene s bočním jádrem zvolil šikmé kolíky, které jsou ukotvené v horní polovině formy. Při jejím zavírání dojde k posuvu kamene po kluzném vedení směrem do středu formy za pomoci kolíku. Naopak při otevírání dojde k odsunutí směrem vně a poté může dojít k bezproblémovému vyhození vylisku, aniž by došlo k poškození. Pokud se kámen nachází vně formy je potřeba zajistit jeho polohu, o to se starají tzv. aretace posuvu. V případě zjetého kamene uvnitř formy a samotném vstřikování působí na jádra vysoký tlak. Samotné kolíky by nemuseli tento nápor vydržet a mohlo by dojít k poškození. Tomuto jsem se snažil předejít a při zavření formy se zadní plocha kamene opře o plochu na formovací desce a dojde zajištění proti posuvu. Rozložená pohled na mechanismus bočních jader je vidět na Obr. 7.19.

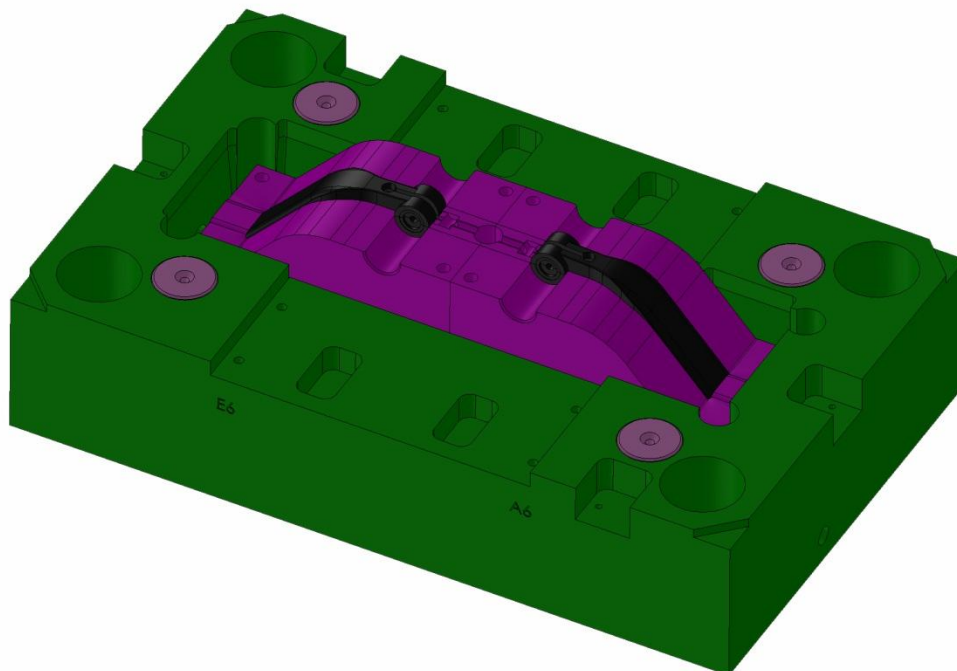


Obr. 7.19 Mechanismus bočního jádra

7.12 Konstrukční úpravy formy

7.12.1 Odlehčení dělicí roviny

Při uzavírání formy dojde k dosednutí tvárníku na tvárnici a zajistí se tedy dostatečné zajištění proti úniku taveniny. V tomto případě tedy není nutný dosed formovacích desek přesně na sebe. Zajistit přesné dosednutí by bylo poměrně náročné vzhledem k velikosti plochy. Odlehčení jsem tedy zvolil 1mm a na čtyřech místech jsou umístěny dosedací destičky, které se o částečné dosednutí desek postarají viz. Obr. 7.20. Výrobně to tedy bude méně náročné. Destičky se zrousí na daný konkrétní rozměr, který bude po sestavení formy změřen.

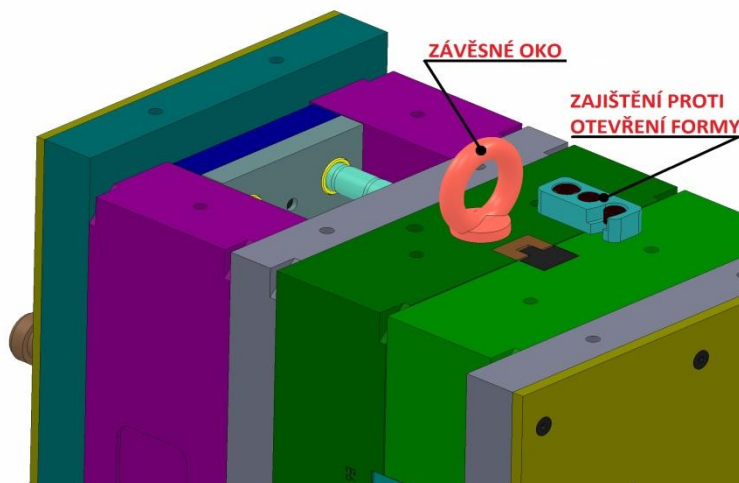


Obr. 7.20 Odlehčení dělicí roviny

7.12.2 Transport demontáž formy

Pro zajištění formy proti otevření při transportu na lis nebo z lisu a pro samotné přemístění jsem použil opět normalizované součásti od firmy HASCO a MEUSBURGER viz. Obr. 7.21. Závěsné oko je dimenzováno na nosnost 700 kg. Forma váží 260 kg, je zde tedy téměř trojnásobná bezpečnost. Vzhledem ke stabilitě při transportu je oko umístěno do těžiště formy.

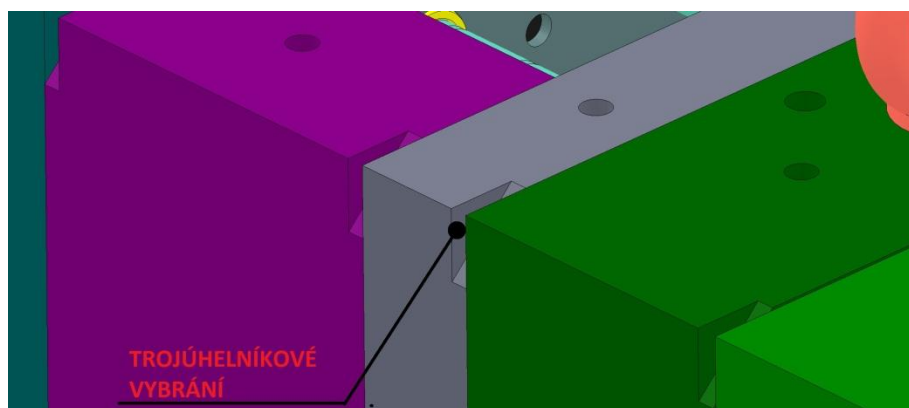
Desky jsou pro manipulaci opatřeny závitovými dírami ze stran. Pro vyjmutí tvárníků a tvárnic jsou také



Obr. 7.21 Transport formy

použity, závitové díry pro pohodlné našroubování závitových ok nebo tyčí.

Pro snadnou demontáž formy jsou trojúhelníková vybrání v rozích desky. Jejich uspořádání je uspořádáno tak, aby byla demontáž desek co možná nejjednodušší. Úpravu můžeme vidět na Obr. 7.22.

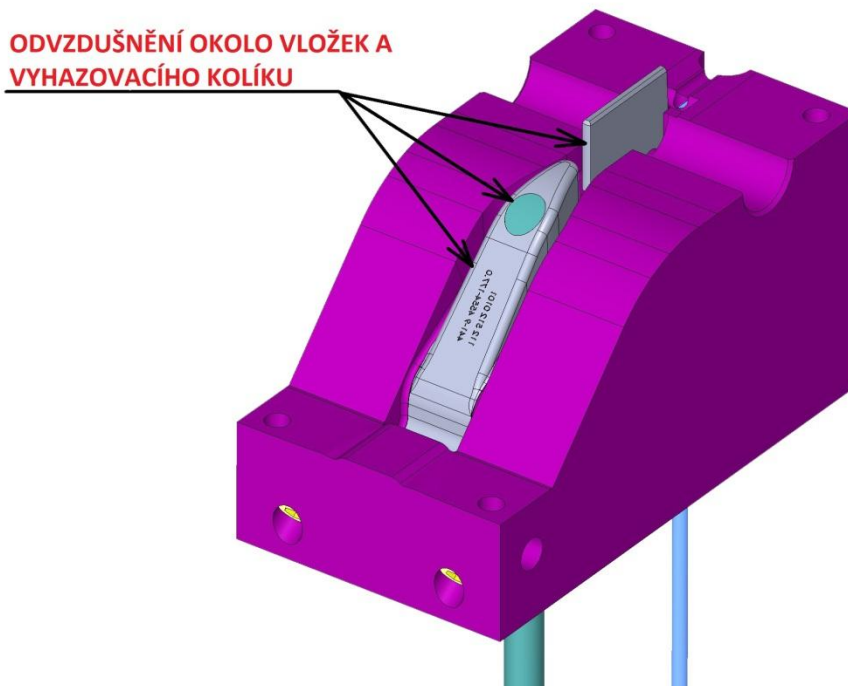


Obr. 7.22 Vybrání pro demontáž formy

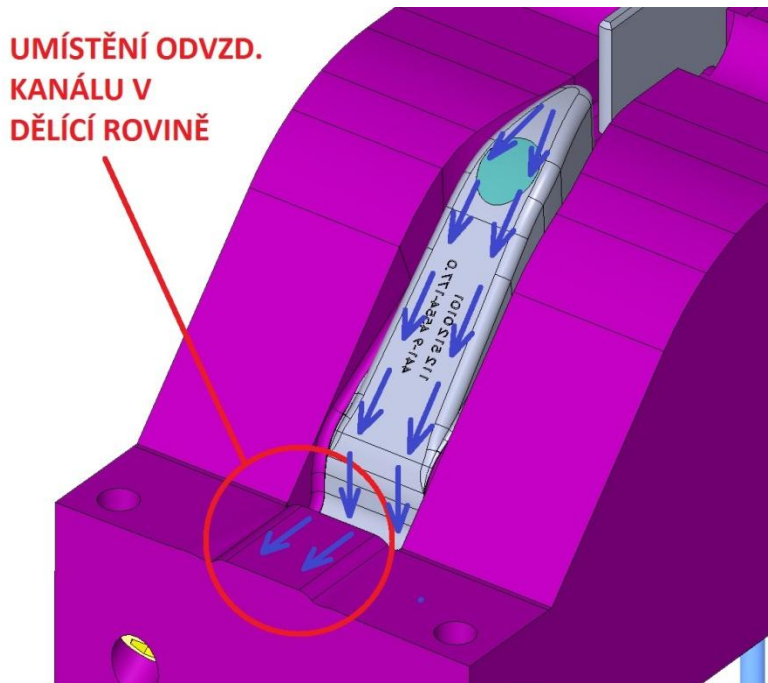
7.12.3 Návrh odvzdušnění formy

Při procesu vstřikování je velice důležité aby roztavený plast, který postupně vyplňuje tvarovou dutinu vytlačil vzduch. V případě, že by vzduch byl v dutině uzavřen, mohlo by dojít k neúplnému zatečení plastu či k dieslově efektu (vzduch je zahřátý na vysokou teplotu, což způsobuje degradaci vstřikovaného materiálu. Na odvzdušnění má velký vliv poloha dělicí roviny, členitost výlisku či poloha vtoku.

U mé vstřikovací formy jsem systém odvzdušnění navrhl tak, že vzduch bude moci unikat přes tvarové vložky a vyhazovač, které jsou uloženy v tvárníku. Vzhledem k přesnosti výroby a určité vůli v uložení, zde budou mezery pro odvod vzduchu viz. Obr.7.23.



Obr. 7.23 Místa pro odvzdušnění při vstřikování



Obr. 7.24 Umístění odvzdušňovacího kanálu

Po kompletaci formy se provede tzv. vzorkování zkušebních kusů, kde se pozná, zda je odvzdušnění dostatečné či nikoli. Pokud by nebylo, je možné vytvořit odvzdušňovací kanál pro odvod vzduchu v dělicí rovině. Kanál by byl na protější straně od ústí vtoku, kde se bude vzduch při vstřikování hromadit viz. Obr. 7.24. Dimenzování odvzdušňovacího kanálu se odvíjí od druhu vstřikovaného plastu. V případě plastů plněných skelným vláknem je minimální hodnota tloušťky kanálu 0,03 mm.

7.13 Volba vstřikovacího stroje [1], [2], [9]

Při volbě stroje je celá řada parametrů, které musí stroj splnit, aby byl vhodný pro danou konstrukci formy.

Pro volbu stroje jsou z vypočtených parametrů nejdůležitější:

- Minimální vstřikovací kapacita
- Minimální plastikační kapacita
- Výška formy
- Maximální otevření stroje
- Přidržovací síla
- Průměr šneku
- Vzdálenost mezi vodícími sloupky

Pro správnou volbu je nutné znát také rozměry formy v uzavřeném stavu 446x246x404 a otevřeném stavu 446x246x604. Pro bezpečné vyhození vylisku jsem zvolil otevření formy 200mm.

S ohledem k výše uvedeným parametrům a kritériím jsem určil stroj firmy Arburg s označením ALLROUNDER A typ 470A. Provedení stroje je na Obr. 7.25. V tabulce 7.8 je porovnání požadovaných parametrů s parametry zvoleného stroje.



Obr. 7.25 Vstřikovací lis ALLROUNDER A 470A [1]

Tab.7.8 Porovnání vypočtených parametrů s parametry lisu ALLROUNDER A 470 A [2]

PARAMETRY STORJE	POŽADOVANÉ HODNOTY	HODNOTY STROJE	
Minimální vstřikovací kapacita $C_V [cm^3]$	40	106/144/188	✓
Minimální plastikační kapacita $C_p [kg/hod]$	5,25	8,5/10,5/12,5	✓
Minimální výška formy [mm]	404	250 - 500	✓
Otevření uzavírací jednotky stroje [mm]	200	350	✓
Přidržovací síla $F_p [kN]$	333	1000	✓
Průměr šneku $D_S [mm]$	30	30/35/40	✓
Vzdálenost mezi vodícími sloupky [mm]	446x246	470x470	✓

8 Technicko ekonomické zhodnocení [6], [9], [21], [31]

Technicko ekonomické zhodnocení se založeno na stanovení nákladů na pořízení vstřikovací formy, z kterých bude stanovena cena za 1 kus plastového vylisku. Náklady se budou skládat z cen normalizovaných součástí viz. Tab. 8.2, polotovarů na některé části formy, nákladů spojených s výrobou součástí z nakoupených polotovarů, tepelné zpracování, ceny granulátu, ceny vstřikovacího stroje a další. Vstupní hodnoty pro výpočet jsou v Tab. 8.1.

Vzhledem k tomu, že není možné získat přesné hodnoty, které se týkají nákladů na výrobu součástí v nástrojárnách, tak jsem v některých kalkulacích uvažoval teoretické hodnoty. Při stanovení cen normalizovaných součástí jsem pro převod měny využil kurz České národní banky ke dni 8.5. 2012, který činí 25,03 Kč za 1€.

Vstupní hodnoty potřebné k výpočtu nákladů spojených s výrobou

Tab. 8.1 Vstupní hodnoty pro výpočet [31]

HODNOTY		JEDNOTKY	
Cena materiálu	A_m	85	Kč/kg
Cena elektrické energie	E_E	5,30	Kč/kWh
Velikost série	N	250 000	ks
Doba vstřikovacího cyklu	t_c	37,3	s
Cena stroje	A	1 700 000	Kč
Příkon stroje	P_s	26	kW
Koeficient opotřebení stroje	K_1	0,8	-
Hrubá mzda obsluhy stroje	M_d	120	Kč/hod
Návrat nákladů investovaných do stroje	R_s	6	rok
Hmotnost vylisků	G	46,2	g
Hmotnost vtokového zbytku	G_z	1,9	g
Násobnost formy (terminovaná)	n_T	2	-

8.1 Náklady na materiál

Náklady na materiál jednoho výstřiku N_m [Kč]

$$N_m = \frac{A_m \cdot G_c}{n_T} \quad (8.1)$$

G_c ...celková hmotnost výlisků a vtokového zbytku

$$G_c = G + G_z = 46,2 + 1,9$$

$$G_c = 48,1 \text{ g} \rightarrow 0,0481 \text{ kg}$$

$$N_m = \frac{85 \cdot 0,0481}{2}$$

$$N_m = 2,04 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál pro celou sérii N_t [Kč]

$$N_t = N_m \cdot N \quad (8.2)$$

$$N_t = 2,04 \cdot 250\,000$$

$$N_t = 510\,000 \text{ Kč}$$

8.2 Náklady na stroj a jeho obsluhu

Hodinové náklady na provoz stroje N_s [Kč]

Jako spotřebu el. Energie stroje budeme uvažovat jeho příkon, i když stroj nebude mít vždy kontinuální spotřebu el. Energie.

$$N_s = \frac{P_s \cdot E_E}{K_1} \quad (8.3)$$

$$N_s = \frac{26 \cdot 5,3}{0,8}$$

$$N_s = 172,3 \text{ Kč}$$

Doba výroby celé série t_s [hod]

$$t_s = \frac{N \cdot t_c \cdot K_z}{3600 \cdot n_T \cdot K_p} \quad (8.4)$$

K_z ...Faktor využití pracovního času [-]

$$K_z = 1,01$$

K_p ...Faktor zmetkovitosti [-]

$$K_p = 0,8$$

$$t_s = \frac{250\,000 \cdot 37,3 \cdot 1,01}{3600 \cdot 2 \cdot 0,8}$$

$$t_s = 1635 \text{ hod}$$

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

$$N_{pr} = N_s \cdot t_s \quad (8.5)$$

$$N_{pr} = 172,3 \cdot 1635$$

$$N_{pr} \cong 282\,000 \text{ Kč}$$

Odpisové náklady stroje N_o [Kč]

Předpokládám návratnost ceny stroje v horizontu 6 let.

$$N_o = \frac{A}{6 \cdot t_s} \quad (8.6)$$

$$N_o = \frac{1\,700\,000}{6 \cdot 1635}$$

$$N_o = 173,3 \text{ Kč}$$

Celkové odpisové náklady stroje po dobu celé série N_{oc} [Kč]

$$N_{oc} = N_o \cdot t_s \quad (8.7)$$

$$N_{oc} = 173,3 \cdot 1635$$

$$N_{oc} \cong 283\,000 \text{ Kč}$$

Náklady na mzdu dělníka N_d [Kč]

Předpokládám, že výrobní proces bude probíhat v automatickém cyklu. Seřizovač bude pouze kontrolovat chod stroje a doplňovat granulát. Hodinová mzda dělníka je 120 Kč/hod.

$$N_d = t_s \cdot M_d \quad (8.8)$$

$$N_d = 1635 \cdot 120$$

$$N_d \cong 196\,000 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na stroj a jeho obsluhu během celé výrobní série N_{cs} [Kč]

$$N_{cs} = N_{pr} + N_{oc} + N_d \quad (8.9)$$

$$N_{cs} = 282\,000 + 283\,000 + 196\,000$$

$$N_{cs} = 761\,000 \text{ Kč}$$

Vzhledem k nedostatečným informacím nejsou do nákladů na stroj započteny některé další položky týkající se například provozu a údržby stroje.

8.3 Výpočet nákladů na výrobu formy

Při stanovení nákladů na výrobu formy bylo problematické určit cenu, za kterou budou polotovary obráběny či jinak zpracovány. Proto ceny, které jsem určil jsou přibližně odhadovány.

Náklady na formu:

- Cena normalizovaných součástí a polotovarů desek formy od firmy HASCO, MEUSBURGER a SYNVENTIVE 69 995 Kč (viz. Tab. 8.10)
- Cena ostatních nenormalizovaných dílů a materiálů jako jsou vložky, boční jádra, vedení, stojny, opěrné a dosedací destičky a další 30 000 Kč
- Cena konstrukčních a technologických prací 60 000 Kč
- Cena zahrnující operace jako například obrábění, elektroerozivní obrábění, broušení, tepelné zpracování, zámečnické práce a další 200 000 Kč

Odhad nákladů na výrobu formy N_f [Kč]

$$N_f = 69\,995 + 30\,000 + 60\,000 + 200\,000 \quad (8.10)$$

$$N_f = 359\,995 \text{ Kč}$$

Tab. 8.2 nakupované normalizované díly od firem HASCO , MEUSBURGER A SYNVENTIVE [6], [21]

NÁZEV DÍLU	OZNAČENÍ	KS	CENA (€/KS)
* Upínací deska spodní	P/ 246X446X 36/1.1730	1	135,86
* Upínací deska horní	P/ 296X396X 36/1.1730	1	136,44
* Formovací deska spodní	P/ 246X396X 86/1.1730	2	219,92
* Opěrná deska	P/ 246X396X 36/1.1730	1	124,92
* Vyhazovací deska	P/ 150X396X 17/1.1730	1	61,72
* Kotevní deska	P/ 150X396X 22/1.1730	1	67,58
* Izolační deska horní	E 1425/296 396/8	1	110,90
* Izolační deska spodní	E 1425/246 446/6		82,40
* Tvárník a tvárnice	Polotovár 83x83x500 -1.2343	2	297,2
Horká tryska	CBYTE 056, H=2,7, R=40	1	1000
Přípojka chlazení	E 2000/ 9/ 8	8	0,80
* Přípojka s prodloužením	Z 90 /13X150	4	3,40
Přípojka 90°	Z 878 /13/R 1/4	4	24,18
Válcová záslepka	E 2080/ 8/12	14	0,30
Záslepka s Ó-kroužkem	E 2079/12	2	1,70
Vodící sloupek s nákrůžkem	Z 00 / 86/ 30X155	4	37,95
Vodící sloupek	E 1020/18 x 160	4	10,20
Šikmý kolík	E 1032/16 x 100	4	7,20
Vodící pouzdro s nákrůžkem	Z 1000W/ 86X32	4	70,99
Vodící pouzdro s nákrůžkem 2	E 1125/18-12/17	4	23,50
Centrovací pouzdro	E 1160/42 x 160	4	22,20
* Vyhazovač 10	E 1710/10 x 250	2	10,30
* Vyhazovač 4	E 1710/ 4 x 250	3	5,30
Západka pro posuvné zařízení	E 3047/13	6	13,60
Aretace posuvného dílu	E 3046/13	6	63,60
Koncové středění	Z 085/30X28/2	4	159,50
Závěsné oko	E 1270/16	1	2,30
Transportní zámek	Z 73 /16 X 25 X 63	1	32,93
Stavěcí šroub	E 1250/ 4	1	0,80
šrouby	M4 až M16	135	Σ = 67,20
CELKEM [€]			2 794,86
CELKEM [Kč]			69 995

Pozn.: * ... upravované díly

Celkové náklady na danou sérii N_A [Kč]

$$N_A = N_t + N_{cs} + N_f \quad (8.11)$$

$$N_A = 510\,000 + 761\,000 + 359\,995$$

$$N_A \cong 1\,631\,000 \text{ Kč}$$

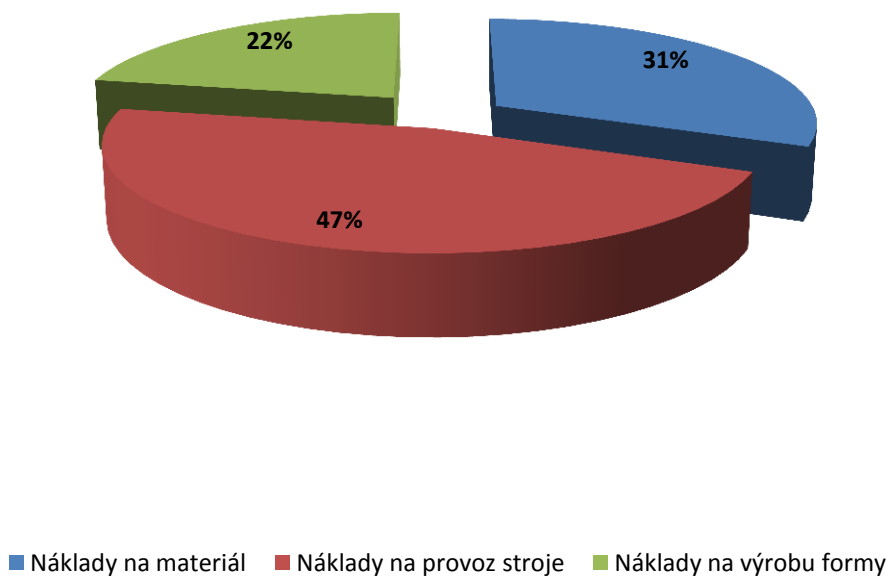
Celkové náklady na jeden vylisek N_V [Kč]

$$N_V = \frac{N_A}{N} \quad (8.12)$$

$$N_V = \frac{1\,631\,000}{250\,000}$$

$$N_V = 6,52 \text{ Kč}$$

Procentuální podíly nákladů viz. Obr. 8.1.



Obr. 8.1 Podíl nákladů na plastový vylisek

Celkové náklady na výrobu celé série činí 1 631 000 Kč, přičemž náklady na výrobu jedné plastové součásti činí 6,52 Kč. Do ceny vylisku nebyly započítány režijní náklady, které nejsou v mém případě známy, ale významně ovlivní výslednou cenu (například vytápění, odpisy budov, osvětlení, údržba, administrativa a další).

9 ZÁVĚR

Jako nejvhodnější technologii výroby plastové součásti jsem zvolil technologii vstřikování plastů. Součást bude vystavena mechanickému namáhání, a proto jsem jako vhodný materiál na její výrobu zvolil Polyamid PA 66 - GF30 od firmy BASF, který je plněn z 30% skelným vláknem. Skelné vlákno je nositelem pevnosti plastu.

Při konstrukci vstřikovací formy jsem využil software Solidworks 2012 jenž obsahuje řadu nástrojů pro pohodlnější návrh formy (analýza úkosů, vkládání normalizovaných součástí a další). Při návrhu jsem se snažil využívat normalizované součásti od firem HASCO, MEUSBURGER a SYNVENTIVE, které poskytují velice rozmanitou řadu možným dílů a rozměrů, jež co nejvíce vycházejí vstříc požadavků konstruktérů forem. Na základě tvaru plastové součásti jsem navrhnul koncepci formovací desky s vloženými tvárníky a tvárnici.

Vzhledem k omezeným možnostem nejsou jednotlivé díly formy navrženy pomocí nástrojů, které umožňují analýzu zatékání plastů, jež by umožnila zjištění studených spojů, nevyplněných míst v tvarové dutině či efektivitu temperačního systému. Při zjišťování průhybu desek jsem vedle analytického výpočty využil i software ANSYS, výsledky porovnal a vyhodnotil.

Na základě vypočtených technických parametrů vstřikování jsem zvolil optimální vstřikovací stroj. V praxi se však konstrukce formy přizpůsobuje strojovému parku dané lisovny, kde bude forma využívána.

V technicko ekonomickém zhodnocení jsem vzhledem k omezeným možnostem zjištění reálných cen výroby a jiných nákladů spojených s výrobou využil přibližného odhadu a stanovil jsem cenu za 1 ks plastové součásti při výrobě dané série.

Technologii vstřikování plastů lze vzhledem k neustálému nárůstu řadit mezi významné zpracovatelské technologie i do budoucna. Mezi největší odvětví průmyslu využívající tuto technologii patří průmysl automobilní a elektrotechnický.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY [3]

1. ARBURG. Allrounder 470 A. [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.arburg.com/com/COM/de/bild.jsp?bild=/com/common/pictures/636_399/0000023897.jpg
2. ARBURG. *Souhrnný přehled: Údaje o strojích*. Německo, 2011. 522848_CZ_032011.
3. CITACE 3.0. *Vše o citování literatury a dokumentů*. [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>
4. FOŘT, Petr a Michal PROKEŠ. K plastovému dílu cesta dlouhá. *Designtech: Ověřený publikační portál věnovaný nejen CA technologiím* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/c/plm/>
5. HERALT, Aleš. *Technologie výroby plastového krytu mobilního telefonu*. Brno, 2009. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp_id=19271&fid=4&rok=&typ=&jazyk=&text=Ale%C5%A1+Herald&hl_klic_slova=0&hl_abstrakt=0&hl_nazev=0&hl_autor=1&str=1. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Bohumil Kandus.
6. HASCO. *Hascoshop* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.hascoshop.com/hascoshop/general/action/setframes.php?lan=1&nAction=2101@48>
7. Isolit Bravo. ANTUŠEK, Roman. *Pokovení plastů* [online]. Jablonné nad Orlicí [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.isolit-bravo.cz/ib/?shp=13>
8. Isolit Bravo. ANTUŠEK, Roman. *Ukázky forem* [online]. Jablonné nad Orlicí [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.isolit-bravo.cz/ib/?shp=11>
9. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů (HTZ)*. Přednášky a cvičení. Odbor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno. 2012.
10. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981, 258 s.
11. KOMPOZITY BRNO S.R.O. *Kurz vstřikování plastů*.
12. Latest New Product News: Multi-Cavity Needle Valve targets closure cap market. *ThomasNet* [online]. 2011 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://news.thomasnet.com/company_detail.html?cid=-99794
13. Latest New Product News: Custom Hot Runner Systems come fully mounted and wired. *ThomasNet* [online]. 2011 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://news.thomasnet.com/company_detail.html?cid=-99794
14. LENFELD, Petr. Katedra strojírenské technologie: TU Liberec. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Reologie.pdf>

15. LENFELD, Petr. Katedra strojírenské technologie: TU Liberec. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/odolnost.pdf
16. LENFELD, Petr. Katedra strojírenské technologie: TU Liberec. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/
17. LENFELD, Petr. Katedra strojírenské technologie: TU Liberec. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf
18. LENFELD, Petr. Katedra strojírenské technologie: TU Liberec. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/lidi/behalek/Strojirenskatechnologie05.pdf>
19. Material Data Center. [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.materialdatacenter.com/mb/main/page/3>
20. MOLÍKOVÁ, Eva, Ph.D. *Konstrukční plasty a kompozity, moudro do cvičení nauka o materiálu*. VUT FSI Brno, 2006/07
PÍŠA, Zdeněk
21. MEUSBURGER. Katalog normalizovaných součástí. [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://ecom.meusburger.com/e_menu/index.asp?set_gruppe=0
22. NOKIA.COM. Nokia představila nový smartphone N9 s operačním systémem MeeGo. *FUTURUM* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://futurum.cz/clanky/nokia-predstavila-novy-smartphone-n9-s-operacnim-systemem-meeego.592/>
23. Oddělení povrchového inženýrství: Fakulta strojní. *Plasty* [online]. Plzeň [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/download/plasty.pdf>
24. PEDAGOGICKÁ FAKULTA Masarykovy univerzity. *Keramika, kompozity, polymery* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm>
25. Pin-for-Plastic-Injection-Mould-Making. [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://image.made-in-china.com/2f0j00WvJQhRmKGsbA/Ejector-Pin-for-Plastic-Injection-Mould-Making.jpg>
26. PLASTIC INJECTION MOULDING MACHINE. *Rutland plastics limited* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.rutlandplastics.co.uk/moulding_machine.shtml
27. PLASTICPORTAL. Navzdory krizi dobré vyhlídky prodeje vstříkolisu: Uzatvárací jednotka pro stroje série TH. In: *Plasticportal* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/navzdori-krizi-dobre-vyhličky-prodeje-vstrikolisu/c/379>



28. PLASTICSPORTAL. Product information Ultramid. *Plasticsportal* [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z:
http://www.plasticsportal.net/wa/EU/Catalog/ePlastics/doc4/BASF/product/ultramid_a3wg6_1/l/.pdf?title=&asset_type=pds/pdf&language=EN&urn=urn:documentum:eCommerce_sol_EU:09007bb280075567.pdf
29. *Plasty moravia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z:
http://www.plastymorava.estranky.cz/clanky/ertalon-6sa-_pa-6_.html
30. PŘÍHODA, Josef a Ondřej ŘEZNÍČEK. Ranguého vírová trubice. *Designtech* [online]. 2008 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/c/fem/rangueho-virova-trubice.htm>
31. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2001, 228 s.
32. SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 1. vyd. Praha: Dashöfer, 1999. ISBN 80-862-2915-7.
33. STEIDL, Josef. *MM Průmyslové spektrum: Plasty a kompozity naplňují materiálové požadavky moderního strojírenství*[online]. 02.02.2005. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-a-kompozity-naplnuji-materialove-pozadavky-moderniho-strojirens.html>
34. *Synventive: Synventive Hot Runner Systems & Components* [online]. 2009 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z:
http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Nozzles/PDFs/MK-PRM.BRM.GB-P.ICB__E.pdf
35. Technická příručka. *Blazano* [online]. 2004 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z:
<http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojovky/>
36. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. KMT- Katedra materiálů. *KMT: Studijní podklady* [online]. Liberec, 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z:
http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/NOM2.htm
37. Vstřikování plastů: Vstřikování plastových výrobků. *Fortell* [online]. 2012. vyd. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.fortell.cz/vstrikovani-plastu>
38. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
39. ŽÁK, Ladislav. Odbor technologie tváření kovů a plastů: tvářecí nástroje. *Ústav strojírenské technologie* [online]. [cit. 2012-05-14].



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
A	Cena stroje	[Kč]
A_D	Plocha průmětu dílce do dělicí roviny	[mm ²]
A_m	Cena materiálu	[Kč/kg]
A_1	Rozměr ve formě	[mm]
b	Délka	[mm]
B_1	Rozměr výstřiku po smrštění	[mm]
B_2	Rozměr výstřiku po dostatečném smrštění	[mm]
C_p	Minimální plastikační kapacity	[kg/hod]
C_p	Měrná tepelná kapacita	[KJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
C_v	Minimální vstřikovací kapacita	[cm ³]
C_1	Rozměr výlisku po navlhnutí	[mm]
C_2	Rozměr po ohřevu na provozní teplotu	[mm]
d	Průměr temperačních kanálů	[mm]
D	Průměr zásobníku filmového vtoku	[mm]
D_{rk}	průměr rozváděcího kanálu	[mm]
D_s	Optimální průměr šneku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_k	Konstrukční modul pružnosti	[MPa]
E_E	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
F	Síla	[N]
f	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]
G_c	Celková hmotnost výlisků a vtokového zbytku	[Kg]
G_z	Hmotnost vtokového zbytku	[kg]
Δh	Rozdíl entalpií	[kJ/kg]
H	Výška filmového vtoku	[mm]
h	Výška	[mm]
J	Kvadratická moment průřezu	[mm ⁴]
K	Faktor využití času	[-]
k	Parametr zahrnující vliv dráhy toku taveniny a tloušťku dílce	[mm]
K_1	Koeficient opotřebení stroje	[-]
K_a	Faktor navýšení objemu taveniny	[g/cm ³]
K_f	Faktor schopnosti tečení taveniny	[bar/mm]
K_p	Faktor zmetkovitosti	[-]
K_z	Faktor využití pracovního času	[-]
L	Výpočtová délka toku taveniny	[mm]
L_1	Šířka filmového vtoku	[mm]
L_{rk}	Délka rozváděcího kanálu k jedné tvarové dutině	[mm]
L_s	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
m	Koeficient rovnice dráhy toku taveniny	[-]



Označení	Legenda	Jednotka
M_d	Hrubá mzda obsluhy stroje	[Kč/hod]
N	Vyráběný počet kusů	[ks]
n	Exponent rovnice dráhy toku taveniny	[-]
N_A	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_{oc}	Celkové odpisové náklady stroje po dobu celé série	[Kč]
N_{pr}	Náklady na provoz stroje za celou sérii	[Kč]
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_d	Dotlak	[MPa]
p_f	Minimální plnicí tlak	[MPa]
p_i	Vnitřní tlak	[Pa]
P_s	Příkon stroje	[kW]
p_v	Vstřikovací tlak	[MPa]
p_z	Zbytkový tlak při otevírání formy	[Pa]
Q	Teplo	[W]
Q_k	Ztráty odvodem tepla do okolí	[W]
Q_p	Přivedené teplo	[W]
Q_R	Ztráty tepla vyzařováním	[W]
Q_t	Teplo přivedené nebo odvedené temperačním médiem	[W]
Q_V	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	Návrat nákladů investovaných do stroje	[rok]
S	Plochy průmětů	[mm ²]
s	Tloušťka stěny dílce	[mm]
s_K	Pohyb šneku	[mm]
s_N	Pohyb nástroje	[mm]
ΔT	Rozdíl teplot	[mm]
t_c	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_d	Doba dotlaku	[s]
T_E	Teplota odformování	[°C]
T_f	Teplota viskózního toku	[°C]
T_F	Teplota formy	[°C]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
t_{ch}	Celková doba chlazení	[s]
T_M	Teplota materiálu	[°C]
T_m	Teplota tání krystalů	[°C]
t_m	Prodleva	[s]
t_{pl}	Doba plastikace	[s]
t_{S1}	Doba uzavírání formy	[s]



Označení	Legenda	Jednotka
t_{S2}	Doba přisouvání vstřikovací jednotky k formě	[s]
t_{S3}	Doba otevírání formy	[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 výstřiku	[s]
t_4	Prodleva	[s]
v	Maximální obvodová rychlost šneku	[m/s]
V	Objem	[cm ³]
V_D	Vstřikovací dávka	[cm ³]
V_{rk}	Objem rozváděcího kanálu do jedné dutiny	[cm ³]
v_s	Vstřikovací rychlost	[cm ³ /s]
X	Střední rozměr	[mm]
y	Velikost průhybu desky	[mm]
α_{eff}	Měrná tepelná vodivost	[mm ² /s]
γ	Smyková rychlost	[s ⁻¹]
η	Dynamická viskozita	[Pa · s]
λ	Tepelná vodivost	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
μ	Poissonovo číslo	[-]
ρ	Hustota	[g/cm ³]
τ	Smykové napětí	[Pa]
τ_p	Požadovaný termín dodání	[hod]
ϑ_{F1}	Teplota stěny dutiny	[°C]
ϑ_{F2}	Teplota stěny dutiny	[°C]
ϑ_{F3}	Teplota stěny dutiny	[°C]
ϑ_k	Teplota stěny kanálu	[°C]
ϑ_T	Teplota chladiva	[°C]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Příklady plastových výrobků [22], [37]	11
Obr. 1.1 Etapy vzniku plastového výrobku [32]	12
Obr. 1.2 Monomer Polyetylen [16]	12
Obr. 1.3 Tvary makromolekul [16]	13
Obr. 1.4 Struktura amorfních polymerů [16]	14
Obr. 1.5 Semikrystalická struktura [16]	14
Obr. 2.1 Přechodové teploty u polymerů [32]	16
Obr. 2.2 Závislost dynamické viskozity tavenin polymerů na smykové rychlosti [14]	17
Obr. 2.3 Mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě [23]	18
Obr. 3.1 Pokovená část světloometu zhotovená vstřikováním [7]	20
Obr. 3.2 Pracovní cyklus vstřikování [16]	20
Obr. 3.3 Plastikace pomocí vstřikovací jednotky [16]	22
Obr. 3.4 Vstřikování [4]	22
Obr. 3.5 Časový průběh tlaku ve formě [16]	24
Obr. 3.6 Parametry ovlivňující jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu [16]	25
Obr. 3.7 Přesnost rozměrů vyjádřená pomocí tolerančních pásem [9]	26
Obr. 3.8 Smrštění při chladnutí plastového dílce [16]	27
Obr. 3.9 Průběh smrštění výstřiku [32]	28
Obr. 3.10 Části vstřikovacího stroje [26]	29
Obr. 3.11 Uzavírací jednotka s kloubovým mechanismem [27]	30
Obr. 5.1 Hlavní části vstřikovací formy [32]	31
Obr. 5.2 Ukázka vstřikovací formy [8]	32
Obr. 5.3 Uspořádání vtokových kanálů [39]	34
Obr. 5.4 Průřezy vtokových kanálů [32]	34
Obr. 5.5 Příklady různých druhů vtoků [32]	35
Obr. 5.6 Vyhřívání trysky [12]	36
Obr. 5.7 Vyhřívání rozváděcí blok s vyhříváními tryskami [13]	36
Obr. 5.8 Volba pozice temperačních kanálů [17]	37
Obr. 5.9 Průběh teplot v kanálu s médiem a ve stěně formy [32]	38
Obr. 5.10 Tepelná bilance formy [32]	38
Obr. 5.11 Ranque-Hilsch vírová trubice [30]	39
Obr. 5.12 Typy vyhazovacích kolíků [30]	40
Obr. 6.1 Princip technologie lisování reaktoplastů [16]	41
Obr. 6.2 Model páčky	41
Obr. 7.1 Volba dělicí roviny	44
Obr. 7.2 Analýza úkosů v programu Solidworks	45
Obr. 7.3 Filmový vtok	46
Obr. 7.4 Délka dráhy toku taveniny do jedné tvarové dutiny	46
Obr. 7.5 Znázornění doby vstřikovacího cyklu [31]	49
Obr. 7.6 Plocha průměty dílce do dělicí roviny	50
Obr. 7.7 Rozměry pro výpočet průhybu	52
Obr. 7.8 Schéma pro výpočet náhradního obdélníkového zatížení	52
Obr. 7.9 Rozložení deformací při vstřikování	54
Obr. 7.10 Průhyb opěrné desky	54
Obr. 7.11 Názvy desek vstřikovací formy	55
Obr. 7.12 Znázornění rozměrů při volbě horké trysky [34]	57
Obr. 7.13 Tryska CBYTE 056	57
Obr. 7.14 Temperační okruh bočního jádra	58
Obr. 7.15 Temperační okruh spodní části formy s tvárníky	59



Obr. 7.16	Temperační okruh horní části formy s tvárnicemi	60
Obr. 7.17	Vyhazovací paket	61
Obr. 7.18	Způsob zachycení vtokového zbytku na kolíku při vyhození	61
Obr. 7.19	Mechanismus bočního jádra	62
Obr. 7.20	Odlehčení dělicí roviny	63
Obr. 7.21	Transport formy	63
Obr. 7.22	Vybrání pro demontáž formy	63
Obr. 7.23	Místa pro odvzdušnění při vstřikování	64
Obr. 7.24	Umístění odvzdušňovacího kanálu	64
Obr. 7.25	Vstřikovací lis ALLROUNDER A 470A [1]	65
Obr. 8.1	Podíl nákladů na plastový výlisek	70



SEZNAM TABULEK

Tab.6.1 Aktivní temperační prostředky [32]	39
Tab.7.1 Přehled některých vlastností Polyamidu PA 66 – GF 30 [13], [29]	43
Tab.7.2 Přehled technologických a materiálových parametrů [19], [31]	45
Tab.7.3 Viskozita materiálů [32]	48
Tab.7.4 Doby vstřikování v závislosti na viskozitě materiálu [32]	48
Tab.7.5 Značení a charakteristika materiálu 1.2343 [35]	56
Tab.7.6 Značení a charakteristika materiálu 1.1730 [35]	56
Tab.7.7 Orientační hodnoty průměrů temperačních kanálů [32]	58
Tab.7.8 Porovnání vypočtených parametrů s parametry lisu [2]	65
Tab.8.1 Vstupní hodnoty pro výpočet [31]	66
Tab.8.2 nakupované normalizované díly [6], [21]	69

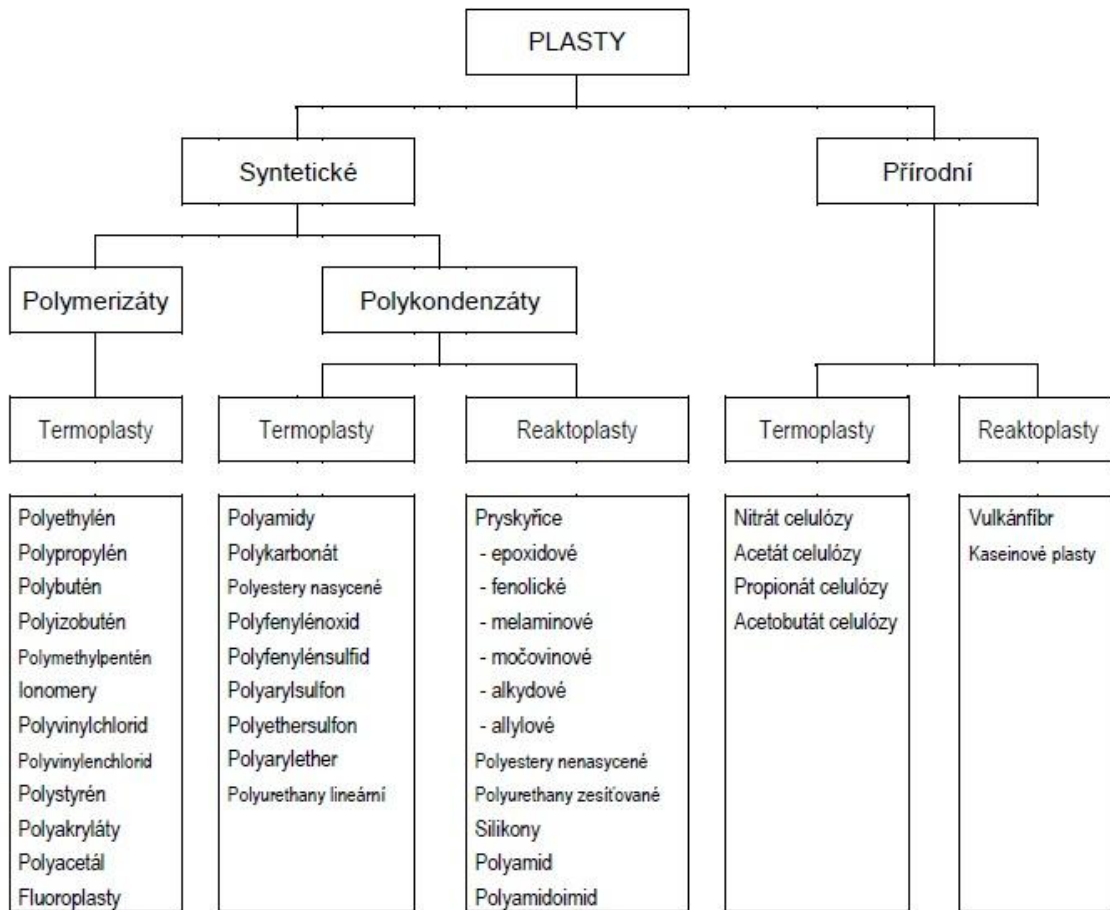


SEZNAM PŘÍLOH


- Příloha č. 1 Rozdělení plastů
- Příloha č. 2 Materiálová list od firmy BASF Polyamid PA66 - GF30
- Příloha č. 3 Materiálové listy nástrojových ocelí

SEZNAM VÝKRESŮ

- 2012_DP_Stransky_Lubos_107582_A0-DP-5-00
- 2012_DP_Stransky_Lubos_107582_A2-DP-5-01
- 2012_DP_Stransky_Lubos_107582_A2-DP-5-02
- 2012_DP_Stransky_Lubos_107582_A4-DP-5-00-D
- rozpiska 1_2
- rozpiska 2_2



Příloha č. 2 Materiálová list od firmy BASF Polyamid PA66 - GF30 [28]

Product Information	Ultramid®
	A3WG6
09/2010	PA66-GF30
	 The Chemical Company

Product description

Glass fibre reinforced and heat aging resistance injection moulding grade for machinery components and housings of high stiffness and dimensional stability such as lamp socket housings, cooling fans, insulating profile for aluminium window frames, and different automotive powertrain parts. A3EG6 is the preferred grade for producing electrically insulating parts.

Physical form and storage

Ultramid® is supplied dry and ready to use in moisture-proof packaging in the form of cylindrical or flat pellets. Its bulk density is about 0,7g/cm³. Standard packs are the special 25kg bag and the 1000kg bulk container (octagonal IBC= intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Subject to agreement other forms of packaging and shipment in tankers by road or rail are also possible. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. To ensure that the perfectly dry material delivered cannot absorb moisture from the air the containers must be stored in dry rooms and always carefully sealed again after portions of material have been withdrawn. Ultramid® can be kept indefinitely in the undamaged bags. Experience has shown that product supplied in IBCs can be stored for about 3 months without any adverse effects on processing properties due to moisture absorption. Containers stored in cold rooms should be allowed to equilibrate to normal temperature so that no condensation forms on the pellets.

Product safety

Ultramid® melts are thermally stable at the usual temperature for PA66, PA6 and PA66/6 up to 310°C and 350°C for PA6/6T and do not give rise to hazards due to molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers Ultramid® decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. In such cases gaseous decomposition products are formed. Decomposition accelerates above 310°C (PA6/6T >350°C) approximately, the initial products formed being mainly carbon monoxide and ammonia, and caprolactam too in the case of Ultramid® PA6. At temperatures above about 350°C (PA6/6T >400°C) small quantities of pungent smelling vapors of aldehydes, amines and other nitrogenous decomposition products are also formed. Further safety information see safety data sheet of the individual product.

Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

Ultramid® A3WG6



Product Information ⁴⁾

Typical values for uncoloured product at 23 °C ¹⁾	Test method ²⁾	Unit	Values ³⁾
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA66-GF30
Density	ISO 1183	kg/m ³	1380
Viscosity number (0.5% in 96 % H ₂ O ₄)	ISO 307, 1157, 1628	cm ² /g	146
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	1.6 - 1.8
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	6.2 - 6.8
Processing			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	280
MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm ³ /10min	40
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	280 - 300
Mould temperature, injection moulding	-	°C	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained ⁴⁾	-	%	0.66
Moulding shrinkage (parallel)	ISO 2577, 294-4	%	0.40
Moulding shrinkage (normal)	ISO 2577, 294-4	%	1.08
Flammability			
UL 94 rating at 1,6 mm thickness	IEC 60695-11-10	class	HB
Automotive materials (Thickness >= 1mm)	FMVSS 302	-	+
Mechanical properties			
dry / oond.			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	10000 / 7200
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	190 / 130
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	3 / 6
Tensile creep modulus, 1000 h, strain <= 0.5%, 23°C	ISO 899-1	MPa	+ / 6300
Flexural modulus	ISO 178	MPa	8800 / 8600
Flexural strength	ISO 178	MPa	280 / 210
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	86 / 100
Charpy unnotched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	70 / -
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	13 / 22
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	10 / -
Izod notched impact strength (23°C)	ISO 180/A	kJ/m ²	11.6 / 16.6
Thermal properties			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	260
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	260
Max. service temperature (short cycle operation) ⁴⁾	-	°C	240
Temperature Index at 50% loss of tensile strength after 5000 h	IEC 216	°C	176
Temperature Index at 50% loss of tensile strength after 20000 h	IEC 216	°C	146
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	20 - 30
Coefficient of linear thermal expansion, transverse (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	80 - 70
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.36
Specific heat capacity	-	J/(kg K)	1600
Electrical properties			
dry / oond.			
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	3.6 / 6.8
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	140 / 3000
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13 / 1E10
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	+ / 1E10
Comparative tracking index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	460

Ocel 1.1730

C45U											
Ocel uhlíková pro práci za studena.											
Noremní označení		Podle EN ISO 4957 C45U			Podle EN 10027-2: 1992 1.1730			Podle ČSN 19 083			
Charakteristika		Ocel s dobrou obrobitelností a stejnoměrností vlastností									
Obvyklé použití		Ruční nástroje (kleště, šroubováky, kladiva, sekery, kovářské nářadí), polnohospodářské nářadí, části hospodářských strojů, pomocné části lisovacích nástrojů (upínací a základové desky).									
Chemické složení tavby v hmot. % podle EN ISO 4957		C	Si	Mn	P max.	S max.					
		0,42 – 0,50	0,15 – 0,40	0,60 – 0,80	0,030	0,030					
Mezní úchytky chemického rozboru výrobku od hodnot pro rozbor tavby v hmot. %		C	Si	Mn	P	S					
		= 0,03	= 0,03	= 0,04	+ 0,005	+0,005					
Doporučení pro zpracování		Žhánění		Kalení			Popouštění				
		Norm. žhánění	Žhánění na měkko		a_C	Prostředí	Tvrdost HRC ca	Tvrdost HRC po popouštění při teplotách °C (inf.)			
		a_C	a_C	Tvrdost HB max.				150	200	300	400
		1050 – 800 °C vzduch	840-860	680-710	190	voda olej	58 50	57 -	55 -	50 -	44 -
Vlastnosti		Zakalená vrstva při kalení do vody		Prokalitelnost při kalení do vody ca mm	Povrchová tvrdost po kalení do vody ca HRC	Prokalitelnost při kalení do oleje ca mm	Povrchová tvrdost po kalení v oleji ca HRC	Rozměrové změny po kalení	Odolnost proti opotřebení	Odolnost proti tlakovému namáhání	Hauževnatost
		pro rozměry ca mm	hloubka ca mm								
		20-100	3 - 5	15	58	5	50	větší	malá	menší	velká
Fyzikální vlastnosti											
Modul pružnosti při 20°C		Hustota		Měrná tepelná vodivost při 20°C		Střední měrné teplo při 20°C		Měrný elektrický odpor při 20°C			
10^3 N.mm^{-2}		kg.dm^{-3}		$\text{W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$		$\text{J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$		$\Omega.\text{mm}^2.\text{m}^{-1}$			
210		7,85		50		460		0,12			
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C											
100		200		300		400		500			
11,1		12,0		13,0		13,5		14,0			

Ocel 1.2343

X37CrMoV5-1												
Středně legovaná chrom-molybden-vanadová ocel pro práci za tepla.												
Noremní označení	Podle EN ISO 4957			Podle En 10027-2:1992			Podle ČSN					
	X37CrMoV5-1			1.2343			19 552					
Charakteristika	Ocel kalitelná v oleji a na vzduchu, vhodná pro nástroje chlazené vodou.											
Obvyklé použití	Velmi namáhané nástroje pro práci za tepla jako lisovací trny a matrice, nástroje na protlačování, nástroje pro výrobu šroubů a matic za tepla, nástroje pro tlakové lití, lisovací nářadí, vložky zápustek, nože pro stříhání za tepla.											
Chemické složení tavby v hmot. % podle DIN 17 350	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V					
	0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	1,10-1,50	-	0,30-0,50					
Mezní úchytky chemického rozboru výrobku od hodnot pro rozbor tavby v hmot. %	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V					
	± 0,02	± 0,05	± 0,04	± 0,10	± 0,05	-	± 0,04					
Doporučení pro zpracování	Tvárění za tepla Teplota °C	Žhánění na měkko		Kalení			Popouštění					
		Teplota °C	Tvrdość HB max.	Teplota °C	Prostředí	Tvrdość HRC ca	Tvrdość HRC po popouštění °C					Dopor. teplota
1100-900 1)	750-800	230	1000-1040	olej 2)	55 52 3)	400	500	550	600	650	560-650	
1) ochlazování v peci nebo suchém prostředí s tepelnou izolací;												
2) nebo teplá lázeň o teplotě 500 až 550°C a nebo vzduch.												
3) tvrdość při kalení na vzduchu												
Vlastnosti	Prokalitelnost při kalení do oleje	Rozměrové změny po kalení	Odolnost proti popouštění 1)	Pevnost za tepla 1)	Houževnatost za tepla 1)	Otěruvzdornost za tepla 1)	Obrobitelnost 2)					
	150 mm	velmi malé	velká	střední	velká	dobrá	velmi dobrá					
1) ve stavu zušlechťeném na běžnou pevnost; 2) ve stavu měkce žháném.												
Mechanické vlastnosti za tepla (informativní hodnoty)												
Pevnost po zušlechťení v MPa	Pevnost při teplotě °C v MPa				Mez 0,2 % při teplotě °C v MPa							
	400	500	600	650	400	500	600	650				
	1600	1300	1100	800	600	1100	900	600	400			
1200	1000	850	580	400	800	650	420	250				
Fyzikální vlastnosti												
Modul pružnosti při teplotě °C 10 ³ N.m ⁻²	Tepelná vodivost při teplotě °C W.m ⁻¹ .K ⁻¹			Měrný odpor při teplotě °C Ω.mm ² .m ⁻¹			Měrné teplo při teplotě °C J.kg ⁻¹ .K ⁻¹					
	20	500	600	20	500	600	20	500	600	20	500	600
215	175	165	25	28,5	29,0	0,50	0,85	0,95	460	550	595	
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10 ⁻⁶ m.m ⁻¹ .K ⁻¹)												
100	200	300	400	500	600	700						
11,5	12,0	12,2	12,5	12,8	13,0	13,2						
<p>Vlastnosti požadované při použití oceli na funkční části zařízení pro tlakové lití barevných kovů (formy a tlakové komory): vysoká pevnost za zvýšených teplot, odolnost proti popouštění, odolnost proti tvorbě trhlin z tepelné únavy, odolnost proti chemickému působení roztažených kovů, dobrá tepelná vodivost a nízký součinitel tepelné roztažnosti, dostatečná prokalitelnost, stálost rozměrů po kalení a popouštění, dobrá obrobitelnost a lešitelnost.</p> <p>Vedle chemického složení je pro splnění uvedených vlastností rozhodující velmi dobrá makro- a mikročistota oceli a specifický charakter struktury s jemně a rovnoměrně rozptýlenými speciálními karbidy. Požadované makro- a mikročistoty docílují někteří výrobci přetavováním oceli pod struskou. Tento proces společně s vhodným tepelným režimem ohřevu k tvárění a následným tepelným zpracováním přispívá k tvorbě optimální struktury hutních polotovarů. Hodnocení struktury bývá součástí celkového hodnocení jakosti oceli na činné části zařízení pro tlakové lití.</p>												