



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA SOUČÁSTI "KRYTKA"

PRODUCTION OF COMPONENTS 'COVER'

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ VÁCLAVEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Jiří Václavek

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

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

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

### **Výroba součásti "KRYTKA"**

v anglickém jazyce:

### **Production of components 'COVER'**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh vstříkovací formy pro součást "Krytka" osazené kontakty pro pájení cívky vinutí jako součást plošného spoje

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení technologičnosti výroby součásti
2. Literární studie
3. Návrh technologie výroby doložený potřebnými výpočty
4. Konstrukční řešení formy
5. Ekonomické zhodnocení a závěr

Seznam odborné literatury:

DILLINGER, Josef, et al. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Z něm. orig. Fachkunde Metall přeložil Jiří Handlíř. 55. vyd. Praha : Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986.

ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha : SEKURKON s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86604-36-7.

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi : praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009, ISBN 978-80-7300-250-3

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

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

V Brně, dne 22.11.2011

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

V diplomové práci je zpracována teorie technologie vstřikování plastů společně s postupem návrhu vstřikovacích forem. Dále je navržena technologie výroby vycházející z rozboru zadané součásti „krytka“, která je doložena potřebnými výpočty. Na základě těchto výpočtů je zvolen vstřikovací stroj, který vyhovuje požadavkům, jež jsou na něj kladeny. Pro zadanou součást je následně navržena vstřikovací forma. Pomocí programu Autodesk Inventor 2011 a jeho modulu Moldflow jsou provedeny pro tuto formu simulace vstřikování a výsledky jsou následně podrobně rozebrány. Na závěr je provedeno ekonomické hodnocení výroby zadané součásti.

### **Klíčová slova**

Vstřikovací forma, vstřikování, polyamid, plast, krytka.

## **ABSTRACT**

The theory of plastic injection molding technology together with procedure of designing injection molds is elaborated in this master thesis. Also, the technology of production is designed, derived from assigned component „cover“ analysis affirmed by necessary calculations. On the bases of these calculations, injection machine fitting requirements is chosen. Then injection mold is designed for the assigned component. Simulation of injection is performed for this mold using Autodesk Inventor 2011 and its module Moldflow and then results are thoroughly analyzed. Economical evaluation for this component is then executed towards the end of the thesis.

### **Key words**

Injection mold, injection, polyamid, plastic, cover.

### **Bibliografická citace**

VÁCLAVEK, Jiří. *Výroba součásti "KRYTKA"*. Brno, 2012. 67 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Výroba součásti "KRYTKA"** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25. 5. 2012

---

Datum

---

Bc. Jiří Václavek

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto svému vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování diplomové práce a všestrannou pomoc. Dále děkuji své rodině za podporu v průběhu celého studia.

# OBSAH

ÚVOD .....	10
1. KRYTKA CÍVKY .....	11
1.1. Základní informace .....	11
1.2. Materiál krytky .....	12
2. PLASTY .....	13
2.1. Rozdělení plastů .....	14
2.1.1. Termoplasty .....	14
2.1.2. Reaktoplasty .....	15
2.1.3. Kaučuky, pryže a elastomery .....	15
2.2. Technologie vstřikování plastů .....	16
2.3. Vstřikovací cyklus .....	16
2.3.1. Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku .....	18
2.4. Vady výstřiků .....	19
2.4.1. Studený spoj .....	19
2.4.2. Vzhledové vady .....	20
2.4.3. Tvarové a rozměrové vady .....	21
2.5. Vstřikovací stroje .....	22
2.5.1. Vstřikovací jednotka .....	22
2.5.2. Uzavírací jednotka .....	24
2.5.3. Energetické zdroje vstřikovacích strojů .....	25
2.5.4. Řízení a regulace .....	25
2.6. Speciální metody vstřikování .....	26
2.6.1. Vstřikování plastů s podporou plynu .....	26
2.6.2. Vstřikování plastů s podporou vody .....	27
2.6.3. Sendvičové vstřikování .....	28
2.6.4. Vícekomponentní vstřikování .....	29
3. VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	30
3.1. Zásady konstrukce forem .....	30
3.2. Postup při konstrukci forem .....	32
3.3. Vtokové systémy .....	35
3.3.1. Studený vtokový systém .....	35
3.3.2. Vyhřívané vtokové systémy .....	41
3.4. Vyhazování výstřiků .....	41

3.4.1.	Mechanické vyhazování .....	42
3.4.2.	Vzduchové vyhazování .....	43
3.4.3.	Vyhazovací síla .....	43
3.5.	Temperování forem .....	44
3.5.1.	Tepelná bilance formy.....	45
3.5.2.	Volba temperačních kanálů .....	45
3.5.3.	Řešení temperačních kanálů.....	47
3.5.4.	Temperační prostředky.....	48
3.6.	Odvzdušnění forem.....	49
4.	NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DOLOŽENÝ POTŘEBNÝMI VÝPOČTY .....	50
4.1.	Stanovení násobnosti vstřikovací formy.....	50
4.2.	Volba vstřikovacího stroje.....	51
5.	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ FORMY .....	53
5.1.	Dělicí rovina a ústí vtoku.....	53
5.2.	Vtokový systém .....	54
5.3.	Vyhazovací systém .....	56
5.4.	Vložka vtokového kanálu .....	57
5.5.	Temperace .....	58
5.6.	Odvzdušnění .....	58
5.7.	Sestava formy .....	59
6.	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	60
6.1.	Náklady na materiál.....	60
6.2.	Náklady na výrobu formy.....	60
6.3.	Náklady na mzdy .....	60
6.4.	Režijní náklady .....	60
6.5.	Náklady na provoz stroje.....	60
6.6.	Celkové náklady .....	61
6.7.	Náklady na jeden výrobek .....	61
6.8.	Zisk z výrobní série .....	61
	ZÁVĚR.....	62

## ÚVOD

Plastové výrobky se staly ve 21. století neodmyslitelnou součástí každodenního života lidí po celém světě. Moderní člověk je plastem doslova obklopen ze všech stran po celý den. Notebooky, mobilní telefony, automobily – všechny tyto výrobky obsahují plastové části.

Plastické hmoty našly uplatnění ve všech odvětvích současného průmyslu díky velké variabilitě vlastností, poměrně snadnému zpracování a nízké energetické náročnosti výroby. Mezi další přednosti materiálu založeného na bázi polymerů je snadná automatizovatelnost a vhodnost pro velkosériovou výrobu.

O progresivnosti tohoto materiálu do budoucna vypovídá i jeho spotřeba, která od 50. let minulého století roste téměř exponenciálně a v současné době objemem převyšuje produkci oceli.



Obr. 1 Příklady výrobků z plastu. [12], [13], [18], [26]

## 1. KRYTKA CÍVKY

Krytka usnadňuje montáž obvodů v plošných spojích. Do hotového výstřiku krytky je vkládáno vinutí cívky společně se čtyřmi pájkovými tyčinkami. Tyto tyčinky jsou po montáži z druhé strany desky plošného spoje roztaveny a dojde k vytvoření pájeného spoje mezi deskou a tyčinkami.

Plánovaná velikost série je 2 500 000 ks s termínem dodání 23 dní.

### 1.1. Základní informace

Krytka má kvádrovitý tvar skořepinového charakteru se čtvercovou základnou 14 x 14 mm (viz obr. 2). Po stranách má krytka dvě opěrky o šířce 5 mm a výšce 2 mm. Ve spodní straně krytky jsou v rozích čtvercové otvory 0,6 x 0,6 mm a hloubce 4 mm. Součást je snadno zaformovatelná.

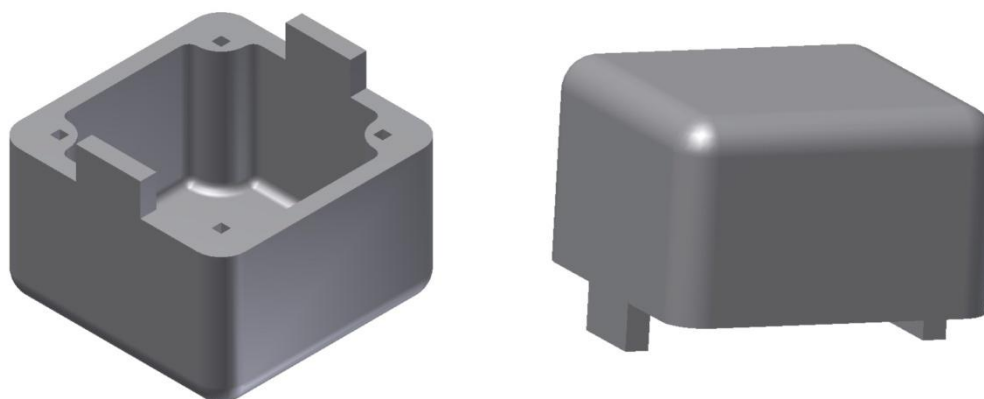
Jelikož součást plní pouze funkci ochrannou, nejsou kladeny žádné požadavky na přesnost a kvalitu povrchu. Technologie vstřikování je tedy vhodnou metodou a není třeba se obávat nedodržených tolerancí.

Vnitřní zaoblení má rádius 0,5 mm a vnější poté 1,5 mm, čímž je zachována tloušťka stěn 1 mm. Nebude tedy docházet ke vzniku vnitřního pnutí, popřípadě ke vzniku propadů, a materiál snadno zateče do všech míst.

Pomocí simulací bude nutné předběžně ověřit, zda nedojde ke vzniku problémů s tečením okolo kvádrovitých otvorů. Jelikož jsou otvory malé, nejsou tyto problémy předpokládány.

Objem krytky je dle programu Autodesk Inventor 2011 roven 0,6634 cm<sup>3</sup> a její hmotnost je tedy 0,89 g.

Výkres součásti je přiložen v příloze 1.



Obr. 2 Model krytky ve 3D.

## 1.2. Materiál krytky [2], [31]

Součást je vyrobena z termoplastického materiálu PA66-GF25 FR, který je chemickou společností BASF nabízen pod obchodním názvem Ultramid A3X2G5. Z označení je možné vyčíst základní informace o materiálu (viz tab. 1).

Tab. 1 Označení materiálu.

PA 66-GF25 FR	
PA	Polyamid
66	Počet uhlíkových atomů ve výchozím monomeru
GF25	Procento skleněných vláken (Glass fibre)
FR	Retardér hoření

Z informací je patrné, že materiál obsahuje skleněná vlákna, která zlepšují jeho mechanické vlastnosti (např. pevnost, rozměrovou stabilitu nebo odolnost vůči creepu za zvýšené teploty).

Jelikož je krytka užívána v elektrotechnickém průmyslu, základním požadavkem na materiál je jeho nehořlavost. Ta je zaručena přimícháním červeného fosforového retardéru, který působí samozhášivě.

Komposity, které jsou vyztuženy skelnými vlákny, vykazují určitě odchylky, které jsou dané samotnou výztuží a její orientací při vstřikování vzhledem k umístění vtoku, tvaru výstřiku a technologickým podmínkám.

Při vstřikování může dojít v průřezu stěny dílu k různé směrové orientaci, což může u slabších stěn vést k víceméně chaotickému rozložení vláken, a u slabých stěn pak k výrazné orientaci ve směru toku. Orientaci vláken odpovídá i anizotropie mechanických vlastností, včetně smrštění výstřiku. Ve směru toku tedy vykazují výstřiky znatelně lepší mechanické vlastnosti než ve směru kolmém.

Plasty vyztužené skelnými vlákny chladnou ve formě rychleji a tím ztrácejí tekutost, čímž dochází k většímu tření v tekoucí tavenině, což vede k větším tlakovým ztrátám.

Doporučené vnější minimální zaoblení hran a rohů je oproti běžným materiálům zvýšeno na  $R_{\min} = 1,5$  mm.

U polymerů vyztužených skelnými vlákny dochází k výraznému projevu anizotropie. Smrštění ve směru kolmém na tok taveniny bývá výrazně větší než ve směru toku taveniny.

Základní informace o vlastnostech materiálu při pokojové teplotě (23°C) jsou uvedeny v tabulce 2. Podrobné informace jsou uvedeny v materiálovém listu v příloze 2.

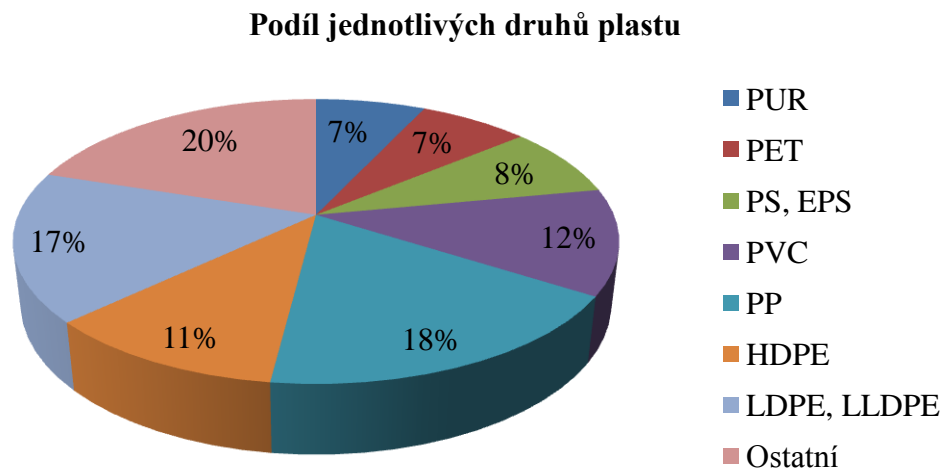
Tab. 2 Základní vlastnosti materiálu. [2]

Základní vlastnosti		
Hustota	1,34	g/cm <sup>3</sup>
Teplotní vlastnosti		
Teplota tavení	260	°C
Teplota vstřikování	280-300	°C
Teplota formy	60-90	°C
Tvarová stálost	250	°C
Mechanické vlastnosti		
Modul pružnosti v tahu	8000/6000	MPa

## 2. PLASTY [21], [23], [27]

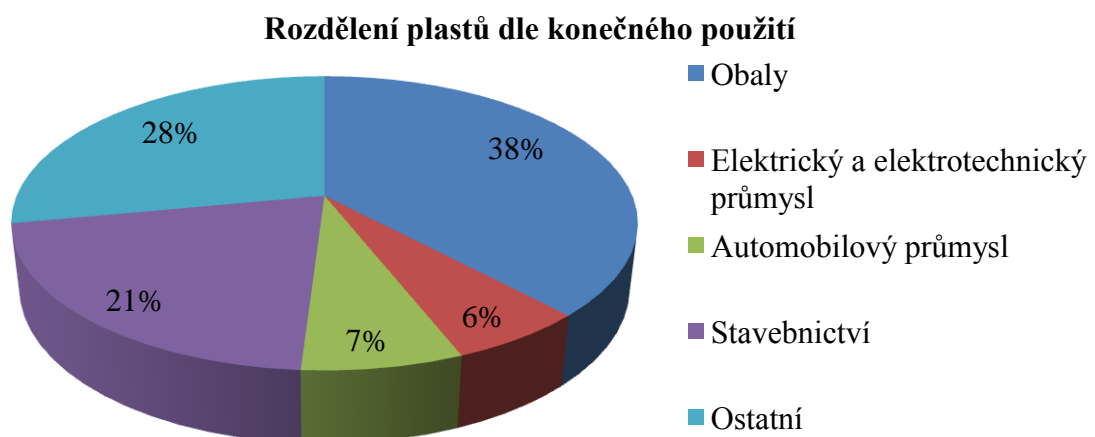
Na celém světě existuje v současné době několik tisíc druhů plastů, ovšem v technické praxi má uplatnění jen několik desítek druhů (viz obr. 3). Navíc jen pět druhů plastů představuje zhruba 75% z celkového objemu evropské produkce.

V roce 2008 bylo v Evropě zpracováno 48,5 milionů tun plastických hmot, z toho jen v Německu a Itálii kolem 40%. V České republice bylo zpracováno přes 1 milion tun toho materiálu, což ji řadí v porovnání s ostatními evropskými státy na 9. místo pomyslného produkčního žebříčku.



Obr. 3 Produkce plastů v Evropě v roce 2008. [27]

Nejvíce plastických hmot je použito na výrobu obalů a ve stavebnictví. V těchto dvou koncových odvětvích končí téměř 60% všech plastů (obr. 4). S výrazným odstupem jsou následovány automobilovým průmyslem (7%) a průmyslem elektrickým a elektrotechnickým (6%). Zbytek plastických hmot je využit například ve zdravotnictví nebo pro výrobu hraček.



Obr. 4 Rozdělení plastů dle konečného použití v roce 2008. [27]

Volbu materiálu ovlivňuje několik faktorů. Vedle vlastností a ceny hmoty je nutné vzít v úvahu i zpracovatelnost, která výrazně ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti konečného výrobku. Dále je nutné zohlednit technologické podmínky, konstrukční řešení nástroje a volbu stroje.

Vlastnosti a odolnost polymerů jsou v podstatě dány jejich chemickou a fyzikální strukturou. Ovšem do značné míry jsou ovlivněny i zpracovatelským procesem.

Na začátku procesu přípravy plastů jsou velmi jednoduché chemické reakce, které se mnohokrát opakují, a původní nízkomolekulární sloučenina monomer přechází ve vysokomolekulární látku zvanou polymer. Tyto chemické procesy lze souhrnně nazvat polyreakce a lze je rozdělit do tří základních skupin – polymerace, polykondenzace a polyadice.

Polymer je obecný termín pro chemickou látku, zatímco plast je název pro technický materiál. Plastem se polymer stává poté, co je smíchán s nezbytnými přísadami a je převeden do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování, nejčastěji do formy granulí (obr. 4), prášků a tablet.



Obr. 4 Plast ve formě granulí. [5], [30]

## 2.1. Rozdělení plastů [21], [23]

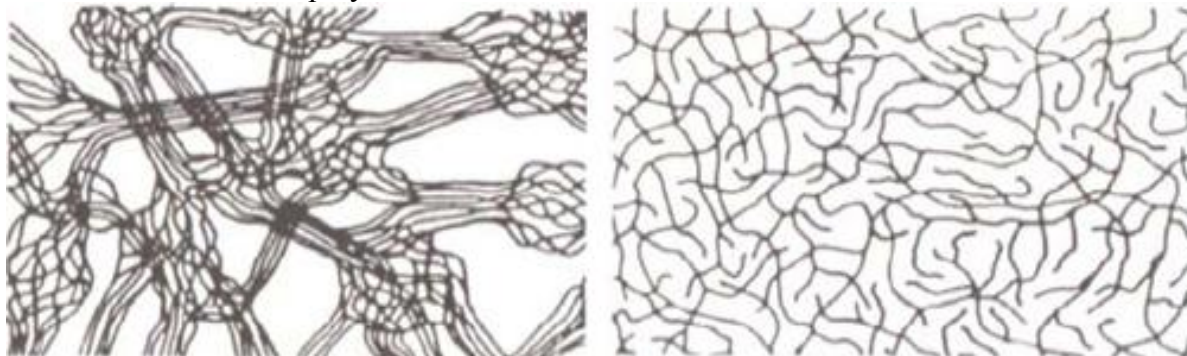
Plasty lze dělit podle různých hledisek, ať už dle jejich aplikace, nadmolekulární struktury, druhu přísad, polaritě, chemické struktury či původu. Ovšem nejzákladnějším ukazatelem při náhledu na druh plastu je jeho teplotní chování. Plasty lze tedy podle působení teploty dělit na termoplasty, reaktoplasty, kaučuky, pryže a elastomery.

### 2.1.1. Termoplasty [21], [23]

Tyto materiály při zahřívání přechází do plastického stavu, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Ochlazením pod teplotu tání  $T_m$  u semikrystalických plastů (obr. 5a), respektive pod teplotu viskózního toku  $T_f$  u amorfních plastů (obr. 5b), dochází k přechodu materiálu do tuhého stavu. Při zahřívání nedochází ke změně chemické struktury, v důsledku čehož je teoreticky možné opakovat proces měknutí a tuhnutí do nekonečna.

Mezi termoplasty lze zařadit většinu zpracovávaných hmot, jako je například polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) nebo polyamid (PA).

Sortiment termoplastů se neustále zvětšuje z důvodu výroby stále nových polymerů a také modifikací dosavadních polymerů.



a) semikrystalický termoplast

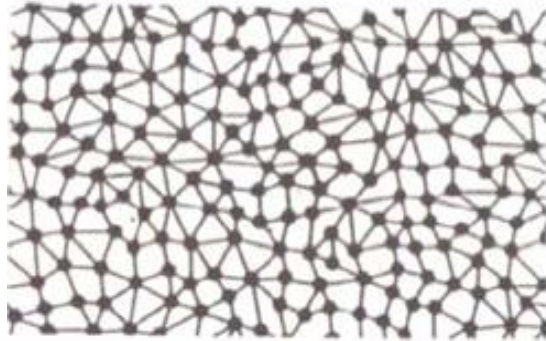
b) amorfní termoplast

Obr. 5 Nadmolekulární struktura termoplastů. [23]

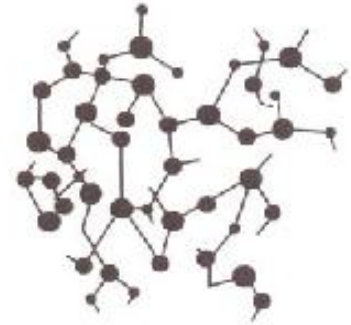
### 2.1.2. Reaktoplasty [21], [23]

Termosety, jak se reaktoplasty (obr. 6a) dříve nazývaly, také v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale pouze omezenou dobu. V průběhu dalšího zahřívání dochází k chemické reakci nazvané vytvrzování, během níž dochází k prostorovému zesíťování struktury materiálu (viz obr. 6b).

Do skupiny reaktoplastů lze zařadit například fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice a polyesterové hmoty.



a) Struktura reaktoplastů



b) Struktura vytvrzeného reaktoplastu

Obr. 6 Nadmolekulární struktura reaktoplastů.[23]

Termoplasty mají v porovnání s reaktoplasty vyšší rázovou houževnatost, vyšší pevnost v tahu, nižší tvarovou stálost za tepla, vyšší odolnost vůči creepu, nižší odolnost proti korozi za napětí a nižší rozměrovou a tvarovou stabilitu.

### 2.1.3. Kaučuky, pryže a elastomery [23]

Materiály ve skupině kaučuků, pryží a elastomerů rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ovšem jen po omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci nazvané vulkanizace – prostorové zesíťování struktury. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury a probíhá zde pouze fyzikální děj. Lze tedy teoreticky proces měknutí a následného tuhnutí opakovat bez omezení.

## 2.2. Technologie vstřikování plastů [23], [34]

Tato technologie patří k nejrozšířenějším a nejdůležitějším technologiím zpracování termoplastů. Vstřikovat lze jak výrobky s charakterem konečného produktu, tak i polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobek zhotovený vstřikováním se nazývá výstřik.

Proces vstřikování je diskontinuální, tedy přetržitý, a cyklický. Vstřikovací proces probíhá ve většině případů u moderních strojů plně automaticky a pracovní cykly jsou krátké, čímž je zaručena vysoká produktivita práce. Další předností vstřikovací technologie je vysoké využití zpracovávaného materiálu, které se často blíží 100%, čímž se splňují požadavky kladené na bezodpadovou technologii.

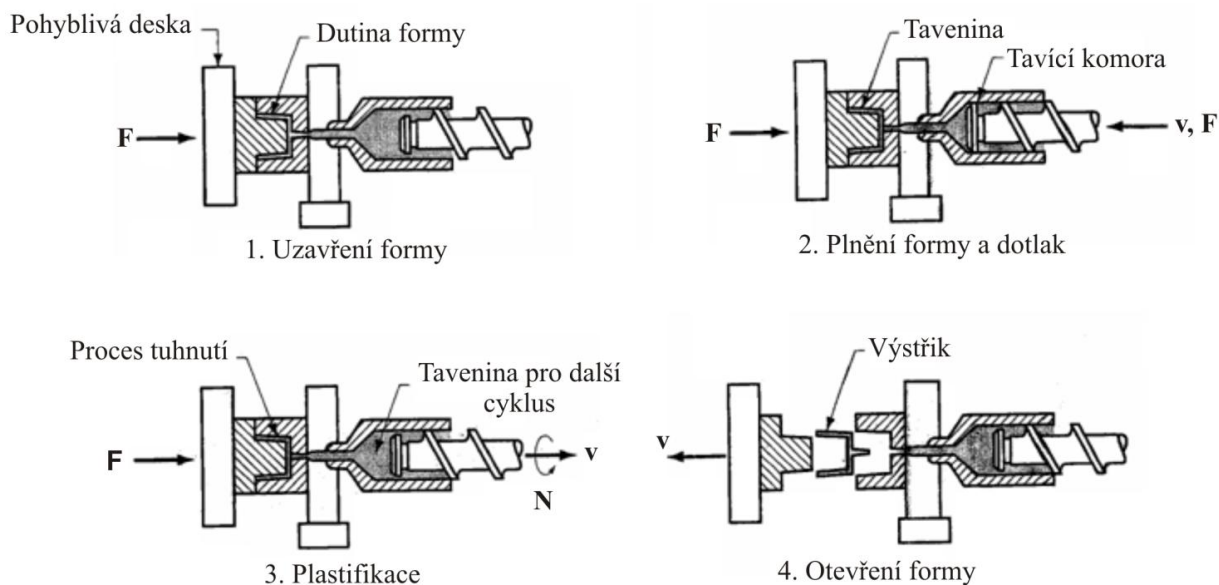
Vstřikováním lze vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou.

Nevýhodou této technologie je vysoká pořizovací cena strojního zařízení a vstřikovacích forem. Proto je vstřikování vhodné pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Vstřikovat lze téměř všechny druhy termoplastů a v omezené míře i některé reaktoplasty a kaučukové směsi.

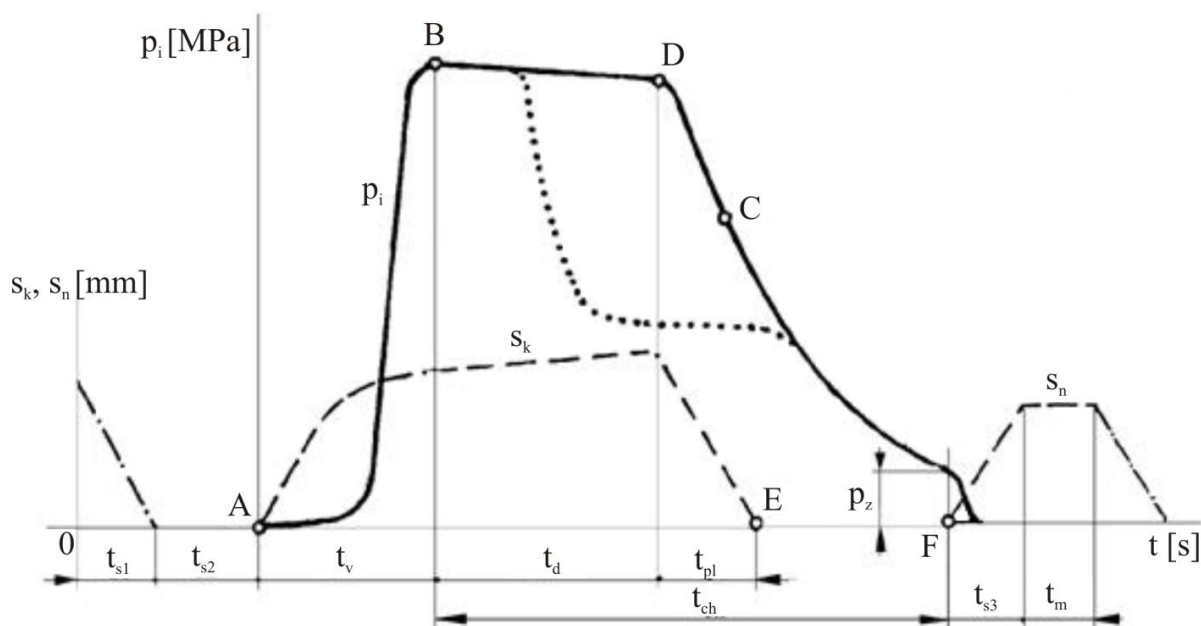
## 2.3. Vstřikovací cyklus [23], [34]

Vstřikovací cyklus (obr. 7) začíná nasypáním granulátu do násypky, z níž je postupně během pracovního procesu odebírán šnekem nebo pístem. Tato pracovní část stroje hmotu dopravuje do tavicí komory, kde plast vlivem tření a topení taje a vzniká tavenina. Ta je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela vyplní a zaujme její tvar. Aby došlo k co nejmenším smrštěním a změnám rozměrů, následuje fáze tlaková. Plast mezitím předává formě teplo a ochlazením ztuhne v konečný výstřik. Ten je po otevření formy vyhozen a celý cyklus se opakuje.



Obr. 7 Vstřikovací cyklus. [32]

Z hlediska zpracovávaného plastu lze vstřikovací cyklus popsat i jako závislost tlaku v dutině formy na čase. Tento tlak se označuje  $p_i$  a jedná se o tlak vnitřní (obr. 8). Vedle tohoto tlaku existuje i tlak vnější, který vyjadřuje tlak vztažený na jednotku plochy šneku a značí se písmenem  $p$ .



$s_k$  – pohyb šneku,  $s_n$  – pohyb nástroje

Obr. 8 Průběh vnitřního tlaku  $p_i$  v dutině formy během procesu vstřikování. [23]

Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu mají různou délku a jsou ovlivněny například geometrií výstřiku a technologickými podmínkami vstřikování. Cílem jsou co nejkratší časy, aby se zkrátila délka celého vstřikovacího procesu, a tím zvýšila produktivita výroby při zachování požadované kvality výstřiku.

- **Strojní doby**

Časy na zavření formy  $t_{s1}$  a otevření formy  $t_{s3}$  závisí na rychlosti pohybující se formy a na dráze, kterou musí forma urazit. Doba  $t_{s2}$  popisuje čas potřebný na uzamknutí formy uzavírací silou  $F_u$ .

Celkový čas se obvykle pohybuje v řádech sekund.

- **Doba vstřikování**

Doba plnění dutiny formy  $t_v$  je závislá na rychlosti pohybu šneku. Tato rychlost je závislá na technologických podmínkách – zejména na teplotě taveniny  $T_{tav}$  a na vstřikovacím tlaku  $p$ . Dále má vliv i teplota formy, objem výstřiku, jeho geometrický tvar, uspořádání vtokové soustavy a druh vstřikovaného plastu.

Vstřikování začíná v bodě A, kdy se do pohybu dává šnek v tavící komoře. Šnek v této fázi vykonává pouze pohyb axiální a plní funkci pístu. Tento děj končí v bodě B. Okamžitě po vstupu taveniny do dutiny formy dochází k předávání tepla a ochlazování.

- **Doba dotlaku**

Fáze dotlaku následuje po úplném naplnění tvarové dutiny formy a značí se  $t_d$ . V této části vstřikovacího procesu, která začíná v bodě B a končí v bodě D, dojde k prudkému nárůstu tlaku a náhlému poklesu rychlosti, čímž dojde ke stlačování vstříknuté hmoty.

Cílem této změny tlaku je zabránění vzniku tlakové špičky, zvětšení hmotnosti a rozměrů výstřiku a namáhání nástroje, které by mohlo vést až k pružnému prohnutí formy (tzv. dýchnutí).

Doba dotlaku závisí především na průřezu vtokového kanálku a trvá jednotky až desítky sekund.

- **Doba plastikace**

Během této části vstřikovacího cyklu, která se označuje  $t_{pl}$ , dochází k zplastikování dávky plastu a k jejímu rovnoměrnému zhomogenizování. Granulová hmota se nabírá pomocí šneku, který se otáčí, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Šnek se přitom pohybuje směrem dozadu a musí překonat protitlak.

Velikost plastifikované dávky musí být dostatečně velká, aby zabezpečila naplnění tvarové dutiny formy a vtokového systému. Zároveň musí kompenzovat změnu objemu vyvolanou smrštěním.

Materiál je roztaven pomocí tepla, které je z jedné třetiny dodáváno z elektrického odporového topení a ze dvou třetin z tření hmoty při hnětení.

- **Doba chlazení**

Proces chlazení začíná v bodě B a probíhá až do otevření formy. Tento časový úsek se označuje  $t_{ch}$  a představuje největší část celého vstřikovacího cyklu. Pohybuje se od několika sekund až do několika málo minut.

Během chladnutí dochází ke smrštění hmoty a zmenšení jejího objemu. Aby nedošlo ke vzniku staženin, je nutné zmenšování objemu vykompenzovat dodatečným dotlačováním menšího množství taveniny do dutiny formy.

- **Doba manipulace**

Je-li výstřik z formy vyjímán manipulátorem, je potřeba přičíst k pracovnímu cyklu ještě čas  $t_m$ . Tento čas se přičítá i v případě vkládání kovových záložek, očištění formy apod.

### 2.3.1. Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku [23]

O kvalitě výstřiku a jeho mechanických a fyzikálních vlastnostech rozhoduje druh použitého plastu, technologické parametry, konstrukce formy a volba stroje. Platí, že jednotlivé parametry se ovlivňují navzájem.

Z hlediska volby druhu plastu má na vlastnosti výstřiku vliv:

- rychlost plastikace polymeru,
- tekutost plastu,
- dostatečná tepelná stabilita plastu v rozsahu zpracovatelských teplot,
- uvolňování těkavých látek,
- velikost vnitřního pnutí,
- smrštění plastu.

Vliv na vlastnosti výstřiku z hlediska technologických parametrů:

- vstřikovací tlak,
- teplota taveniny,
- teplota formy,
- rychlost plnění dutiny formy,
- velikost a doba trvání dotlaku.

## 2.4. Vady výstříků [25], [38]

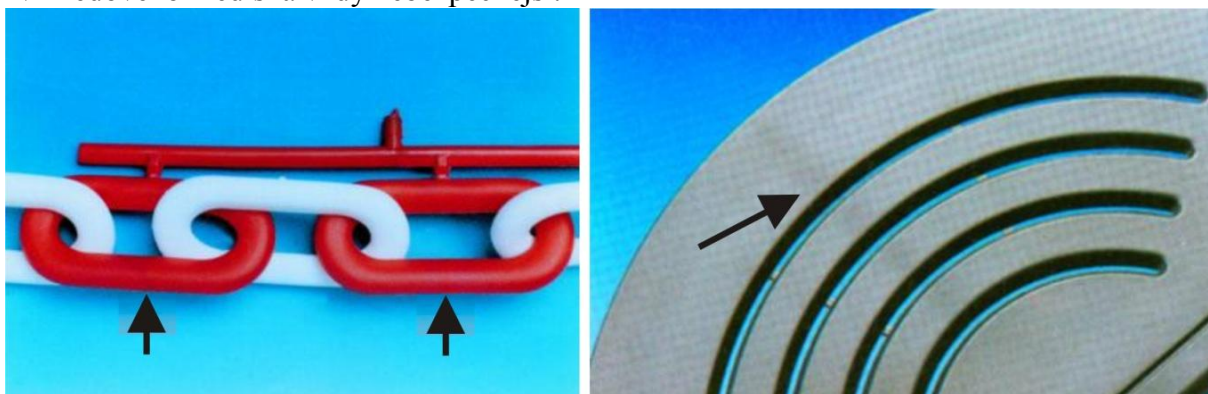
Za vady výstříků lze označit všechny defekty, kterými se výstřík liší vzhledem, rozměry, tvarem a vlastnostmi od standardu, který je specifikován výkresem, referenčním vzorkem nebo schválenými přejímacími podmínkami.

Vady mohou být způsobeny vadou zpracovávaného plastu, nevhodnou konstrukcí výstříku, vstřikovacím strojem, formou a zvolenými technologickými podmínkami.

Vady výstříků lze rozdělit na vady zjevné a vady skryté. Vad zjevných je možno si všimnout pouhou vizuální kontrolou hotového dílce, popřípadě jeho porovnáním s referenčním kusem. Naproti tomu vady skryté nelze odhalit běžnou vizuální kontrolou, ovlivňují však negativně vlastnosti výstříku, a proto jsou z aplikačního hlediska nebezpečné.

### 2.4.1. Studený spoj [25], [38]

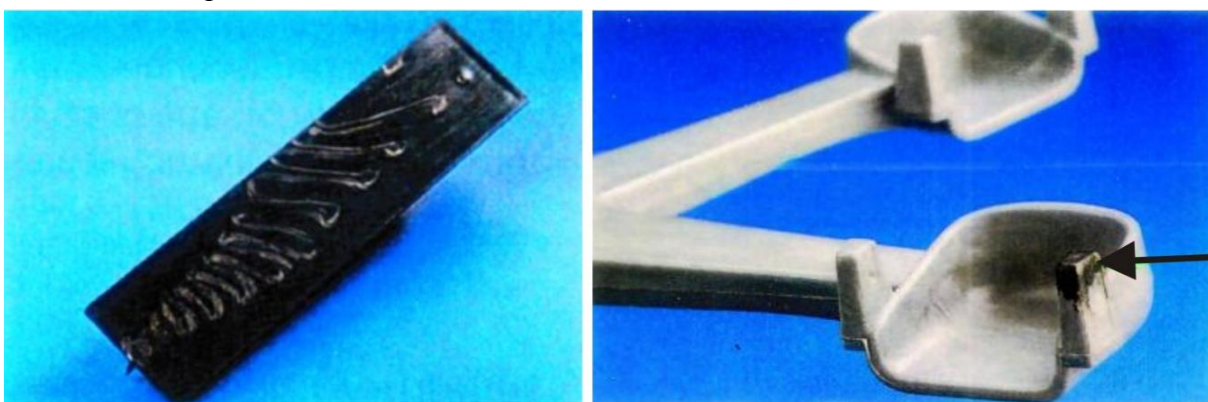
Jedna z nejzávažnějších vad výstříků se nazývá studený spoj (obr. 9), který způsobuje jak pevnostní zeslabení výstříku, tak se zároveň projevuje jako vada vzhledová. Vznikají vždy, když se hlavní proud taveniny vyplňující tvarovou dutinu formy rozdělí tvarovými prvky, například jádry, na dva nebo více toků a znovu se spojí buď čelně (primární studený spoj), nebo bočně či tangenciálně (sekundární studený spoj). Primární studený spoj je z pevnostního i vzhledového hlediska vždy nebezpečnější.



Obr. 9 Studený spoj. [25]

Při nevhodné konstrukci a umístění vtoku mohou vzniknout **stopy po volném proudu taveniny** (obr. 10a). Jedná se o kombinaci vzhledové spojené s menším pevnostním zeslabením výstříku v důsledku sekundárního studeného spoje.

Při nedostatečném odvzdušnění a vyšší vstřikovací rychlosti může vzniknout studený spoj, který je nazývaný **dieseľekt** (obr. 10b). Dochází k místní degradaci až spálení materiálu v důsledku komprese vzduchu.



a) stopy po volném proudu taveniny,

b) dieseľekt.

Obr. 10 Studený spoj. [25]

Vznik studených spojů lze eliminovat posunutím vtokového ústí, změnou profilu vtokové soustavy, použitím kaskádového vstřikování u objemných vstříků nebo zvýšením teploty taveniny a formy (popřípadě jen její určité části).

### 2.4.2. Vzhledové vady [25], [38]

Hodnota plastových výrobků se předně odvozuje od jejich vzhledu a estetického provedení, ať už se jedná o domácí spotřebiče nebo o díly do motorových vozidel. Přísné požadavky na vzhled a kvalitu povrchu vyžadují nastavit takové podmínky vstřikování, aby se eliminovala možnost vzniku vad, které znehodnocují plastový vstřík.

Vzhledové vady (obr. 11) většinou výrazněji neovlivňují mechanické vlastnosti plastových dílů.

Mezi nejběžnější vady povrchu patří:

- šmouhy, šlíry, nehomogenita probarvení,
- tmavé body na povrchu vstříku,
- stopy po vlhkosti,
- stopy po uzavření vzduchu nebo plyných produktech (bublinky),
- rozdíly v lesku u leštěných povrchů a nepravidelnosti na strukturovaném povrchu,
- stříbření, opalescence, napěťové trhlinky,
- studené tokové linie (proudnice), tokové čáry,
- vzhled gramofonové desky, pomerančové kůry, jemně rýhovaný povrch.

1. Šmouhy na vstříku v okolí vtoku



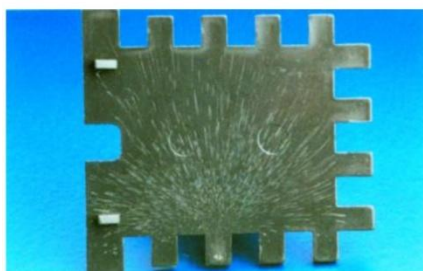
2. Tmavé body (znečištěný materiál)



3. Tmavé fleky (degradace materiálu)



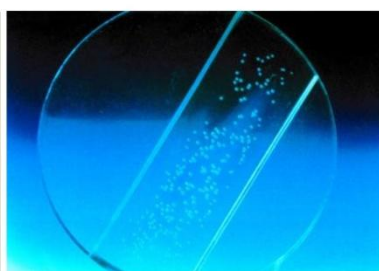
4. Vlhký materiál



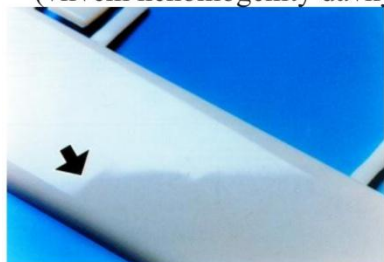
5. Stopy po uzavřeném vzduchu



6. Drobné bublinky



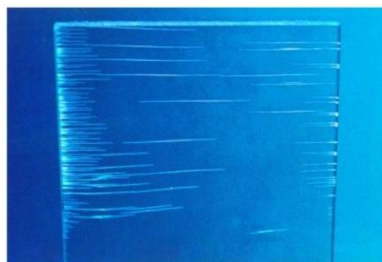
7. Rozdíl v lesku (vlivem nehomogenity dávky)



8. Kruhové tokové linie



9. Napěťové trhlinky



Obr. 11 Vzhledové vady vstříku. [25]

### 2.4.3. Tvarové a rozměrové vady [25], [38]

Pod pojmem vady tvaru rozumíme takové vady, u kterých tvar a rozměry dílu neodpovídají výkresu součásti či referenčnímu vzorku.

Vady tvaru nebo rozměru (obr. 12) jsou při vstřikování plastů velmi závažným problémem u dílů, které jsou především technicky zaměřeny (například díly pro automobilový průmysl).

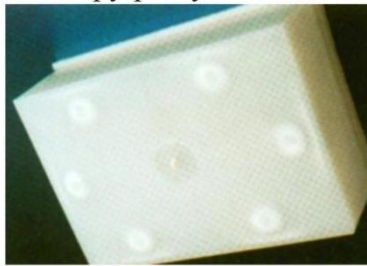
Mezi nejčastější vady tvarů a rozměrů patří:

- přestříky, přetoky, otřepy,
- neúplné výstřiky,
- propadliny, staženiny, zvlněný povrch,
- stopy po vyhazovači,
- deformace výstřiku při vyhození z formy,
- delaminace povrchu, stopy po studené tavenině,
- nedodržení rozměrů a předepsaných tolerancí.

1. Přetok



2. Stopy po vyhazovači



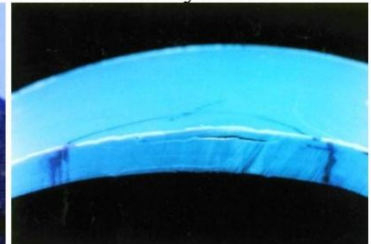
3. Nedostřík



4. Propadliny



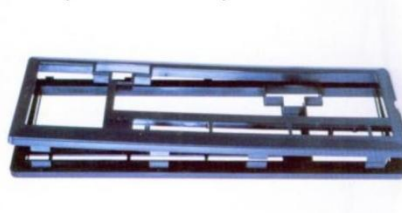
5. Vrstvení výstřiku



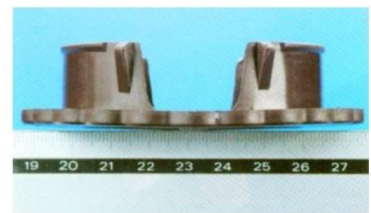
6. Delaminace



7. Průhyb vlivem vyhazovačů



8. Průhyb vlivem anizotropie



Obr. 12 Tvarové a rozměrové vady. [25], [38]

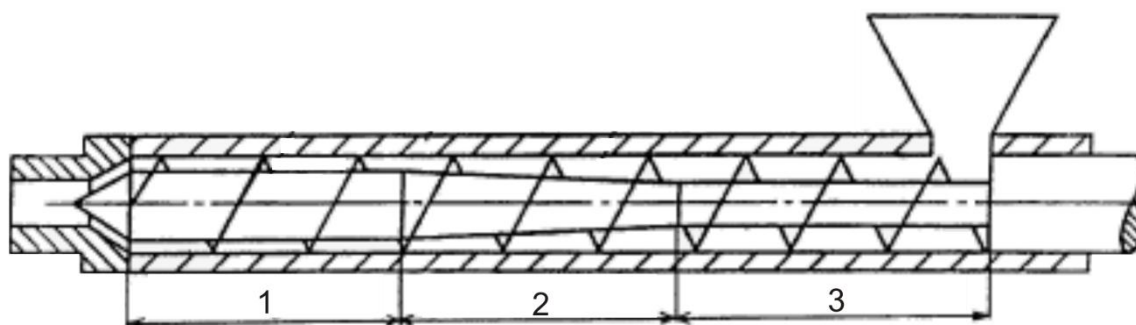


V současné době se nejčastěji používá šnek diferenciální. Tento druh šneku je definován kompresním poměrem, který se pohybuje v rozmezí od 1,5 do 4,5. Kompresní poměr vyjadřuje poměr objemu drážky šneku pro jedno stoupání závitů pod násypkou k objemu drážky v části šneku u trysky. Tohoto poměru se dosahuje buď změnou úhlu stoupání závitů, což se však vzhledem k složitosti výroby příliš nepoužívá, nebo změnou průměru jádra šneku (změnou hloubky drážky), kdy je úhel stoupání konstantní.

Na šneku je možné rozlišit tři různá funkční pásma (obr. 14). Nejširší drážka šneku (šnekový kanál) se nachází pod násypkou a její hloubka je konstantní. V tomto místě je tedy průměr šneku nejmenší. Ve vstupním pásmu, jak se tato část vstříkovací jednotky nazývá, dochází především ke stlačování zpracovávaného materiálu, čímž dochází k vytěsnění vzduchu z prostoru mezi jednotlivými granulami. Zároveň je materiál ohříván, čímž dochází na konci tohoto pásma k jeho tání.

Druhé pásmo se nazývá pásmo kompresní (přechodové), protože v něm dochází ke značnému stlačování materiálu, které je zapříčiněné zvětšováním průměru šneku a zároveň zmenšováním hloubky drážky šneku. V této části dochází k nejintenzivnějšímu tání granulátu. Vzniklá tavenina ovšem není teplotně homogenní.

K homogenizaci dochází v posledním pásmu u trysky. Toto pásmo se označuje třemi názvy – hnětací, homogenizační nebo výstupní. V této třetí funkční části šneku je opět hloubka drážky šneku po celé délce konstantní, ale je menší než ve vstupním pásmu. Právě poměr těchto hloubek kanálu ve vstupním a výstupním pásmu určuje kompresní poměr. Z výstupní části je dopravován zhomogenizovaný materiál do prostoru před šnekem, odkud je následně vstříknut do dutiny formy.



1 – výstupní pásmo, 2 – kompresní pásmo, 3 – vstupní pásmo.

Obr. 14 Schéma funkčních částí šneku. [34]

Z konstrukčního hlediska je u šneku důležitý údaj o jeho délce  $L$  a průměru  $D$ , přičemž délka šneku se uvádí v násobcích průměru. Délka vyjadřuje tzv. účinnou část šneku, což je vzdálenost od konce šneku před tryskou k ose hrdla násypky. Poměr  $L/D$  je přímo úměrný dávkovací a plastifikační schopnosti šneku. Ovšem existují některá konstrukční omezení, protože u příliš velkého poměru  $L/D$  může dojít k ohybu šneku, který může vést až k vydírání pouzdra v tavicí komoře. Dalším rizikem může být tak velký vývin přídavného tepla třením, že dojde k degradaci vstříkovaného materiálu.

U vstříkovacích strojů na termoplasty se délka pohybuje v intervalu od 15 do 20  $D$ . V závislosti na průměru  $D$  se volí například i úhel stoupání šroubovice.

- Tavicí komora

Pro účely vytápění je obvykle tavicí komora rozdělena do tří zón samostatně vytápěných a se samostatnou regulací teploty. Nejnižší teplota se nastavuje v pásmu pod násypkou, aby nedošlo k předčasnému natavení a následnému spečení granulátu, čímž by mohla vzniknout zátka v drážce šneku, která by zamezila přísunu dalšího materiálu do kompresní části šneku. Vznikne-li v tavicí komoře zátka, je nutné komoru rozebrat a šnek vyčistit. Této závadě se

předchází chlazením části tavicí komory, která přiléhá k násypce. Nejvyšší teplota se poté nastavuje v pásmu u trysky.

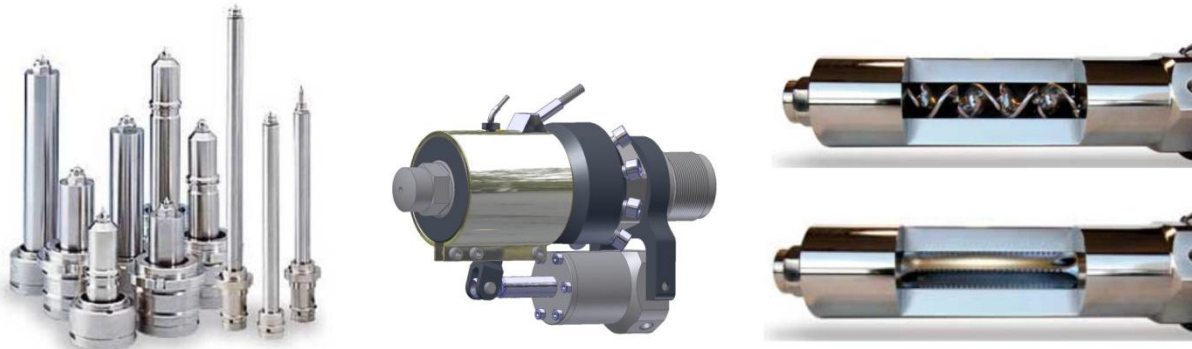
- Vstříkovací tryska

Tavicí komora je zakončena vstříkovací tryskou (obr. 15), pomocí níž je tavenina přiváděna do vtokových kanálů ve formě. Tryska tedy zajišťuje spojení mezi tavicí komorou a formou a u většiny strojů je samostatně vyhřívána a regulována.

Správná konstrukce trysky a formy zajišťuje, že nedojde k úniku taveniny. Tryska musí správně zapadnout do sedla ve formě, což je zajištěno sousostí otvorů v trysce i ve vtokové vložce formy, poloměr kulové plochy trysky musí být menší než poloměr kulového sedla ve vtokové vložce a průměr otvoru ve vložce musí být větší než průměr otvoru v trysce.

Na trysku působí velké tlaky, proto je nutné, aby byla vyrobena z tvrdé oceli, popřípadě byla použita speciální konstrukce dosedací plochy.

U vysoce viskózních materiálů se používají vstříkovací trysky otevřené, které mají otvor o průměru 3 až 8 mm. Dále je možné použít trysky uzavíratelné, u nichž se otvor při plnění formy otevře a tavenina může proudit do formy. Po odsunutí tavicí komory se tryska uzavře a tím se zabrání vytékání roztaveného materiálu z komory.

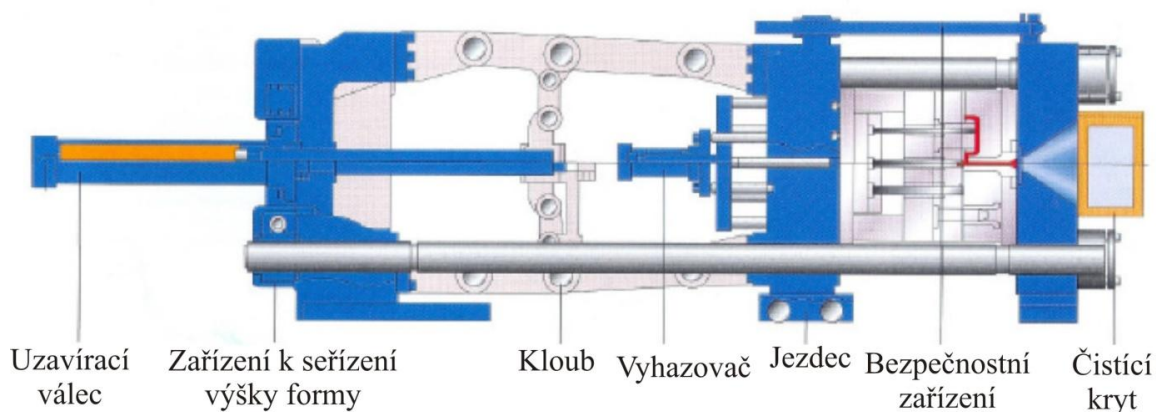


Obr. 15 Rozmanitost konstrukce vstříkovacích trysek. [11], [24], [36]

### 2.5.2. Uzavírací jednotka [23], [34]

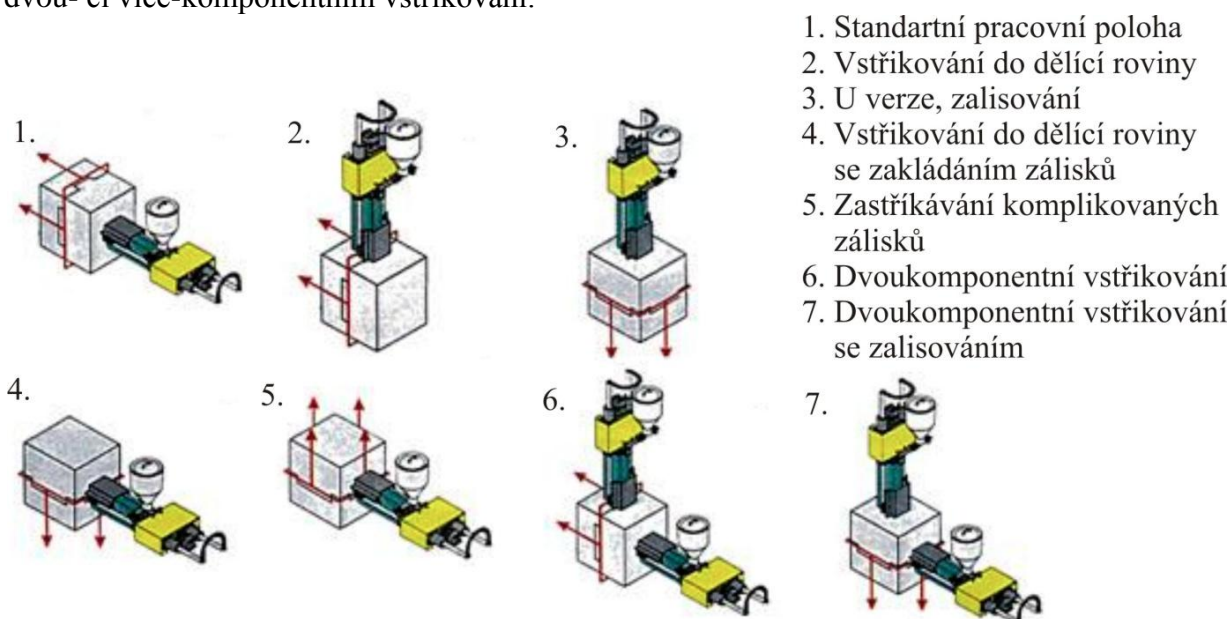
Funkcí této části vstříkovacího stroje je zavírání a otevírání formy a zajištění uzavření formy takovou silou, aby nedošlo během vstříknutí taveniny vlivem tlaku k pootevření formy. Během činnosti uzavírací jednotky je nutné rozlišit sílu přisouvací  $F_p$ , která je vynaložená na vlastní pohyb formy, a sílu uzavírací  $F_u$ , která působí na formu v uzamknutém stavu. Uzavírací síla musí být větší než síla vyvolaná tlakem taveniny na tzv. projekční plochu výstřiku a vtokové soustavy do dělicí roviny formy, čímž bude zajištěno uzavření formy a nedojde ke vzniku přetoků.

V praxi se používá několik druhů uzavíracích systémů, např. hydraulické uzávěry, kloubové uzávěry (obr. 16) a kombinované uzávěry.



Obr. 16 Uzavírací jednotka. [23]

Vstřikovací a uzavírací jednotky mají vůči sobě určitou polohu. Nejčastěji se u vstřikovacích strojů užívá horizontální poloha vstřikovací i uzavírací jednotky, tedy vstřikování kolmo na dělicí rovinu formy. V některých případech je ovšem nutné použít jinou vzájemnou polohu (obr. 17). Tyto případy mohou nastat například při zakládání zálisků nebo dvou- či více-komponentním vstřikování.



1. Standartní pracovní poloha
2. Vstřikování do dělicí roviny
3. U verze, zalisování
4. Vstřikování do dělicí roviny se zakládáním zálisků
5. Zastříkávání komplikovaných zálisků
6. Dvoukomponentní vstřikování
7. Dvoukomponentní vstřikování se zalisováním

Obr. 17 Vzájemná poloha vstřikovací a uzavírací jednotky. [23]

### 2.5.3. Energetické zdroje vstřikovacích strojů [23], [34]

Pohyblivé části vstřikovací a uzavírací jednotky uvádí do pohybu elektromotor. Tohoto pohybu se dosahuje buď přímo nebo přes mechanické převody, popřípadě přes čerpadlo kapaliny, kdy je k vyvození sil použita tlaková kapalina. V dnešní době slouží jako hydraulická kapalina olej, jenž má dobré mechanické vlastnosti a chrání části stroje před korozí. Zdrojem tlaku v hydraulickém obvodu jsou čerpadla. Mezi čerpadlo a hydraulický válec se zařazují zásobníky tlakové kapaliny – akumulátory, které zabezpečují plynulou dodávku hydraulického média i plynulý chod stroje bez pulsací.

K ohřevu termoplastů se používá především elektrické odporové topení. Pomocí topných pásů se vyhřívá tavicí komora, případně i tryska.

### 2.5.4. Řízení a regulace [23], [34]

Pomocí této jednotky lze nastavit, snímat a sledovat strojní a technologické parametry a následně je regulovat v případě, že odchylka překročí přípustnou toleranci. Mezi strojní parametry lze zařadit teploty jednotlivých zón tavicí komory, teplotu formy, tlak hydraulické kapaliny při vstřikování a při dotlaku, jednotlivé časové úseky pracovního cyklu, vstřikovací rychlost, rychlost zavírání a otevírání formy a další. Mezi parametry technologické, které se týkají stavu plastu, patří teplota taveniny v komoře nebo dutině formy, tlak hmoty v komoře a ve formě, viskozita taveniny, doba plnění, doba chlazení a rychlost proudění ve formě.

Pojmem řízení vstřikovacího procesu se rozumí ruční nebo automatické nastavení strojních parametrů bez zpětného hlášení o skutečných hodnotách strojních a technologických veličin. Na rozdíl od regulace procesu, kdy dochází ke zpětnému hlášení skutečných hodnot strojních nebo technologických veličin. V případě, že u těchto hodnot dochází k větší odchylce vůči hodnotám nastaveným, než jakou povoluje tolerance, dojde k jejich automatické korekci. Cílem je, aby vstřikovací proces probíhal automaticky – bez zásahu člověka.

## 2.6. Speciální metody vstřikování

Vedle klasické technologie vstřikování plastů existuje i mnoho dalších způsobů vstřikování. Liší se např. v parametrech procesu nebo v konstrukci nástroje. Tyto metody mají řadu výhod, na druhou stranu jsou technologicky náročnější a tedy i nákladnější.

### 2.6.1. Vstřikování plastů s podporou plynu [19], [23], [34]

Technologie vstřikování s plynem (obr. 18), neboli gas injection technology (GIT), se využívá u vstřikování termoplastů s dutinami. Tyto dutiny jsou tvořeny pomocí přivedeného plynu, kterým je většinou čistý dusík (minimálně 99,8%) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30 MPa.

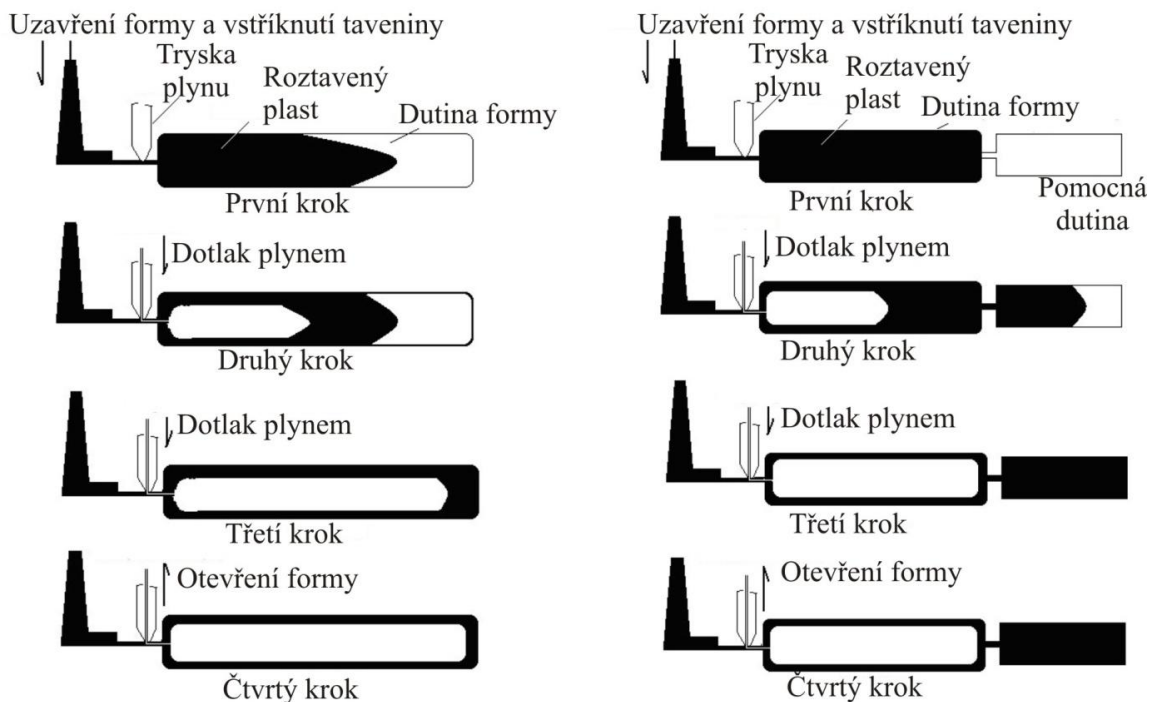
Výhodou této technologie je např. snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, zkrácení délky vstřikovacího cyklu (až o 50%), nízká deformace ploch výstřiků. Dochází také k redukci hmotnosti výstřiku až o 50%. Všechny tyto přednosti této vstřikovací technologie vedou ke snížení výrobních nákladů o 30 až 50%. Zároveň lze vstřikovat většinu plastů, např. PE, PP, PS, ABS, PA nebo i plněné termoplasty.

Nevýhodou technologie GIT je vyšší pořizovací cena nástroje a stroje, problematické chlazení v místech kanálů a náročnější řízení procesu.

Průběh procesu vstřikování je podobný jako u klasické technologie vstřikování – uzavření formy, vstřik, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výstřiku. Funkci dotlaku ovšem v tomto případě přebírá tlak plynu. Pomocí konstrukce tvaru se kontroluje pohyb plynu, žebra a rozdílná tloušťka stěn slouží k vedení plynu.

Technologii vstřikování s podporou plynu lze rozdělit na dvě techniky dle způsobu tvorby dutiny. První je tzv. krátký vstřik (dofukovací způsob), kdy je dutina formy naplněna jen částečně a následně je tlakem plynu zcela vytvarována dutina formy. Problémem je zde správná volba objemu dávky tavenin plastu, která se pohybuje od 50 do 90 procent dutiny formy. Nevýhodou je, že s narůstající vzdáleností dráhy plynu klesá tloušťka stěny.

Druhý způsob je tzv. dlouhý vstřik (vyfukovací způsob), při kterém je plyn vstříknut do dutiny formy až poté, co je plastem zcela vyplněna dutina formy. Tavenina je vytlačována buď zpět před čelo šneku, nebo do pomocné dutiny. U této techniky nedochází k takovému zúžení stěn a jejich tloušťka je rovnoměrnější.



Vlevo – krátký vstřik, vpravo – dlouhý vstřik.

Obr. 18 Technologie vstřikování s podporou plynu. [19]

Při vstřikování technologií GIT je důležité, aby byl nejdříve vstříknut plast a až poté plyn. V případě současného vstřikování plynu a taveniny plastu by se dostal plyn na povrch výstřiku.

Vlivem rozdílné viskozity taveniny a vstřikovaného plynu dochází k vytváření zcela jiného typu proudění, než je klasické proudění taveniny plastu. Plyn musí být přiveden do specifického místa v přesně stanovený okamžik, kdy ještě vlivem chladnutí nestačil plast ztuhnout, popřípadě do místa, kde není tavenina plastu v nečinnosti. Tyto skutečnosti kladou vysoké nároky na konstrukci forem.

Z počátku je plyn přiváděn za nižšího tlaku, aby nedošlo ke vzniku povrchových vad. V okamžiku, kdy je dutina formy zcela naplněna, se tlak plynu zvýší za účelem přesného dotvarování dílu.

Plyn může být přiváděn dvěma způsoby, a to buď tryskou, nebo injektorem s průměrem jehly 3 až 5 mm (obr. 19).



Obr. 19 Injektor pro přívod plynu. [15]

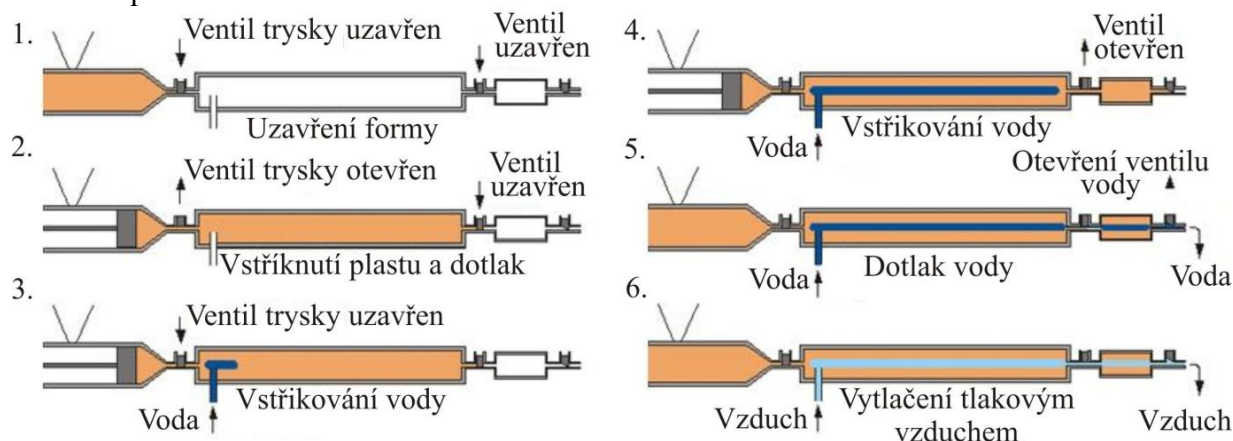
### 2.6.2. Vstřikování plastů s podporou vody [23], [34], [35], [38]

Pro vstřikování dutých těles se vedle vstřikování s podporou plynu využívá i technologie, kdy je plyn nahrazen vodou. Vstřikování s podporou vody se zkracuje jako WIT (z anglického water injection technology) a technologické principy této metody jsou obdobné jako u metody GIT.

Je nutné, aby se vstřikování vody provedlo tak, aby se voda neodpařovala. Teplotu vody je tedy nutné volit podle druhu vstřikovaného plastu, aby nedošlo k poškození povrchu výstřiku.

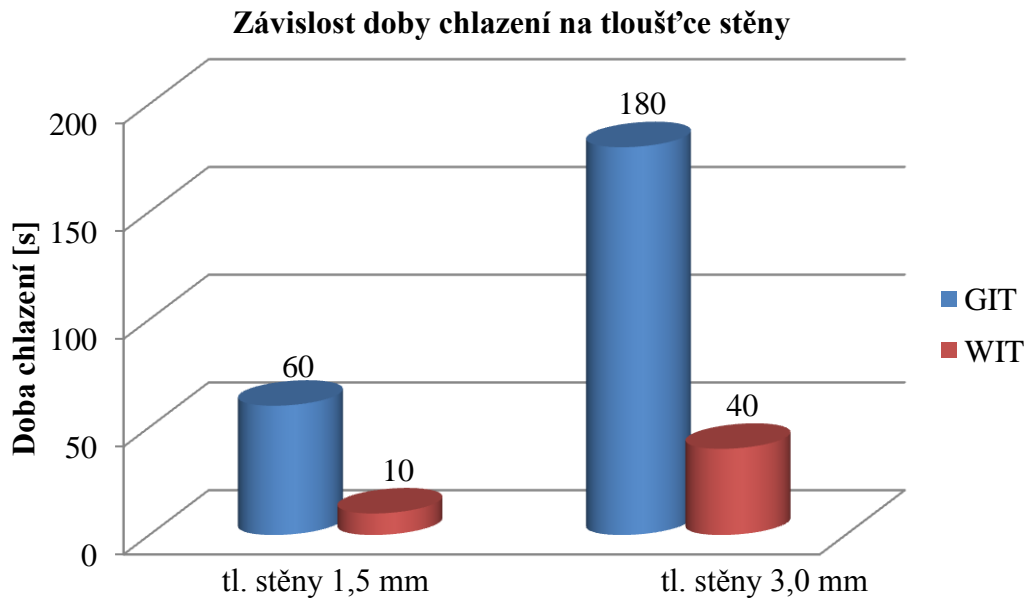
Čelo vody působí na plastické jádro jako vtačovaný píst. Na čele se v oblasti přechodu vody na taveninu vytvoří tenká plastová membrána, která tento účinek podporuje.

Vstříknutou vodu lze nakonec z dílce dostat třemi způsoby, a to buď vytlačení tlakovým vzduchem (obr. 20), odsátím zpět, anebo se vylévá mimo formu a následně je přes zásobník vrácena zpět do oběhu.



Obr. 20 Vstřikování plastů s podporou vody. [35]

Oproti technologii vstřikování plastů s podporou plynů se při použití této metody zkrátí doba chlazení (obr. 21). Důvodem je větší chladicí účinek vody oproti plynu. Doba chlazení i doba celého cyklu se zkrátí zhruba na 10 až 20% doby u klasické technologie vstřikování. Kapalina má i příznivý vliv na povrch vnitřních stěn výrobků, jelikož je vyhlazuje. Celkově jsou výhody metod GIT i WIT v podstatě srovnatelné.

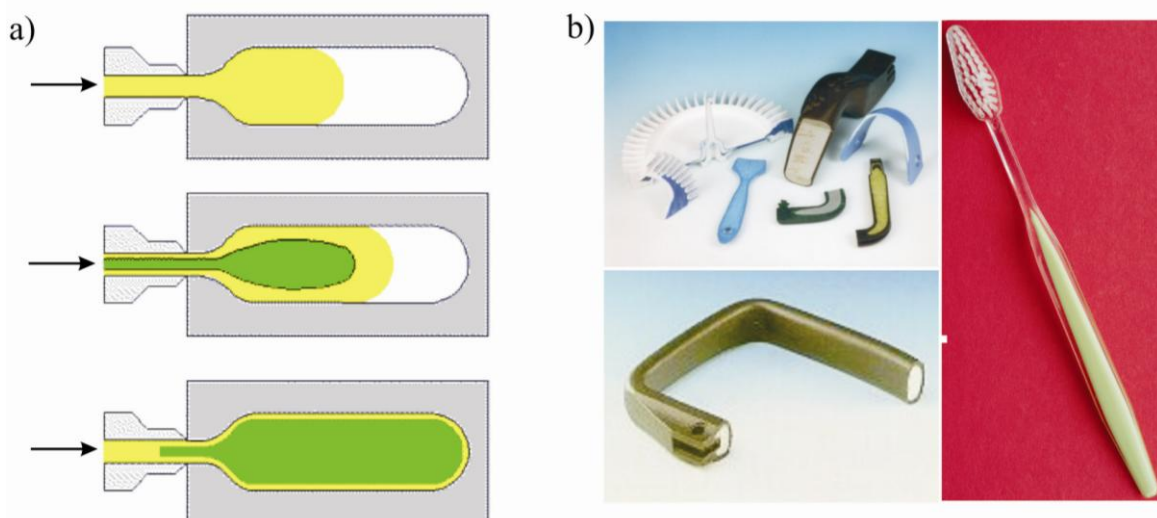


Obr. 21 Porovnání doby chlazení u WIT a GIT. [38]

### 2.6.3. Sendvičové vstřikování [23], [34]

Podstatou sendvičového vstřikování je postupné plnění jedné tvarové dutiny formy dvěma samostatnými vstřikovacími jednotkami. Vnější stěny jsou poté z jednoho materiálu a představují slupku, zatímco vnitřek dílu se skládá z druhého materiálu, které tvoří jádro.

Průběh vstřikování lze rozdělit do tří fází (obr. 22). V první fázi dochází ke vstříknutí povrchové vrstvy výstřiku. Dokud je materiál ještě v plastickém stavu, je z druhé vstřikovací jednotky vstříknut materiál, který bude tvořit jádro výstřiku. Ten je vstřikován do doby, než je zcela zaplněna dutina formy. Třetí fáze se ve vstřikovacím procesu nevyskytuje vždy. Dochází při ní opět ke vstříknutí malého množství prvního materiálu, čímž se povrch výstřiku uzavře a má pak všude stejný vzhled a vlastnosti.



a) průběh sendvičového vstřikování, b) příklad zhotovených výstřiků.

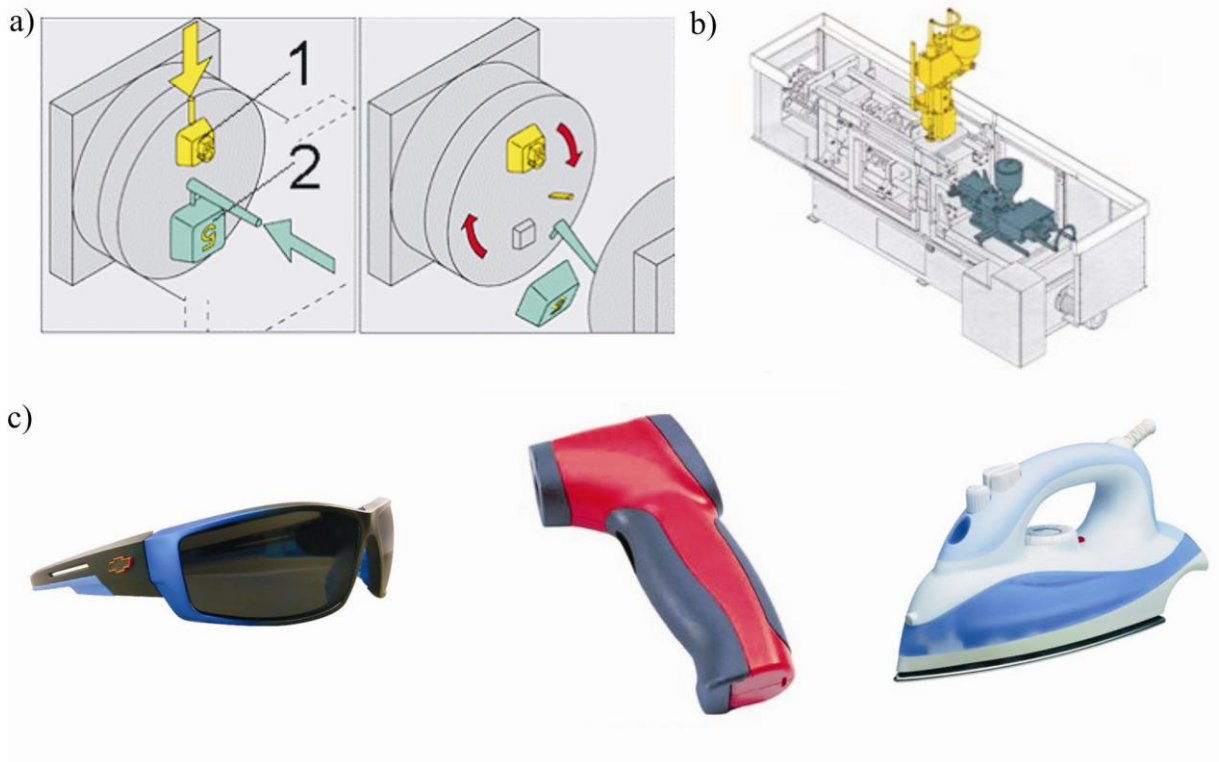
Obr. 22 Sendvičové vstřikování. [3], [4], [14], [28]

#### 2.6.4. Vícekomponentní vstřikování [23], [34]

Pomocí technologie vícekomponentního vstřikování lze na jednom výstřiku kombinovat dva a více materiálů nebo dvě a více barev jednoho druhu plastu.

Vícekomponentní vstřikování se liší od klasického vstřikování pouze tím, že místo jedné vstřikovací jednotky jsou ke vstřikovací formě připojeny dvě, tři nebo i čtyři.

Nejrozšířenější a zároveň nejjednodušší variantou je vstřikování dvoukomponentní (obr. 23). Napřed je nastříknut první materiál, následně je výrobek přemístěn do druhé pozice, kde se vstřikuje druhý materiál a dochází ke spojení dílů. Obdobně funguje i tří- či čtyřkomponentní vstřikování.



- a) Průběh dvoukomponentního vstřikování,
- b) příklad řešení vstřikovacího stroje pro dvoukomponentní vstřikování,
- c) výstřiky vyrobené vícekomponentním vstřikováním.

Obr. 23 Vícekomponentní vstřikování. [31], [23], [6], [33], [16]

### 3. VSTŘIKOVACÍ FORMY [23], [34], [31]

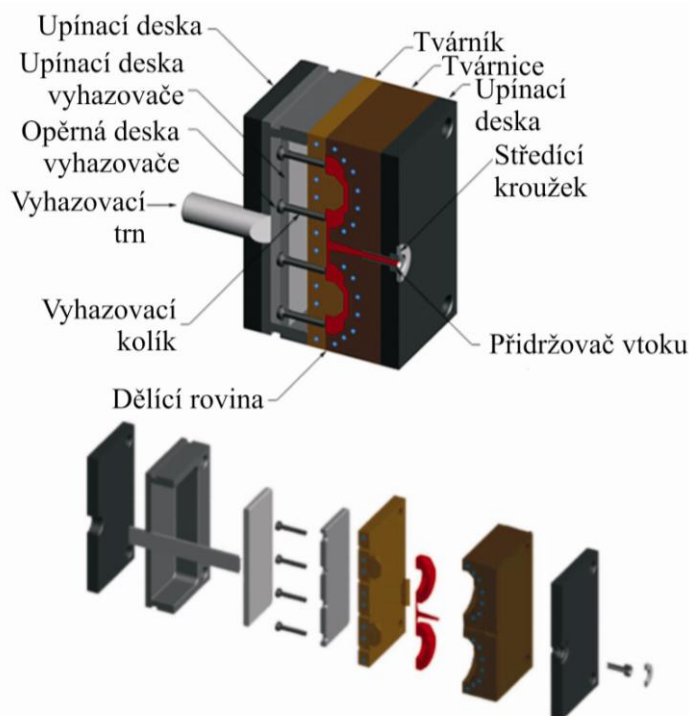
Vstřikovací forma (obr. 24) je nástroj upevněný na vstřikovací stroj, který je v průběhu procesu plněn roztaveným plastem. Vzhledem k charakteru technologie vstřikování musí formy odolávat vysokým tlakům, dále je požadována přesnost rozměrů zhotovených výstřiků, možnost jejich snadného vyjmutí a schopnost formy pracovat automaticky po celou dobu své životnosti.

Konstrukce forem je náročná jak na potřebné znalosti během jejich návrhu, tak i na finanční náklady spojené s následnou výrobou.

Volbu materiálu forem ovlivňuje několik faktorů, např. druh zpracovávaného plastu, velikost výrobku a jeho složitost, velikost série, tepelná odolnost a odolnost proti opotřebení a korozi, v neposlední řadě i cena. Pro zvýšení životnosti forem se tvarové části nástroje tepelně zpracovávají.

Vstřikovací formy lze rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové čelistové, vytáčecí apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a formy se vstřikem do dělicí roviny.



Obr. 24 Vstřikovací forma. [7]

#### 3.1. Zásady konstrukce forem [34], [31]

Během navrhování formy je nutné, aby se konstruktér držel určitých postupů a zásad. Konstrukční návrh plastového výrobku se řídí úplně jinými zásadami než návrh součástí kovových. Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a vlastností, které by se neměly překročit, jinak vzniknou při výrobě problémy.

##### • Výkres součástí

Nejprve je potřeba posoudit výkres součástí, zda je vůbec možné tento výrobek vstřikováním zhotovit. Především tedy zda lze součást vhodně zaformovat, včetně určení dělicí roviny. Na ní navazuje celá koncepce formy s vhodným vtokovým systémem, vyhazovacím systémem, temperací a odvodušněním formy atd.

- **Násobnost formy**

Stanovení optimální násobnosti formy ovlivňuje několik činitelů – charakter a přesnost výstřiku, velikosti a kapacity vstřikovacího stroje, požadované množství a termín dodávky a v neposlední řadě i ekonomika výroby.

Velkorozměrné a tvarově náročné výstřiky představují složitou výrobu formy, a proto se většinou vyrábějí ve formách jednonásobných. Rovněž z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost formy byla co nejnižší.

Násobnost forem také podstatně ovlivňují technické parametry vstřikovacího stroje. Ty musí mít dostatečnou rezervu, s kterou formu plní. Rezerva objemu taveniny a uzavírací síly by se měla pohybovat zhruba kolem 20%.

Vliv vstřikovacího stroje na násobnost formy lze vyjádřit několika vztahy.

- Vliv vstřikovací kapacity na násobnost:

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot Q_v}{V+v} [-], \quad (3.1)$$

kde:  $Q_v$  [cm<sup>3</sup>] – maximální zdvihový objem,  
 $v$  [cm<sup>3</sup>] – objem hmotového zbytku,  
 $V$  [cm<sup>3</sup>] – objem výstřiku.

- Vliv plastifikačního výkonu na násobnost:

$$n_2 = \frac{Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{(V+v) \cdot 3600 \cdot \rho} [-], \quad (3.2)$$

kde:  $Q_p$  [kg.hod<sup>-1</sup>] – plastifikační výkon stroje,  
 $t_c$  [s] – celková doba cyklu,  
 $\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>] – hustota plastu.

- Vliv velikosti uzavírací síly na násobnost:

$$n_3 = \frac{0,8 \cdot F_u}{S \cdot p_v} [-], \quad (3.3)$$

kde:  $F_u$  [MN] – uzavírací síla stroje,  
 $S$  [m<sup>2</sup>] – průmět plochy dutiny a kanálů do dělicí roviny,  
 $p_v$  [MPa] – vstřikovací tlak.

Vliv požadovaného množství výstřiků v závislosti na termínu dodání a vliv ekonomického hlediska výroby na násobnost formy lze rovněž vyjádřit pomocí vzorců.

- Vliv termínu dodání na násobnost:

$$n_4 = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K_c \cdot 3600} [-], \quad (3.4)$$

kde:  $N$  [ks] – požadovaná produkce,  
 $T_p$  [hod] – požadovaný termín dodání,  
 $K_c$  [-] – koeficient využití času (0,7 ÷ 0,9).

- Vliv ekonomického hlediska na násobnost:

$$n_5 = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N_c}{3600 \cdot K_f}} [-], \quad (3.5)$$

kde:  $K_p$  [Kč] – provozní náklady formy,  
 $K_f$  [%] – míra amortizace formy,  
 $N_c$  [ks] – životnost formy.

Jednotlivé násobnosti je nutné mezi sebou porovnat. Je nutné, aby platilo  $n_2 \leq n_1$ , jinak by mohlo dojít k degradaci plastu vlivem malého odběru taveniny. Vhodná násobnost je pak nejnižší hodnota ze vztahů  $n_1 \div n_3$ . V případě, že je tato nejnižší hodnota větší než násobnost  $n_4$ , je nutné zvolit jiný vstřikovací stroj. Násobnost  $n_5$  pouze celou úvahu upřesňuje.

- **Vstřikovací stroj**

Aby bylo dosaženo správné kvality výstřiků, je nutné správně zvolit vstřikovací stroj pro navrženou formu. Tento stroj musí mít dostatečnou vstřikovací kapacitu, vyhovující uzavírací a vstřikovací tlak a vhodnou koncepci.

Potřebné množství taveniny je menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při zvoleném vstřikovacím tlaku. Tato hodnota se nemá překročit, protože během výroby je nutná rezerva pro doplnění plastu, který ubývá vlivem smrštění (dotlak).

Dostatečná uzavírací síly se zjistí pomocí kontrolního výpočtu. Velikost průmětu plochy výstřiku a vtokových kanálů v dělicí rovině formy se vynásobí velikostí vstřikovacího tlaku. Výsledná hodnota musí být nižší, než je velikost uzavírací síly stroje.

Mimo technologické parametry musí vstřikovací stroj splňovat také konstrukční požadavky formy. Její velikost a koncepce vyžaduje stroj s vyhovující světlostí mezi sloupky, s dostatečnými rozměry upínacích ploch na pevné a pohyblivé upínací desce, vhodné rozmístění upínacích otvorů pro šrouby a vhodnou velikost otvorů a dosedací trysky stroje.

Dále pak dostatečné otevření a uzavření vstřikovacího stroje v závislosti na výšce formy. Musí platit:

$$L_{smin} > L_F \text{ a zároveň } L_{smax} \geq L_F + 2 L_F,$$

kde:  $L_{smin}$  [mm] – minimální otevření vstřikovacího stroje,  
 $L_{smax}$  [mm] – maximální otevření vstřikovacího stroje,  
 $L_F$  [mm] – výška formy,  
 $L_V$  [mm] – výška výstřiku.

Pokud nejsou všechny podmínky potřebné k zajištění výroby splněny, je nutné zvolit jiný vstřikovací stroj, případně upravit vstřikovací formu dle určeného stroje.

### **3.2. Postup při konstrukci forem [34], [31]**

Výkres vyráběného výstřiku, násobnost formy a stanovený vstřikovací stroj, společně s konstrukčním návrhem a doplňujícími údaji, jsou podklady pro konstruktéra forem, který na jejich základě navrhne vstřikovací formu. Konstruktér se během návrhu drží určitého postupu.

- **Zaformování výstřiku**

Nejprve je nutné posoudit výkres součásti z hlediska tvaru, rozměrů a vhodného zaformování s ohledem na umístění vtoků a způsobů vyhazování. Správně zaformovaný výstřik umožní dodržení tvaru, rozměrů a dobrou funkci celé formy.

Vhodné určení dělicí roviny ovlivňuje funkce výstřiku, vzhled, směr a velikost potřebných úkosů tvaru. Cílem je, aby dělicí rovina byla pravidelná, snadno vyrobitelná a probíhala v hranách výstřiku. Stopa po dělicí rovině by neměla narušovat funkci výstřiku a zároveň by neměla snižovat estetickou úroveň výrobku.

- **Rozměry funkčních tvarů**

Následně je nutné stanovit rozměry tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Konstruktér musí brát ohled na výrobní tolerance, opotřebení dutin a smrštění, jenž svou velikostí značně ovlivňuje konstrukci formy. Přesné stanovení hodnoty smrštění je obtížné, a proto jsou pro běžné rozměry výstřiků používány tabulkové hodnoty. U přesných výstřiků se dimenzují rozměry dutin tak, aby je bylo možné v nutném případě snadno opravit. Tvárnice se v těchto případech zhotoví menší a tvárník větší. Volba velikosti výrobní tolerance dutiny formy se obvykle pohybuje kolem 20% ze smrštění.

Opotřebení dutin není příliš velké, proto se uvažuje jen v případě přesných výstřiků vyráběných ve větších sériích.

- **Funkční mechanismy formy**

V této části návrhu vstřikovací formy je potřeba zvolit koncepci vyhazovacího a temperančního systému a také způsobu odvodu vzdušného. S ohledem na technologické podmínky při vstřikování konstruktér navrhne a dimenzuje rám formy, včetně volby materiálu. Následně je zvoleno vhodné vystředění a upnutí formy na vstřikovací stroj, vše s ohledem na bezpečnost práce a možnou manipulaci. V neposlední řadě je nutná i kontrola funkčních parametrů formy s ohledem na určený vstřikovací stroj.

Celá koncepce a konstrukce formy musí nejen zohledňovat požadavek na správné funkce v podmínkách výroby, ale musí brát v potaz i ekonomické hledisko a požadovaný termín zhotovení. Konstrukci formy ovlivní i nestandardní požadavky, jako například typizovaný rám formy, vyhřívaná tryska, popřípadě robotizace během vstřikování.

- **Stanovení rozměrů funkční dutiny**

Dutinu formy tvoří po svém uzavření jednotlivé díly tvárnice a tvárníku. Tato dutina má výrobním výkresem určenou jakost povrchu a rozměrovou přesnost, která se pohybuje v rozmezí IT6 až IT12. Některé chybně stanovené rozměry lze napravit změnou technologických parametrů vstřikování, jindy je ovšem nutná nákladná korekce rozměrů formy.

Přesnost rozměrů vyráběných výstřiků je stanovena především podle jejich funkce. Zohledněny jsou i specifické vlastnosti plastu a způsob výroby výstřiků. S rostoucí přesností roste přímo úměrně i konečná cena jednotlivých výrobků, takže je důležité míru přesnosti zvážit.

Funkční dutina formy je zvětšena především o smrštění plastu. Podle technologie výroby se s ohledem na toleranci výstřiku stanoví velikost výrobní tolerance. U velkých výrobních sérií se bere v potaz i přídavek na opotřebení. Tepelná roztažnost se bere v úvahu jen u rozměrných výstřiků vyráběných za vysokých teplot ve formách, které jsou vyrobeny z materiálu s velkou tepelnou roztažností.

- **Drsnost povrchu dutiny**

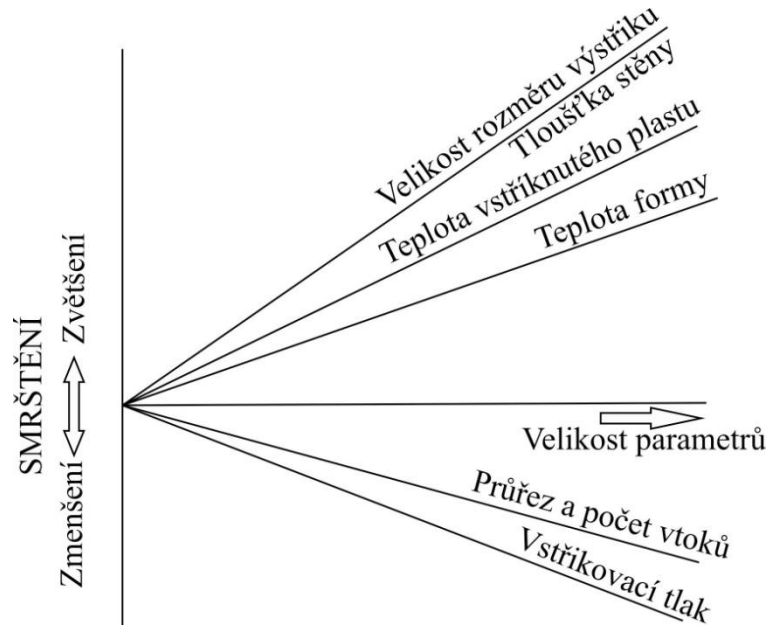
Vzhled výstřiku ovlivňuje i zhotovená jakost povrchu dutiny vstřikovací formy. Vysoké požadavky na jakost povrchu ovlivňují její funkci a zároveň zvyšují náročnost výroby, což se promítá do výsledné ceny formy. Funkční plochy formy lze rozdělit na tři základní typy – matné, lesklé a dezénové (viz tab. 3).

Tab. 3 Drsnost povrchu u obráběných dutin a forem. [34]

Drsnost Ra	Obrobená a požadovaná jakost ploch
0,05	Nejpřesnější tvárnice a tvárníky, opracování na vysoký lesk
0,1	Tvárnice a tvárníky s opracováním na běžný lesk
0,2	Tvárnice a tvárníky s dokonalým povrchem
0,4	Tvárnice a tvárníky s matným povrchem, opracování dosedacích ploch
0,8	Opracování tvárnic a tvárníků u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	Opracování tvárnic a tvárníků méně náročných forem a dosedacích ploch

- **Smrštění výstřiku**

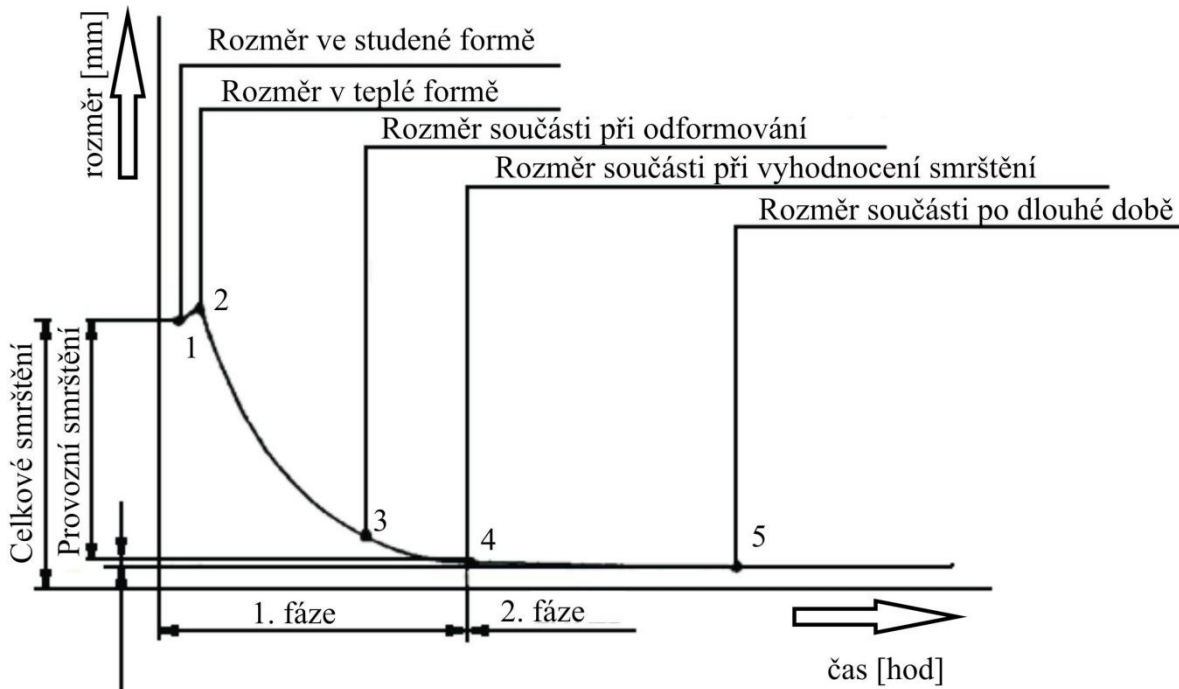
Smrštění je udáváno v procentech a je dáno rozdílem rozměrů zhotovené dutiny formy a docíleného rozměru výstřiku. Údaje o smrštění, které jsou k dispozici z materiálových listů výrobců polymerních materiálů, jsou pouze informativní. Velikost smrštění je ovlivněna vlastnostmi plastů, tvarem výstřiku, technologií vstřikování a vstřikovací formou (viz obr. 25).



Obr. 25 Vliv jednotlivých činitelů na velikost smrštění. [34]

Velikost smrštění se u výstřiku může v jednotlivých směrech lišit.

Lze rozlišit dvě fáze smrštění (obr. 26). V první fázi, která trvá 24 hodin po výrobě, se výstřik smrští zhruba o 90%. Toto smrštění se nazývá provozní. Druhá fáze je výrazně delší a její délka se liší v závislosti na druhu polymeru.



Obr. 26 Průběh smršťování výstřiku. [34]

### **3.3. Vtokové systémy [34], [31], [23], [38], [40]**

Úkolem vtokových systémů je vedení proudu taveniny od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Ta má být naplněna termicky homogenní taveninou v co nejkratším možném čase a s minimálními odpory.

Složité tepelně-hydraulické poměry provází průtok taveniny vtokovým systémem. Tvar, rozměry vtoku a umístění ústí do dutiny ovlivňuje:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku,
- spotřebu plastu,
- náročnost začištění vtoku na výstřiku,
- energetickou náročnost výroby.

Na celkové uspořádání vtokového systému má zásadní vliv konstrukce formy a její násobnost. Výchozím předpokladem pro volbu vtokového systému je vstřikování taveniny velkou rychlostí do relativně studené formy, kterou musí bezpečně naplnit.

Lze rozlišit dva druhy vtokového systému. Prvním je studený vtokový systém, který je vhodný pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu. Horký vtokový systém se využívá pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu. Na výběr vtokového systému má vliv charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby a požadavek zákazníka.

Druh a umístění vtoku má u vstřikování termoplastů vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod.

#### **3.3.1. Studený vtokový systém [34], [31], [23], [38], [40]**

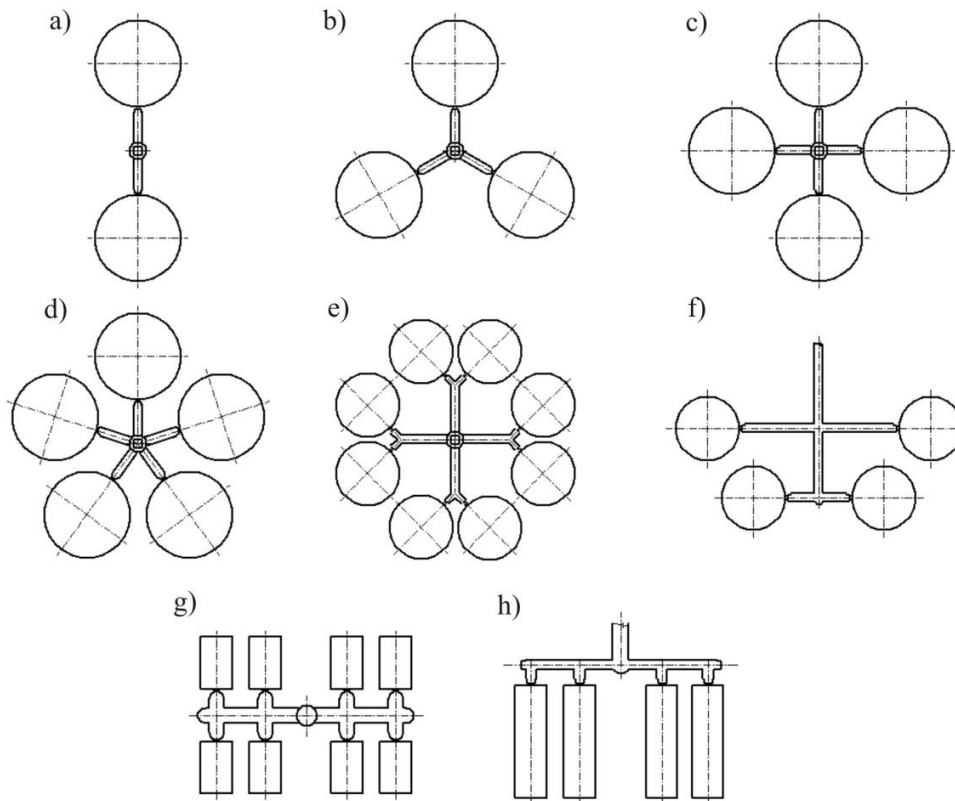
Už z názvu tohoto systému je patrné, že na povrchu vtokového systému bude během průtoku taveniny docházet k ochlazení. Během ochlazení plast tuhne, čímž roste jeho viskozita. Vrstva, která ztuhne na povrchu, poté vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu, který je stále tekutý. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina a v okamžiku úplného zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině i ve vtokových ústích následně pokračuje postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Ve vtokových ústích vlivem tlaku dochází k vývinu tepla, čímž se oddaluje úplné ztuhnutí taveniny.

Když už stroj není schopen překonat tlakové ztráty, dojde k poklesu rychlosti vstřiku a tím k celkovému ochlazení plastu. K dalšímu doplnění taveniny už může dojít pouze jejím elastickým stlačením.

Funkční řešení vtokového systému má zabezpečit:

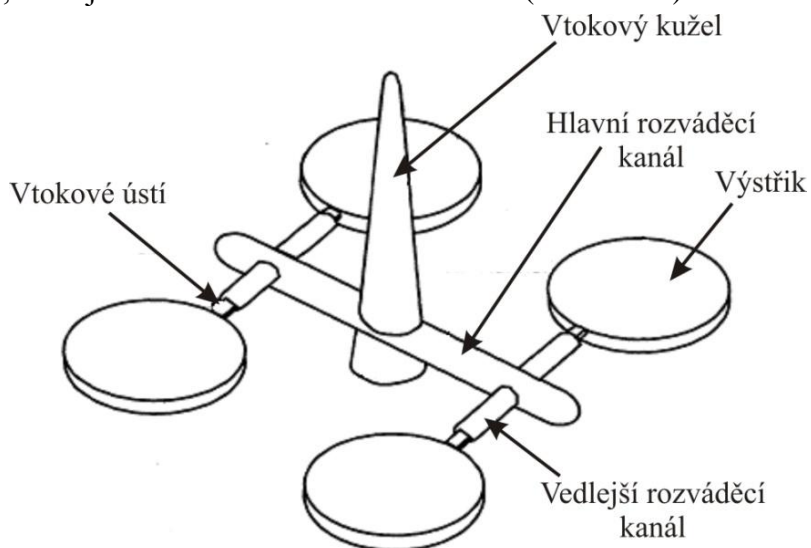
- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy musí být co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha toku musí být ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá, čímž je zajištěno jejich rovnoměrné plnění,
- průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký, čímž je zajištěno, že po naplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a umožní působení dotlaku. Vtokový kanál by měl mít při minimálním povrchu co největší průřez. Nejvhodnější jsou kanály s průřezem kruhovým a jemu podobné tvary,
- vyústění vtoku do dutiny, jeho průřez, poloha a počet musí odpovídat účelnému naplnění a kvalitnímu spojení ochlazených proudů taveniny. Tato místa spojů mají sníženou pevnost a nazývají se studené spoje. Je proto vhodné plnit dutinu jedním vtokem,
- u vícenásobných forem je nutné odstupňovat průřez kanálů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny.
- vtokový systém musí být zároveň snadno vyhoditelný a snadno odtržitelný nebo oddělitelný od výstřiku.

U vícenásobných forem lze tvarové dutiny umístit buď do hvězdy, nebo do řady (obr. 27). Z hlediska plnění dutin je lepší uspořádání do hvězdy, protože k zaplnění dutin dochází ve stejném čase a při stejném tlaku. V případě uspořádání v řadě je nutná korekce ústí vtoku, tzn. změnit rozměry rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám.



a), b), c), d), e), f) – se stejnou délkou toku taveniny,  
g), h) – s nesterjnou délkou toku taveniny (nutná korekce ústí vtoku).  
Obr. 27 Uspořádání vtokové soustavy u vícenásobných forem. [23], [34]

Studený vtokový systém lze rozdělit na několik základních částí – vtokový kužel, hlavní rozváděcí kanál, vedlejší rozváděcí kanál a vtokové ústí (viz obr. 28).



Obr. 28 Schéma soustavy rozváděcích kanálů. [1]

Pro správnou funkci studeného vtokového systému je nutné:

- zaoblit všechny ostré hrany vtokových kanálů,
- stanovit správnou úkosovitost vtoků pro snadné odformování,
- leštit povrch vtokového systému s orientací ve směru vyjímání,
- zachytit čelo proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu, čímž se zabrání proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do dutiny a tím snížení povrchových vad výstřiku,
- vyloučit ve vtokovém systému místa, kde se může nahromadovat větší množství plastu,
- větvení vtokového systému pod úhlem nad 90°.

#### • Hlavní vtokový kanál

Část studeného vtokového systému, která navazuje přímo na trysku vstřikovacího stroje, se nazývá hlavní vtokový kanál. Jeho tvar je kuželovitý s rozšířeným ústím do rozváděcích kanálů nebo přímo do výstřiku.

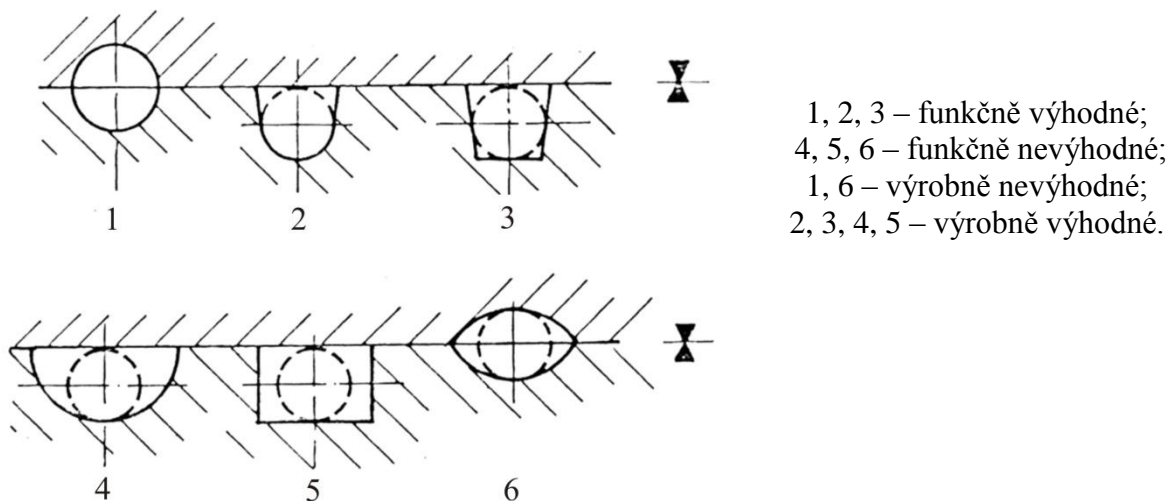
Vtokový průměr hlavního vtokového kanálu je o 0,5÷1,0 mm větší, než je průměr otvoru trysky vstřikovacího stroje. Největší průměr kanálu je běžně o zhruba 1,5 mm větší, než je největší tloušťka stěny výstřiku.

#### • Rozváděcí kanály

Úkolem rozváděcích kanálů je dovedení taveniny z hlavního vtokového kanálu k tvářecím dutinám. Tyto kanály jsou použity převážně u vícenásobných forem.

V případě, že ústí hlavní vtokový kanál do rozváděcího kanálu, zhotoví se jeho průměr stejný nebo nepatrně větší než průměr rozváděcího kanálu. Pro snadnější vyhození vtokového zbytku je nutné v místě spojení zkonstruovat jímku chladného čela taveniny.

Rozváděcí kanály jsou nejdelší částí vtokového systému a výrazně tak ovlivňují celkové tlakové a tepelné ztráty. Aby bylo dosaženo co nejnižšího odporu při toku taveniny, volí se délka a plocha průřezu těchto kanálů co nejmenší. Maximální poměr objemu k ploše má kruhový průřez kanálu, což minimalizuje tlakové a tepelné ztráty. Ovšem náklady na obrábění jsou u tohoto typu vyšší, protože obě poloviny formy musí být přesně půlkruhově obrobeny tak, aby po uzavření na sebe dosedly a vznikl tak kruhový kanál. Běžně používané průřezy rozváděcích kanálů jsou na obr. 29.



Obr. 29 Průřezy rozváděcích kanálů. [34]

## • Vtokové ústí

Zúžené místo mezi rozváděcím kanálem a dutinou formy se nazývá vtokové ústí (jen zcela výjimečně se používá vtok plný, nezúžený). Tímto zúžením se dosáhne zvýšení klesající teploty taveniny před vstupem do tvářecí dutiny.

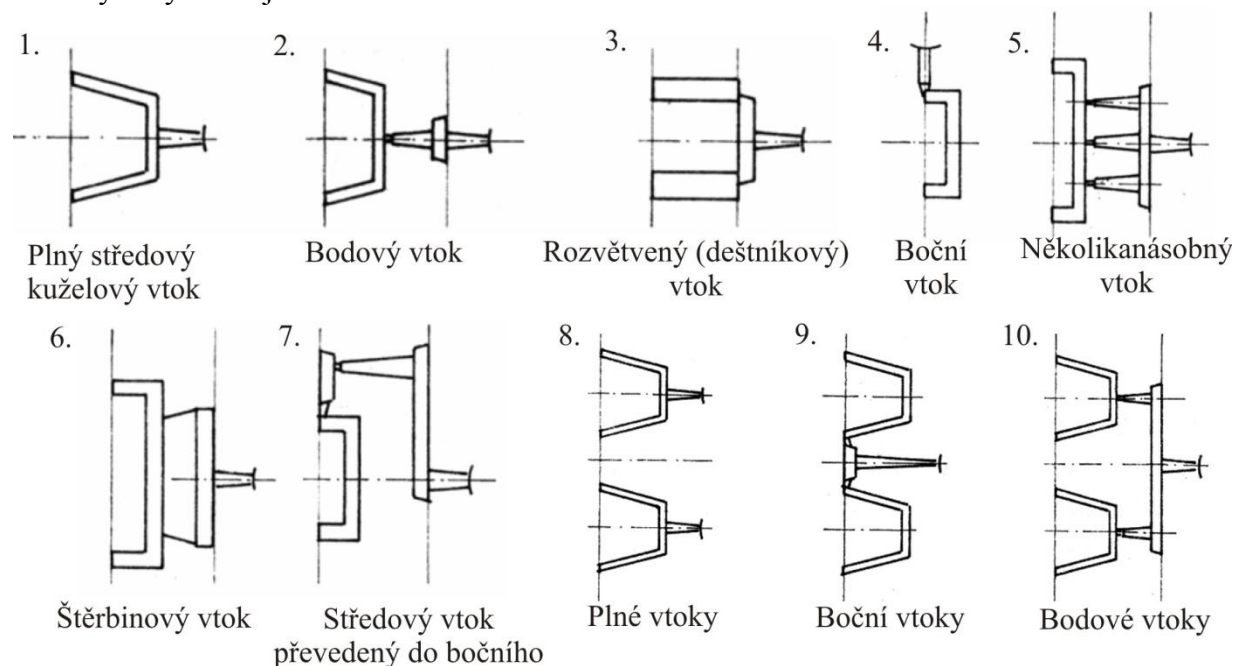
Průřez vtokového ústí je volen co nejmenší, aby bylo umožněno snadné začíštění. Zároveň ale musí být dostatečně velký, aby byla dutina formy spolehlivě naplněna, a zároveň aby bylo umožněno působení dotlaku. Doporučuje se volit menší rozměry vtokového ústí, které je možné v případě potřeby při zkouškách formy zvětšit. Rozměry ústí nejvíce ovlivňuje objem výstřiku.

Rozhodující vliv na vzhled a požadovanou kvalitu má umístění vtokového ústí na výstřik. Ten je nutné umístit:

- do nejtlustšího místa stěny výstřiku, protože tavenina má vždy téci z místa většího do menšího průřezu,
- do geometrického středu dutiny tak, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně,
- ve směru orientace žeber v případě, že je výstřik má,
- mimo místa velkého namáhání nebo opticky činných ploch,
- ve směru delší strany u obdélníkových tvarů,
- s ohledem na možnost úniku vzduchu z dutiny,
- tak, aby stopa po odstraněném vtoku nesnižovala estetickou hodnotu výstřiku,
- tak, aby bylo možné přesměrování proudu taveniny při vzniku studených spojů mimo vzhledová a mechanicky namáhaná místa,
- s ohledem na zamezení volného vtoku taveniny a tím turbulentního proudění při plnění dutiny.

Je-li požadována větší přesnost výstřiku, je nutné vzít v úvahu rozdíly podélného a příčného smrštění u semikrystalických a plněných plastů.

Tvar vtokového ústí se volí podle tvaru výstřiku. Nejčastěji je pro ploché výstřiky volen tvar štěrbinový, tvar kruhový poté pro výstřiky rotační a ostatní. Způsoby konstrukce vtokových systémů jsou na obr. 30.



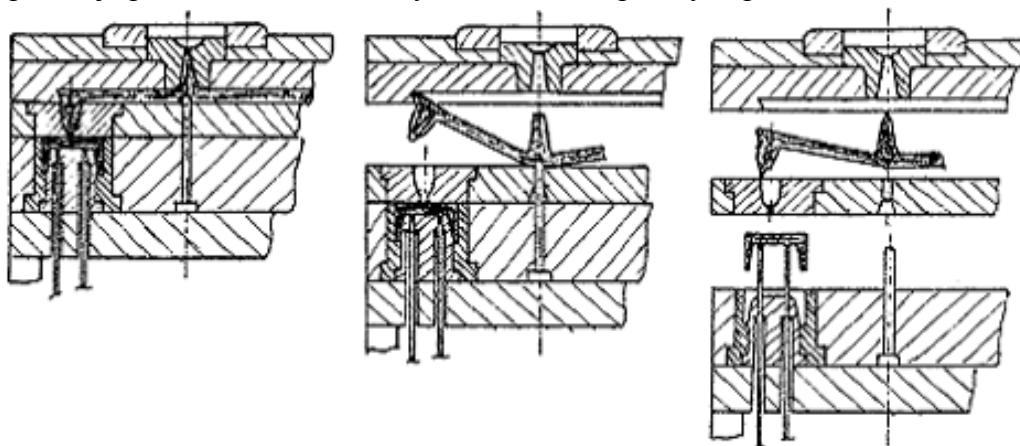
1. – 7. Jednonásobné formy;

8. – 10. Vícenásobné formy.

Obr. 30 Konstrukce vtokových systémů. [38]

**Plný kuželový vtok** přivádí taveninu do dutiny formy bez zúženého ústí. Využívá se převážně u jednonásobných forem, které mají symetricky uloženou dutinu, a pro tlustostěnné výstřiky. Tento vtok je velmi účinný z hlediska působení dotlaku, ovšem jeho odstranění je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku.

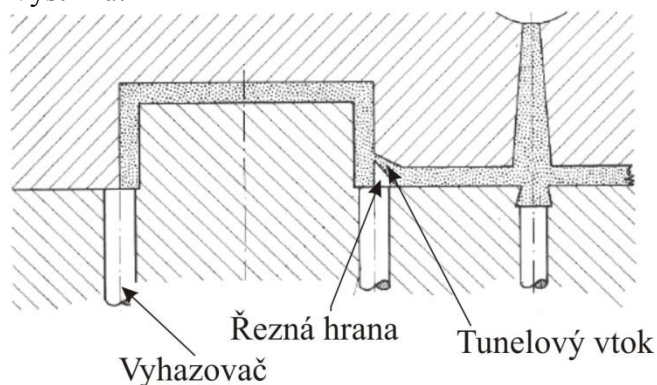
**Bodový vtok** je ze zúžených vtokových ústí nejznámější a zpravidla bývá kruhového průřezu. Tento vtok ovšem vyžaduje třideskový systém forem (obr. 31), pomocí něhož je zajištěno, že je nejdříve odtrženo vtokové ústí a teprve potom se forma otevře. Bodový vtok se nedoporučuje používat u méně tekutých materiálů a plněných plastů.



Obr. 31 Odtržení vtokového systému při použití třideskového systému forem. [34]

Zvláštním případem bodového vtoku je **vtok tunelový** (obr. 32), který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v jedné rovině s výstřikem. Není tedy nutné konstruovat složitou formu s více dělicími rovinami.

Dobrou funkci tunelového vtoku zajišťuje ostrá hrana, která odděluje vtokový zbytek od výstřiku. Oddělení vtokového zbytku od výstřiku se provádí buď při otevírání formy, nebo při vyhazování výstřiku. Tento vtokový systém je náročný na výrobu, ale je při něm dosaženo vysoké kvality plochy výstřiku.



Obr. 32 Tunelový vtok. [38]

**Boční vtok** se zúženým vtokovým ústím v dělicí rovině patří také k nejpoužívanějším typům vtokového ústí. Po odformování zůstává výstřik s vtokovým zbytkem spojený a následně se ulamuje. Při automatickém cyklu je oddělen speciálním odřezávacím zařízením, které je součástí formy.

**Vícenásobné vtoky** se používají tehdy, pokud je dutina takového tvaru, že jedním vtokem by její naplnění bylo obtížné. Před použitím je nutné zvážit vliv na odvzdušnění a na vznik studených spojů, ke kterým dochází při setkání proudů taveniny z jednotlivých vtoků.

- **Rozměry vtokového systému**

Volbou vhodných průtočných průřezů a směrů se zajistí bezpečné naplnění tvarové dutiny formy vtokovým systémem s minimálními tlakovými a tepelnými změnami vstupující taveniny. Tyto hodnoty většinou vychází ze zkušeností konstruktéra, přesné výpočty nejsou příliš obvyklé, protože je nutné určit řadu technologických parametrů, které jsou těžko zjistitelné.

V dnešní době se stále častěji používají simulační programy, které řeší vtokové systémy s velmi dobrými výsledky.

**Hlavní vtokový kanál** má tvar protáhlého kužele a jeho rozměry závisí především na hmotnosti výstřiku. Vstupní průměr  $d$  se určí z diagramu (příloha 3) a výstupní průměr  $D_v$  je dán tvarem kužele s úkosem (obvykle  $1,5^\circ$ ).

Průměr **rozdávěcích kanálů** se navrhuje ve stejném rozměru, jako je průměr hlavního vtokového kanálu nebo nepatrně větší. Vliv na velikost průměru má délka kanálu a vlastnosti polymeru. Průměr rozváděcího kanálu  $D$  se určí ze vztahu:

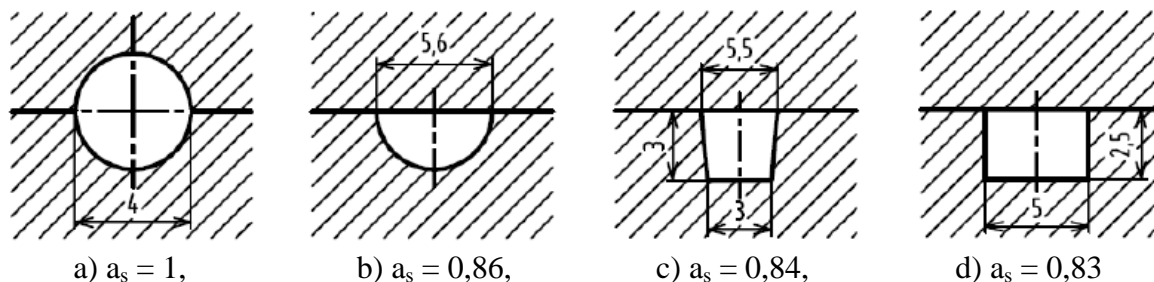
$$D = D_v \cdot K_v \cdot K_c \cdot K_p \text{ [mm]}, \quad (3.6)$$

kde:  $D_v$  [mm] – velký průměr vtokového kanálu,  
 $K_v$  [-] – korekční součinitel vlastností kanálu,  
 $K_c$  [-] – korekční součinitel délky rozváděcího kanálu,  
 $K_p$  [-] – korekční součinitel pro plněné polymery.

Kruhový **průřez kanálu** je nejvhodnějším a nejpoužívanějším průřezem. Jiné tvary jsou složitě vyrobitelné a mají i další nedostatky. Vhodnost tvaru průřezu kanálu se vyjadřuje pomocí smáčivého čísla  $a_s$ , jehož hodnoty pro určité průřezy jsou na obr. 33. Čím je toto číslo vyšší, tím je tvar průřezu příznivější. Smáčivé číslo  $a_s$  se určí pomocí vztahu:

$$a_s = \frac{S}{l} \text{ [mm]}, \quad (3.7)$$

kde:  $S$  [mm<sup>2</sup>] – průřez kanálu,  
 $l$  [mm] – smáčivý obvod kanálu.



Obr. 33 Hodnoty smáčivého čísla pro některé průřezy. [40]

### 3.3.2. Vyhřívání vtokové systémy [34]

Vedle studeného vtokového systému existuje i vyhřívání vtokového systému (VVS). Při použití tohoto systému dochází k úspoře plastu a práce, protože se plast vstříkuje bez vtokového zbytku. Dnešní vyhřívání vtokové systémy jsou vybaveny tryskami, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému. Zároveň dochází k optimálnímu toku taveniny.

Formy s VVS jsou určeny především pro velkosériové a hromadné výroby. Soustava rozvodu taveniny je značně tepelně namáhána, proto vyžaduje větší tuhost forem i zvětšenou přesnost jejich výroby. Tím stoupá jejich cena a jsou tedy ekonomicky nevhodné pro krátkodobý a přerušovaný provoz.

U tohoto vtokového systému je nutné použít trysky, které jsou vyhřívány.

### 3.4. Vyhazování výstřiků [34], [40]

K vyhození výstřiku z formy slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus.

Pracovní cyklus vyhazovacího zařízení lze rozdělit na dvě fáze. V první fázi dochází k dopřednému pohybu a samotnému vyhození výstřiku. V druhé fázi dochází ke zpětnému pohybu a návratu vyhazovacího systému do původní polohy.

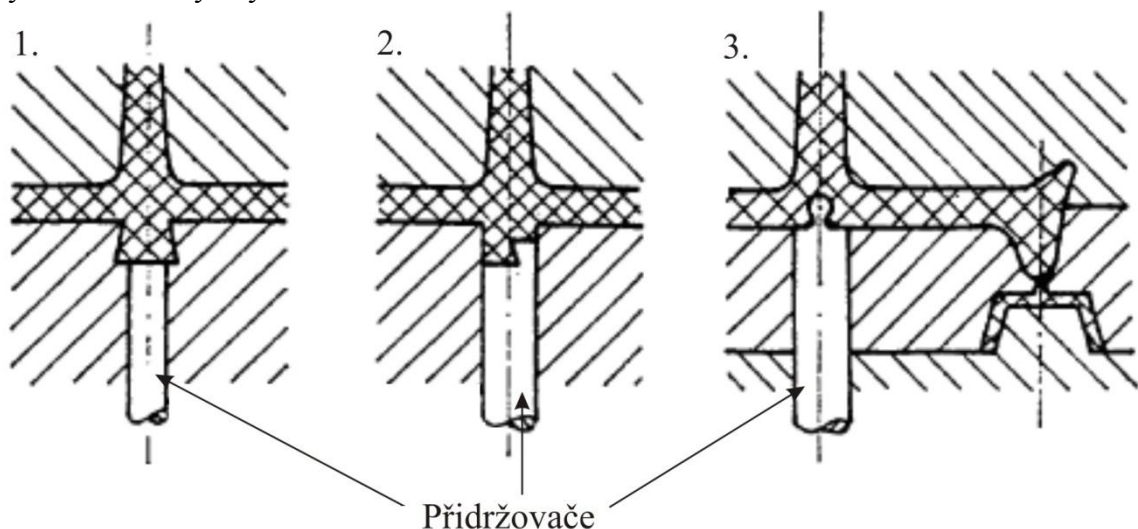
Dopředný pohyb lze vyvinout třemi způsoby:

- při otevření formy nárazecím kolíkem, který je upevněn na traverzu vstřikovacího stroje,
- hydraulickým nebo pneumatickým zařízením, které bývá obvykle příslušenstvím vstřikovacího stroje,
- mechanismem ručního vyhození.

Zpětný pohyb je zajištěn vratnými kolíky, pružinami v kombinaci s jiným systémem nebo speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením.

Základní podmínkou správného vyhození výstřiku z formy je její hladký povrch a úkosovitost stěn ve směru vyhazování, přičemž úkosy nesmí být menší než 30°. Aby nedošlo ke vzniku trvalých deformací a poškození výstřiku, musí vyhazovací systém výstřik vysouvat rovnoměrně.

Vedle vyhození výstřiku je nutné zajistit i správné vyhození vtokového zbytku (obr. 34). Vedle samotného vyhození slouží vyhazovače i k přidržení tohoto zbytku, dokud není forma otevřena a není bezpečně vytažen vtok z vtokové vložky. Při vhodném uspořádání se může od výstřiku vtokový zbytek záměrně oddělit.



Obr. 34 Běžné způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku. [34]

### 3.4.1. Mechanické vyhazování [34], [40]

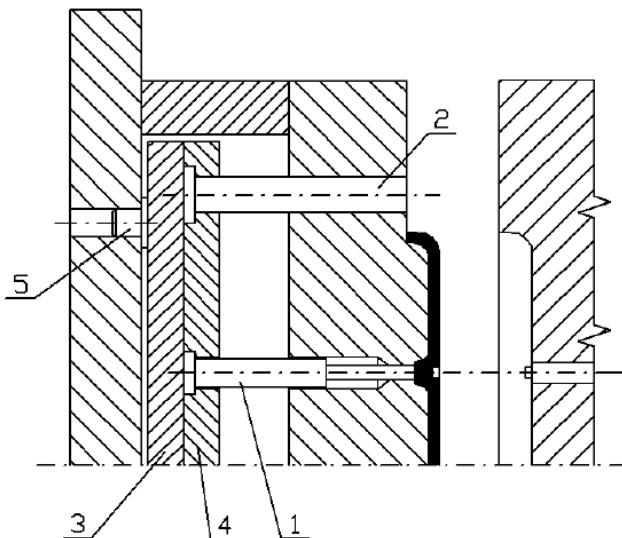
Zcela nejrozšířenějším vyhazovacím systémem je mechanické vyhazování a používá se všude tam, kde je to možné. Jeho konstrukce má různá uspořádání.

#### • Vyhazovací kolíky

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků (obr. 35) je nejčastějším a nejlevnějším typem mechanického vyhazování. Využívá se tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku, která je ve směru vyhození. Tento vyhazovací systém je výrobně jednoduchý a funkčně zaručený. Správná volba tvaru kolíku a jeho umístění umožní snadné vyhození výstřiku bez poškození.

Je nutné, aby vyhazovací kolíky byly dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jsou obvykle válcové, ovšem mohou mít jakýkoliv tvar. Podle požadované funkce a tekutosti plastu se volí uložení ve formě v tolerancích H7/g6, H7/h6 a H7/j6.

Po vyhazovacích kolících zůstávají obvykle na výstřiku stopy. Pokud zásadním způsobem snižují vzhledovou kvalitu výrobku, je nutné výstřik opravit, změnit způsob vyhazování, popřípadě umístit vyhazovače do míst, která nejsou tak náročná na kvalitu vzhledu.



Obr. 35 Vyhazovací kolíky. [40]

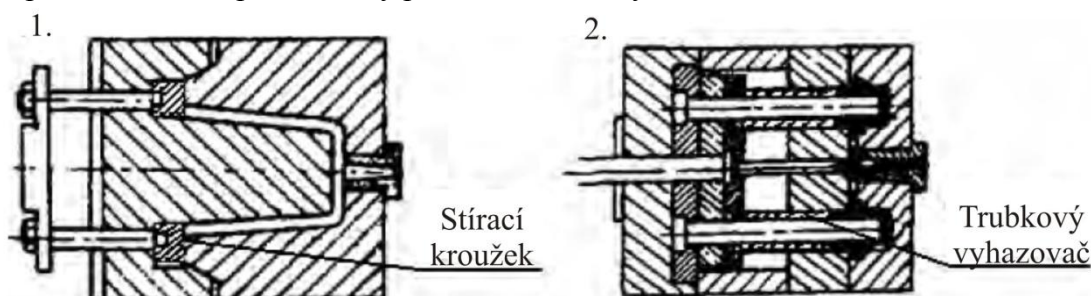
- 1 – vyhazovací kolík,
- 2 – vratný kolík,
- 3 – spodní deska vyhazovače,
- 4 – horní deska vyhazovače,
- 5 – narážka.

#### • Stírací deska

Při tomto způsobu je výstřik stahován z tvárníku po celém jeho obvodu (obr. 36). Vzhledem k velké vyhazovací ploše nejsou na výstřiku zanechány žádné stopy, jeho deformace jsou pak minimální a stírací síla je velká.

Využití je především u tenkostěnných výstřiků, kde hrozí vznik deformace, nebo u rozměrných výstřiků, kdy je potřeba velká vyhazovací síla. Stírání lze využít jen tehdy, dosedá-li výstřik na stírací desku v rovině nebo je jeho plocha mírně zakřivená.

Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovacího systému, výjimečně pak tahem prostřednictvím pevné desky při otevírání formy.



1. Stírací kroužek, 2. Trubkový vyhazovač.

Obr. 36 Vyhazování stírací deskou. [40]

- **Šikmé vyhazování**

U tohoto speciálního způsobu mechanického vyhazování nejsou kolíky umístěny kolmo k dělicí rovině, ale jsou k ní uloženy pod různými úhly. Využívá se u malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem.

- **Dvoustupňové vyhazování**

Tento způsob vyhazování je kombinací dvou vyhazovacích systémů, které se vzájemně ovlivňují. Pomocí dvoustupňového vyhazování lze vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho délky. Využívá se například při šikmém vyhazování výstřiku se zápichem.

### **3.4.2. Vzduchové vyhazování [34], [40]**

Pomocí systému vzduchového vyhazování je vhodné vyhazovat tenkostěnné výstřiky větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování odvodu, aby se nedeformovaly. Způsob není tak častý jako mechanické vyhazování, ale pro výstřiky uvedeného tvaru velmi vhodný.

Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy, čímž se umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Nelze ovšem využít na všechny tvary výstřiku.

Tlak vzduchu by měl být tak velký, aby vyhodil výstřik a zároveň svým působením neznečišťoval okolí.

Nevýhodou této metody je nutnost přesné výroby formy v oblasti vedení vzduchu.

### **3.4.3. Vyhazovací síla [34], [40]**

Použitý vyhazovací systém musí být schopný vyvodit dostatečně velkou silou, aby dokázal vyhodit výstřik z nástroje, který po otevření vstřikovací formy zůstává vlivem smrštění většinou na tvárníku, ve výjimečných případech i na tvárnici.

Potřebnou velikost vyhazovací síly ovlivňuje velikost smrštění výstřiku, jeho členitost, jakost povrchu funkčních ploch formy, technologické podmínky vstřikovacího cyklu a pružné deformace formy.

Velikost vyhazovací síly se poté stanoví z podmínky, že vyhazovací síla  $F_v$  musí překonat tření, které je vyvolané tlakem  $p$  mezi smrštěným výstřikem a formou.

V běžné praxi se ovšem potřebná velikost vyhazovací síly obtížně určuje a obvykle se ani nezjišťuje. Síla vyhazovacího systému při použití mechanického vyhazování je natolik předimenzovaná, že samotný výpočet není nutný. V případě použití hydraulického nebo pneumatického vyhazování se vyhazovací tlaky odzkouší a nastaví dle potřeby.

### 3.5. Temperování forem [34], [31], [40]

K udržení konstantního teplotního režimu formy slouží temperace, jejímž cílem je dosažení optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování za současného zachování technologických požadavků na výrobu. Toto je zaručeno ochlazováním nebo vyhříváním buď celé formy, nebo její části.

Temperaci formy musí do svých úvah zahrnout konstruktér již od základní koncepce, nikoliv ji navrhovat jako poslední. Způsob uspořádání a dimenzování temperačního systému ve formě má značný vliv na vlastnosti výstřiku, jeho deformace a na dosažitelné doby chlazení a tím i doby celých pracovních cyklů.

Během procesu vstřikování dochází k přivádění roztaveného polymeru do formy a v její dutině je ochlazován na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu a zároveň ovlivňuje plnění tvarové dutiny.

Při každém vstřikovacím cyklu je forma ohřívána, je tedy nutné přebytečné teplo odvést temperační soustavou, protože každý další výstřik je třeba vyrobit znovu při stanovené teplotě.

Naopak v případě vstřikování plastů, které se zpracovávají za vyšších teplot, je nutné formu ohřívat, protože tepelné ztráty formy jsou vyšší než její ohřátí taveninou. K ohřevu formy na pracovní teplotu dochází i při zahájení výroby, čímž je zajištěna dostatečná kvalita výstřiků. K ohřevu forem je většinou použito elektrické vytápění.

Teplota formy tedy není během vstřikovacího cyklu konstantní. Snahou je, aby kolísání teplot bylo co nejnižší, což se zaručí optimalizací temperačního procesu. To znamená volit správně velikost a rozmístění temperačních kanálů, stejně jako rychlost a teplotu temperačního média.

V případě, že je teplota formy nerovnoměrně rozložena, může dojít ke zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy toho lze naopak využít v případě, kdy je cílem eliminace tvarových deformací způsobených anizotropií smrštění plastu.

Vstřikovací forma musí mít dostatečnou hmotnost, čímž se nejen zmenší mechanické deformace při plném vstřikovacím tlaku a působením uzavírací síly stroje, ale zvýší se i tepelná stabilita formy. Případná nestabilita se projeví hlavně při přerušení výroby, nejen mezi jednotlivými cykly po vyhození výlisku a novým nástřikem.

Doporučuje se rovněž použití izolačních desek pod upínacími deskami alespoň na pevné straně formy jako opatření proti odvádění tepla do upínací desky stroje. Při použití vyhříváných vtokových soustav je jejich použití nutností, protože je dosaženo vyšších teplot forem.

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, v nichž proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí na požadované výši. Tento systém může být umístěn jak v pevné části formy, tak v její pohyblivé části. Každý z těchto okruhů je nutné řešit zvlášť v závislosti na způsobu zaformování výstřiku i v závislosti na ostatních konstrukčních a technologických podmínkách.

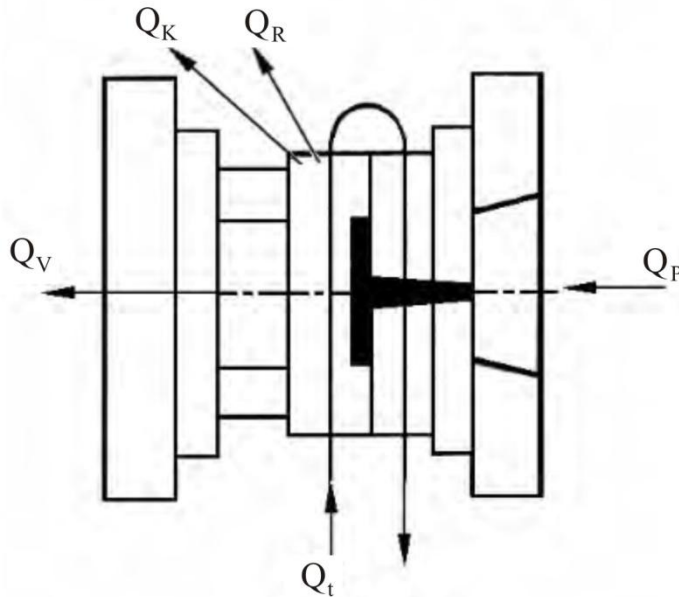
Množství tepla  $Q$ , které projde určitou stěnou, lze určit ze vztahu:

$$Q = \frac{\lambda}{S_k} \cdot S_p \cdot \Delta T \text{ [J]} \quad (3.8)$$

kde:  $\lambda$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] – součinitel tepelné vodivosti (v závislosti na materiálu),  
 $S_p$  [ $\text{m}^2$ ] – obsah plochy stěny,  
 $S_k$  [m] – tloušťka stěny,  
 $\Delta T$  [K] – rozdíl teplot.

### 3.5.1. Tepelná bilance formy [34], [31], [40]

Při pracovním cyklu vstřikování platí, že teplo přivedené taveninou plasty do formy je rovno teplu odvedenému z formy temperací a ostatními ztrátami (viz obr. 37).



Obr. 37 Tepelná bilance formy. [40]

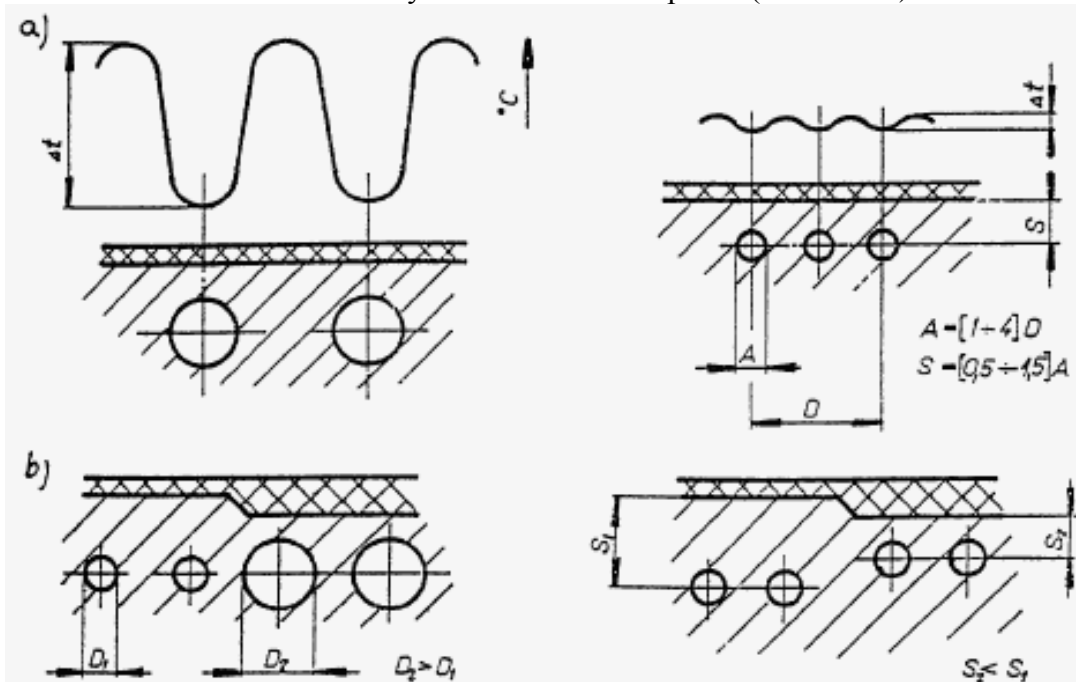
$Q_K$  [J] – teplo odvedené do okolí,  
 $Q_P$  [J] – teplo přivedené polymerem,  
 $Q_R$  [J] – ztráta tepla vyzařováním,  
 $Q_t$  [J] – teplo odvedené temperací,  
 $Q_V$  [J] – teplo odvedené do upínacích ploch.

Platí tedy:

$$Q_P = Q_t + Q_V + Q_K + Q_R \text{ [J]}, \quad (3.9)$$

### 3.5.2. Volba temperančních kanálů [34], [31], [40]

Rozměry a rozmístění temperančních kanálů se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od funkční dutiny musí být optimální, zároveň však musí být zachována její dostatečná pevnost a tuhost. Jelikož povrch temperančních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního média nebo opačně, je vhodné použít větší množství menších kanálů s malými roztečemi než opačně (viz obr. 38).



a) u výstřiku se stejnou tloušťkou stěny, b) u výstřiku s proměnnou tloušťkou stěny.

Obr. 38 Vliv rozmístění temperančních kanálů na průběh teploty. [34]

V závislosti na velikosti výstřiku, druhu vstřikovaného plastu a rozměru rámu formy se volí průřez kanálů. Nejběžněji používaný je kruhový průřez, jehož orientační hodnoty se určují z tabulky závislosti hmotnosti výstřiku na rozměrech rámu (příloha 4). S větším průměrem kanálu roste i spotřeba temperačního média, zatímco se intenzita výměny tepla zvýší jen nepatrně. Rovněž se snižuje tuhost formy. Snahou tedy je volit průřez kanálu spíše menší, zároveň ale dostačující.

Vedle průřezů kruhových se volí i kanály obdélníkové, do kterých se mohou vkládat tenkostěnné měděné trubky.

Temperační systémy se navrhují především podle zkušeností konstruktéra, ovšem u složitých konstrukcí forem nemusí být vždy jeho návrhy optimální. Proto se s rozvojem moderní techniky stále častěji používají různé simulační programy, které umožňují sledovat tepelné děje ve formě.

#### **Pravidla při konstrukci temperačního systému:**

- kanály by měly být umístěny co nejbližší tvarové části dutiny formy, zároveň však musí být zachována její pevnost a tuhost,
- kanály musí být umístěny tak, aby intenzivně odváděly teplo z míst, kde je forma ve styku s proudem vstřikované taveniny (u vtoku),
- chladicí kapalina musí proudit od nejteplejšího místa formy k tomu nejchladnějšímu, v případě ohřívání pak od nejchladnějšího k nejteplejšímu,
- z výrobního hlediska je vhodné volit průřezy kruhové,
- rozmístění kanálů musí zohledňovat tvar výstřiku,
- kanály by měly procházet celistvým materiálem formy s dobře utěsněnými spoji. V případě, že je ve směru cesty temperačního média mnoho spojů a utěsnění by bylo komplikované, lze nahradit temperační kanál drážkou, do které se upevní měděná trubka,
- po cestě temperačního média by se neměly vytvářet mrtvé kouty, v kterých se mohou usazovat nečistoty a mohou v nich vznikat koroze,
- obvykle by se neměly kanály umísťovat do blízkosti hran výstřiku,
- průměr kanálu by neměl být menší než 6 mm, jinak hrozí ucpání kanálu vodními nečistotami nebo vodním kamenem. V případě menších průměrů je nutné použít upravenou kapalinu,
- kanály by se měly konstruovat tak, aby je bylo možné propojit hadicemi různým způsobem a v různém pořadí,
- chladicí kapalina by se měla přednostně přivádět do míst, kde jsou podmínky pro odvod tepla méně vhodné.

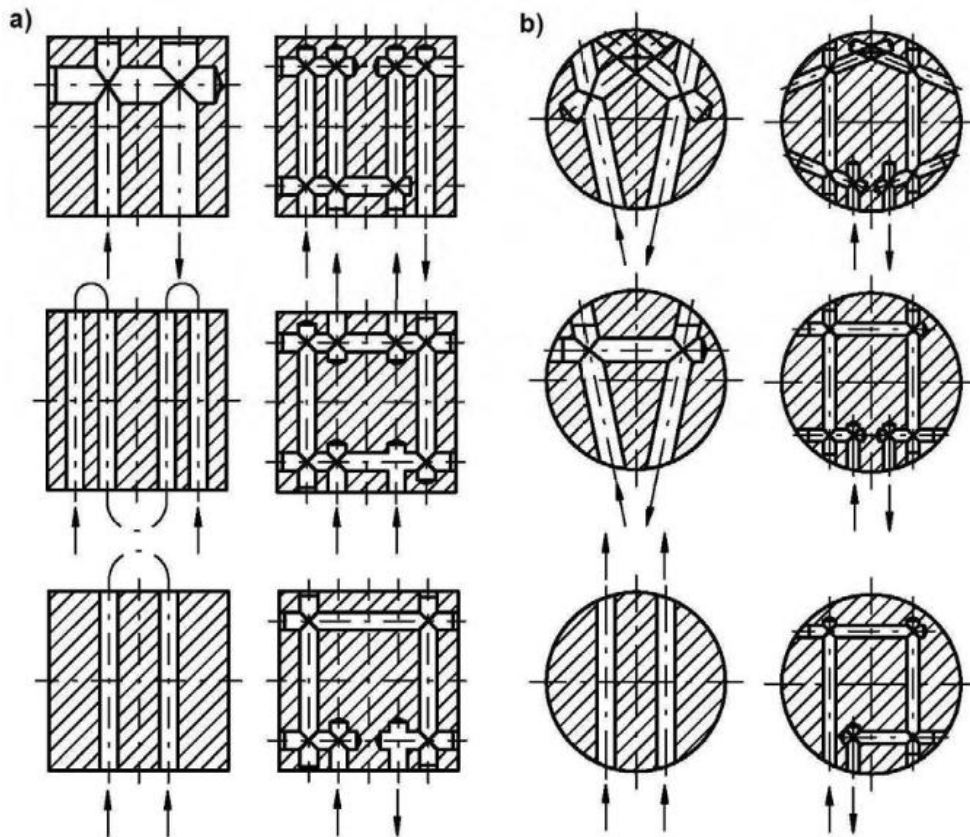
Součinitel přestupu tepla je ovlivněn kvalitou povrchu kanálu. Je-li povrch kanálu znečištěn korozí nebo usazeninami, snižuje se účinnost kanálů.

Výkon temperačního okruhu lze naopak zvýšit:

- zvětšením rozdílu teploty formy a temperačního média,
- zapojením zvláštní větve chlazení,
- vytvořením podmínek pro zvětšení součinitele prostupu a přestupu tepla (použitím materiálu s větší tepelnou vodivostí, změnou vzdálenosti temperačního kanálu od líce formy apod.).

### 3.5.3. Řešení temperačních kanálů [34], [31], [40]

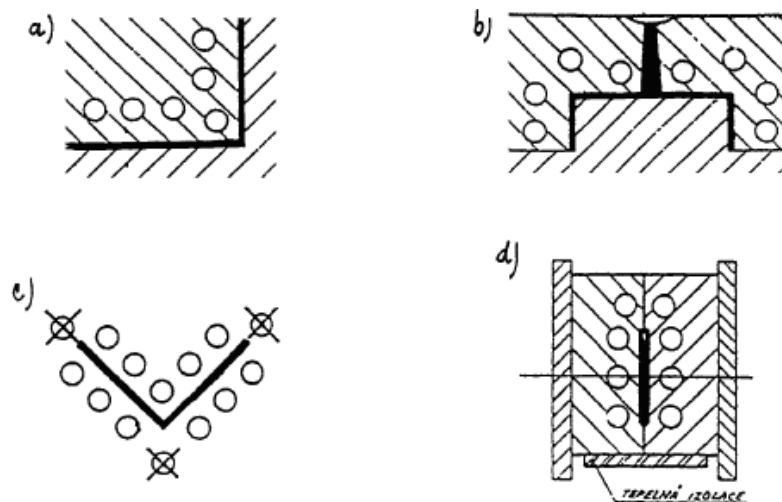
Konstrukčně lze temperační systém řešit několika způsoby (obr. 39), ať už jde o desky kruhové nebo hranaté.



a) hranaté desky, b) kruhové desky.

Obr. 39 Řešení temperačních kanálů. [40]

Minimální vzdálenost mezi temperačními kanály a hranou výstřiku se určuje v závislosti na pevnosti a tuhosti materiálu formy, a také v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku. Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran výstřiku je zobrazeno na obr. 40.



Obr. 40 Temperační kanály v blízkosti hran výstřiku. [34]

### 3.5.4. Temperační prostředky [34]

Média, která umožňují práci formy v optimálních tepelných podmínkách, se nazývají temperační prostředky. Jejich volba je ovlivněna především koncepcí formy, požadavky na temperaci a technologii výroby. Mohou být aktivní a pasivní.

- **Aktivní temperační prostředky**

Aktivní temperační prostředky jsou zdrojem teploty přímo ve formě. Teplo buď přivádějí, nebo odvádějí podle požadavku na teplotu formy. Nejčastějšími aktivními prostředky jsou kapaliny, přesněji voda, oleje a glykoly, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály uvnitř formy. Jejich množství se řídí průtokoměry.

Během proudění dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. Účinnost tohoto přestupu je dána velikostí a kvalitou styčné plochy kanálu, způsobem proudění a teplotním rozdílem mezi médiem a vstřikovací formou.

Tab. 4 Aktivní temperační prostředky. [34]

Typ	Výhody	Nevýhody
Voda	Dobrý přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	Použitelné do 90°C, vznik koroze, usazování kamene
Oleje	Možnost teploty i nad 100°C	Zhoršený přestup tepla
Glykoly	Omezení koroze a ucpávání systému	Stárnutí, znečišťování prostředí

Vodu lze jako temperační prostředek použít i za vyšších teplot než je 90°C, je-li použito tlakových okruhů. Rovněž lze potlačit vznik koroze upravením vody.

Vzduch se jako temperační médium užívá zejména při volném proudění – odvod tepla z povrchu formy a při chlazení tvarových částí během otevření formy, nebo při nuceném proudění působením přetlaku, případně podtlaku. Nevýhodou tohoto média je nízká účinnost, proto se využívá jen, když nelze využít kapaliny z důvodu nedostatku prostoru.

Mezi aktivní temperační prostředky lze také zařadit topné elektrické články, kterých se využívá především k temperaci forem o vyšší teplotě v případě, kdy ztráty v okolí jsou větší než teplo dodané vstřikovaným plastem.

- **Pasivní temperační prostředky**

Tepelně izolační materiály lze zařadit do skupiny pasivních temperačních prostředků. Využívají se především ke snížení množství tepla, které přestoupí do upínacích desek vstřikovacího stroje. K tomu lze využít pevnostně a tepelně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, nekovových organických látek apod. Zároveň však lze prvky forem tepelně izolovat běžnými tepelně izolačními materiály.

Aby se zamezilo ztrátám tepla vyzařováním u povrchů, které dosahují vysoké teploty, je vhodné povrch leštit, případně pokrýt hliníkovou fólií.

Dále lze k odvodu tepla z míst obtížně temperovatelných využít materiálů s velkou tepelnou vodivostí. Teplo je pak vyvedeno do míst, odkud lze jeho odvod zajistit obvyklým způsobem.

Intenzivní přenos tepla z oblasti o vyšší teplotě do míst s teplotou nižší umožňují rovněž tepelné trubice.

- **Snímače a regulátory teplot**

Pomocí regulace teplot lze udržet požadovanou výši teploty při měnících se tepelných podmínkách v dané soustavě. Využívá se k tomu regulátor teploty, který je ovládaný tepelným čidlem. Regulační přístroje využívané v současné době vykazují vysokou přesnost a spolehlivost.

Teplotní čidla mají několik provedení a ve formě se umísťují do středu mezi temperačními prostředky a tvarovou dutinou formy. V dokonalém tepelném kontaktu jsou s tělesem formy pouze v měrném místě, jinde jsou izolovány.

### **3.6. Odvzdušnění forem [34], [31], [40]**

V dutině formy je před samotným vstřikováním vzduch a je třeba zajistit, aby během plnění dutiny taveninou mohl tento vzduch společně se zplodinami polykondenzace uniknout. Čím je větší rychlost plnění dutiny, tím musí být odvzdušnění účinnější.

Vzduch stačí často z dutiny formy uniknout dělicí rovinou, vůlí mezi pohyblivými částmi apod. V ostatních případech je nutné formu opatřit odvzdušňovacími kanálky.

Potíže s odvzdušněním se vyskytují především u nových forem, které mají dobře těsnící dělicí roviny a vyhazovače, ovšem vlivem opotřebení časem vzniknout větší vůle, které poskytují vzduchu stále více možností úniku.

- **Umístění odvzdušnění**

Při volbě místa pro odvzdušnění je nutné vzít v úvahu, jakým způsobem a kterými směry se dutina naplní taveninou. Odvzdušnění je nutné zajistit v nejpozději naplněném místě. Toto místo je někdy zřejmé z tvaru výstřiku, jindy je jen obtížně zjistitelné. Je ovlivněno umístěním vtoku, tloušťkou stěn, podmínkami kvality kladenými na výstřik a jeho funkcí.

V nejasných případech se místo pro odvzdušnění určí až během zkoušek formy. Vodítkem jsou v těchto případech místa, v kterých dochází k vadě na výstřiku.

Možné způsoby odvzdušnění forem jsou ukázány v příloze 6.

## 4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DOLOŽENÝ POTŘEBNÝMI VÝPOČTY

Správná volba technologie má klíčový vliv na kvalitu výstřiků. Je nutné stanovit násobnost vstřikovací formy, technologické podmínky a zvolit vhodný vstřikovací stroj.

### 4.1. Stanovení násobnosti vstřikovací formy [20]

Nejprve je nutné stanovit objem součásti  $V$ , který lze určit pomocí CAD programu. Autodesk Inventor 2011 určil objem součásti na  $0,6634 \text{ cm}^3$ . Odtud je pomocí hustoty  $\rho$  spočítána jeho hmotnost  $m_v$ :

$$m_v = V \cdot \rho = 0,6634 \cdot 1,34 = 0,89 \text{ g.}$$

Následně je nutné spočítat průměr rozváděcích kanálků formy  $D_k$  v závislosti na hmotnosti výstřiku, tloušťce stěny  $s$ , délce rozváděcích kanálů  $L$  (jejich délka je rovna největšímu rozměru plastového dílce) a tekutosti použitého materiálu:

$$D_k = D' \cdot K_1 \cdot K_2 = 2,55 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,55 \text{ mm,}$$

kde:  $D'$  [mm] – tabulková hodnota průměru (viz příloha 7),  
 $K_1$  [-] – koef. tekutosti materiálu (pro PA platí  $K_1 = 1,0$ ),  
 $K_2$  [-] – koef. délky rozváděcích kanálků, pro  $L = 14 \text{ mm}$  je  $K_2 = 1,0$  (viz příloha 7).

Objem těchto rozváděcích kanálků  $V_k$  je spočítán:

$$V_k = 0,7854 \cdot 10^{-3} \cdot D_k^2 \cdot L = 0,7854 \cdot 10^{-3} \cdot 2,55^2 \cdot 14 = 0,0715 \text{ cm}^3.$$

Z grafu závislosti násobnosti na velikosti výrobní série  $N$  (příloha 8) se určí praktická násobnost formy  $n_p$ . Pro velikost série 2 500 000 ks odečtena násobnost 14. Tato hodnota je pouze orientační a bude ještě upřesněna.

Vstřikovaný objem jedné dávky  $V_d$  je poté dán:

$$V_d = n_p \cdot (V + V_k) + 2 \div 3 = 14 \cdot (0,6634 + 0,0715) + 3 = 13,29 \text{ cm}^3.$$

Dle vstřikovaného materiálu v závislosti na vstřikovaném objemu je zvolena doba vstřikování  $t_v$ . Pro polyamid o objemu  $13,29 \text{ cm}^3$  je doba vstřikování volena z intervalu  $0,4 \div 0,5 \text{ s}$  (viz příloha 7). Z tohoto intervalu je volena hodnota  $0,5 \text{ s}$ .

Doba chlazení  $t_{ch}$  je závislá především na teplotních charakteristikách vstřikovaného materiálu (viz příloha 2):

$$t_{ch} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) = \frac{1^2}{\pi^2 \cdot 0,089} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{290 - 80}{110 - 80} \right) = 1,98 \text{ s} = 2 \text{ s,}$$

kde:  $T_W$  [°C] – teplota formy – volena  $80^\circ\text{C}$ ,  
 $T_M$  [°C] – teplota taveniny – volena  $290^\circ\text{C}$ ,  
 $T_E$  [°C] – střední vyhazovací teplota – volena  $110^\circ\text{C}$ ,  
 $a_{eff}$  [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] – měrná tepelná vodivost materiálu.

Z předešlých hodnot je stanovena celková doba vstřikovacího cyklu  $t_c$ . K hodnotám doby vstřikování  $t_v$  a doby chlazení  $t_{ch}$  jsou připočteny  $3 \div 4$  sekundy. Tento interval představuje doby pro uzavření formy, přisunutí vstřikovací jednotky, otevření formy a vyhození výstřiku. Počítá se i s menší prodlevou ( $\sim 0,5 \text{ s}$ ). Doba vstřikovacího cyklu je tedy určena:

$$t_c = t_v + t_{ch} + 3 \div 4 = 0,5 + 2,0 + 4 = 6,5 \text{ s.}$$

V závislosti na době dodání  $\tau_p$  a velikosti výrobní série je určena termínovaná násobnost formy  $n_T$ :

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{2\,500\,000 \cdot 6,5}{552 \cdot 0,80 \cdot 3600} = 10,2 \rightarrow 11,$$

kde:  $N$  [ks] – velikost výrobní série,  
 $\tau_p$  [hod] - termín dodání,  
 $K$  [-] – faktor využití času ( $K = 0,7 \div 0,9$ ), voleno 0,85.

Z praktického hlediska je příznivější sudá násobnost, proto je volená násobnost rovna 12, což zaručí včasné dodání celé série a umožní příznivější volbu vtokového systému.

#### 4.2. Volba vstřikovacího stroje [20]

Pro správnou volbu vstřikovacího stroje je nutné stanovit několik jeho základních parametrů.

Nejprve je nutné určit minimální vstřikovací kapacitu  $C_v$ :

$$C_v \geq 1,1 \cdot n_T \cdot (V + V_k) = 1,1 \cdot 12 \cdot (0,6634 + 0,0715) = 9,7 \text{ cm}^3.$$

Minimální plastifikační kapacita  $C_p$  je následně určena:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n_T \cdot (V + V_k)}{t_c} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 1,34 \cdot (0,6634 + 0,0715)}{6,5} = 7,3 \text{ kg/hod.}$$

Výpočet minimální uzavírací síly vstřikovacího stroje, které je nutné dosáhnout, aby byla forma během vstřikovacího cyklu uzavřena, je určen vztahem:

$$F_u \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot p_v \cdot A_{\text{proj}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 90 \cdot 3065 = 303,44 \text{ kN}$$

kde:  $p_v$  [MPa] – vstřikovací tlak,  
 $A_{\text{proj}}$  [mm<sup>2</sup>] – obsah průmětu výstřiků včetně rozváděcích kanálů do dělicí roviny.

Tyto požadavky na technické parametry splňuje vstřikovací stroj CS 195/100 (obr. 41).



Obr. 41 Vstřikovací stroj CS 195/100. [17]

Technické parametry vstřikovacího stroje jsou uvedeny v tab. 5. Je patrné, že stroj splňuje všechny požadavky, které jsou na něj kladeny – velikost uzavírací síly, vstřikovací a plastifikační kapacita.

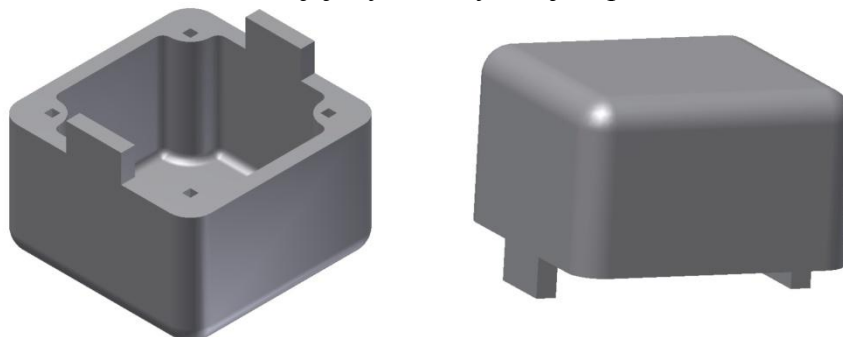
Tab.5 Technické parametry vstřikovacího stroje CS 195/100. [20]

CS 88/63	Hodnota	Jednotky
Uzavírací síla	1000	kN
Vstřikovací kapacita	145	cm <sup>3</sup>
Plastifikační kapacita	80	kg/hod
Rozteč mezi sloupky	275x340	mm
Max. výška formy	320	mm
Min. výška formy	170	mm
Celkový instalovaný příkon	37	kW

## 5. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ FORMY

Program Autodesk Inventor 2011 umožňuje konstruování forem pomocí svého modulu Moldflow, který výrazně usnadňuje konstrukci vstřikovacích forem a zároveň umožňuje simulovat a následně zanalyzovat proces vstřikování.

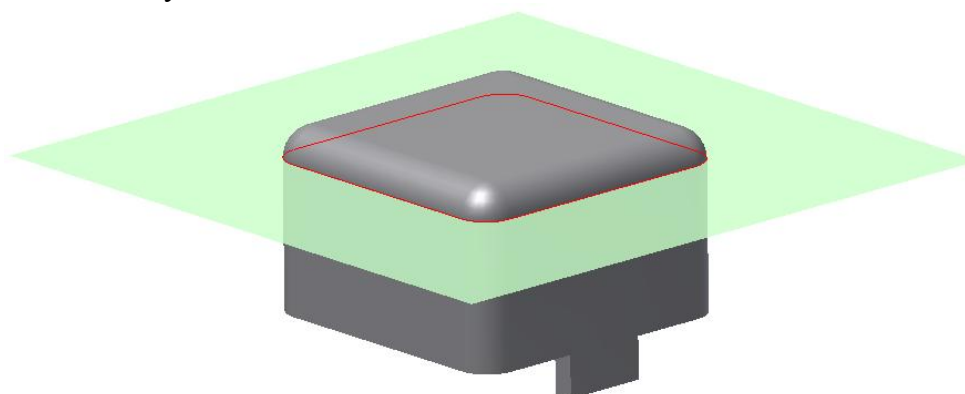
Krytka je znázorněna na obr. 42 a její výrobní výkres je v příloze 1.



Obr. 42 Model součásti ve 3D.

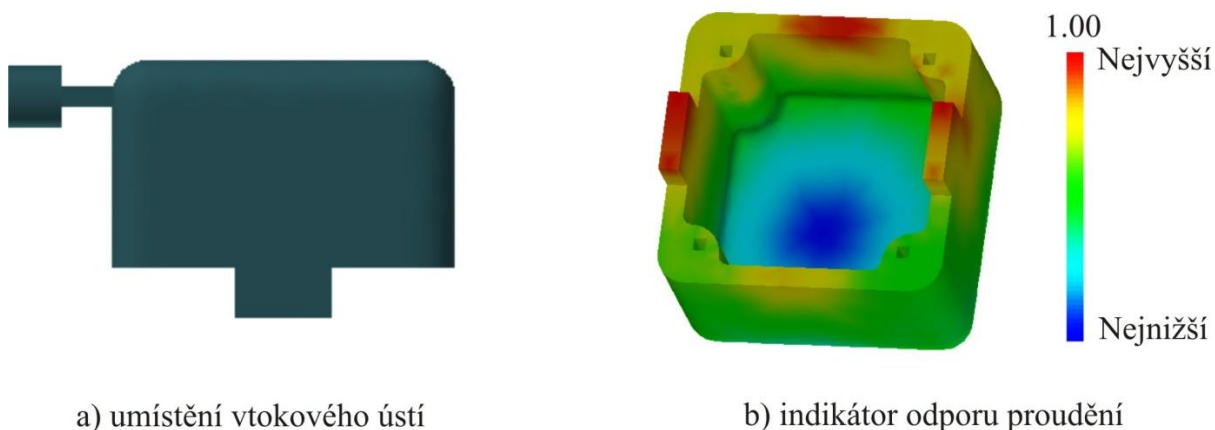
### 5.1. Dělicí rovina a ústí vtoku

Dělicí rovina je zvolena do spodní části zaoblení součásti (obr. 43). V tomto místě je zaručeno snadné zaformování součásti a její následné bezproblémové vyhození. Na součást nejsou kladeny žádné vysoké estetické nároky, takže při volbě polohy dělicí roviny není nutné zohledňovat vzhled výstřiku.



Obr. 43 Dělicí rovina.

Vtokové ústí do dutiny formy je umístěno v dělicí rovině formy (obr. 44a). Nejvhodnějším typem pak je boční vtok. Odpor proudění je zobrazen na obr. 44b. Protože oblasti s nízkým relativním odporem proudění neobklopují oblasti s vysokým relativním odporem proudění, lze předpokládat, že se nebudou vyskytovat defekty.

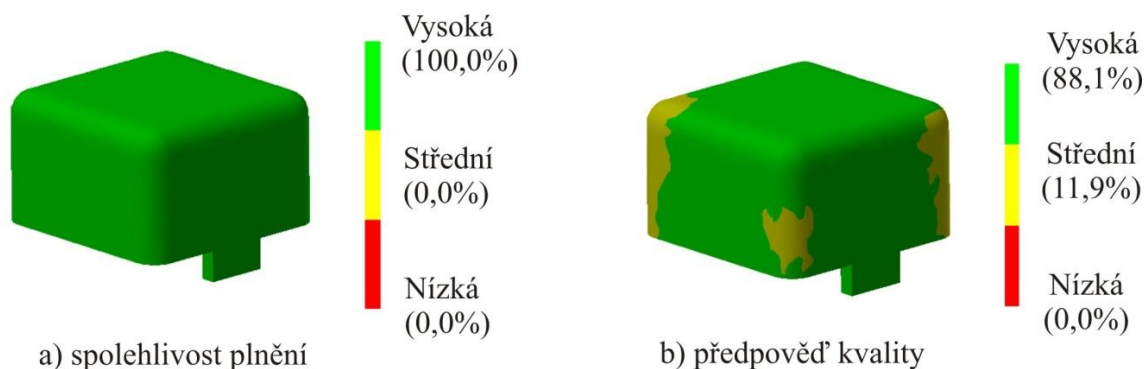


a) umístění vtokového ústí

b) indikátor odporu proudění

Obr. 44 Vtokové ústí.

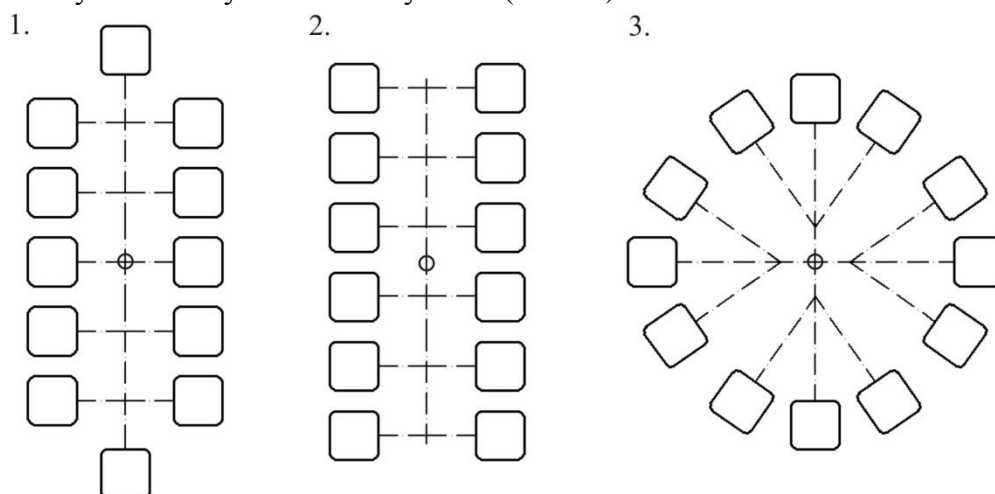
Z výsledků simulace plnění je patrné, že při volbě dělicí roviny v tomto místě výstřiku dojde k bezproblémovému zaplnění dutiny materiálem (obr. 45a). Dále je zřejmé, že výstřik bude dosahovat dostatečné kvality (obr. 45b), jelikož na výstřik nejsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu.



Obr. 45 Simulace plnění dutiny.

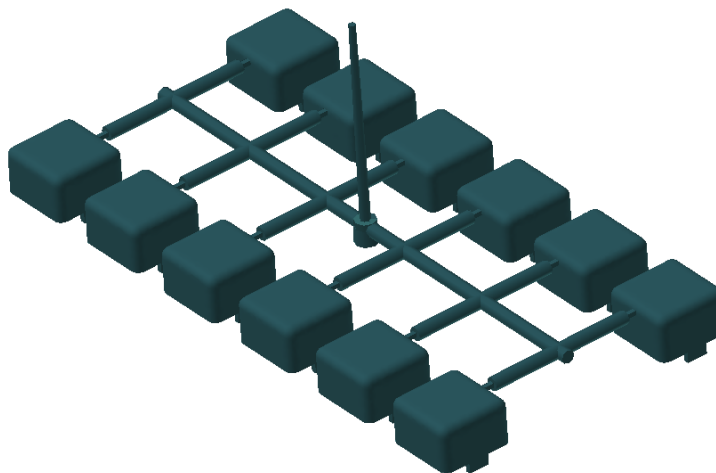
## 5.2. Vtokový systém

Dále je nutné zvolit nejvhodnější studený vtokový systém pro vypočítanou násobnost 12. Byly navrženy tři varianty vtokového systému (obr. 46).



Obr. 46 Navržené varianty vtokového systému.

Z těchto variant byl zvolen vtokový systém 1, který je znázorněn na obr. 47.



Obr. 47 Zvolený vtokový systém.

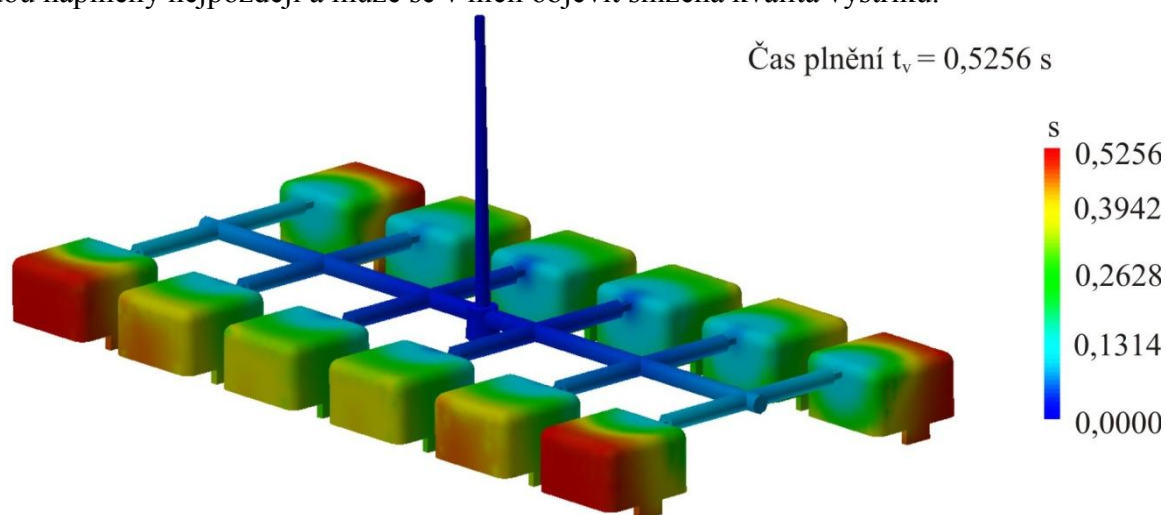
Aby se nedostal studený materiál z vtokového kanálu do rozváděcího kanálu případně do samotné součásti, je nutné umístit do vtokového systému tzv. studené čelo (obr. 48).



Obr. 48 Studené čelo.

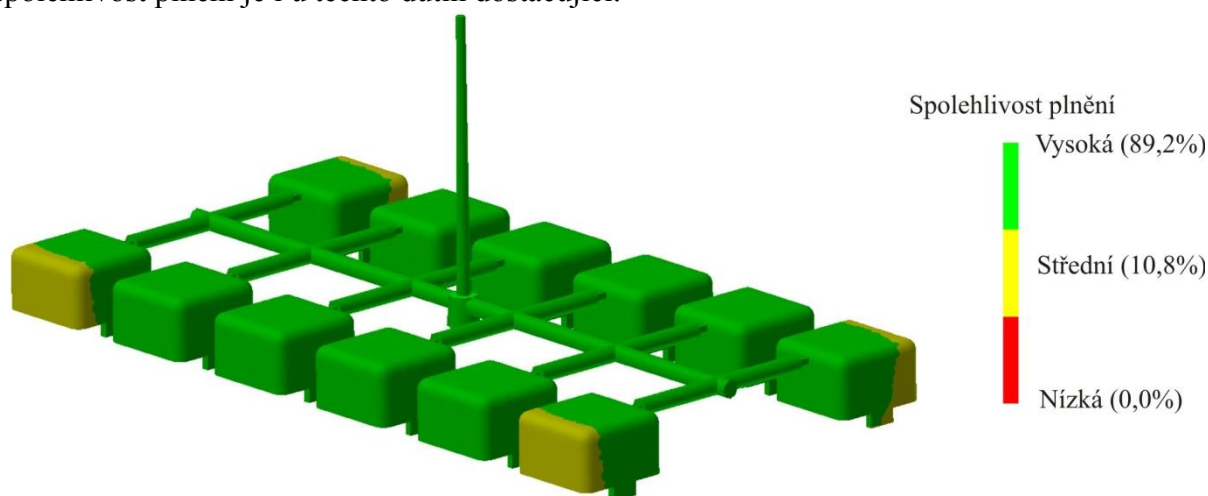
U zvoleného vtokového systému byly provedeny analýzy tečení materiálu, které jsou schopny simulovat jednotlivé fáze vstřikovacího procesu.

Nejprve byla provedena analýza času plnění (obr. 49), z které je patrné, že čas plnění  $t_v$  bude dle programu Autodesk Inventor 0,5256 s. Dále lze odečíst, že krajní tvarové dutiny budou naplněny nejpozději a může se v nich objevit snížená kvalita výstřiků.



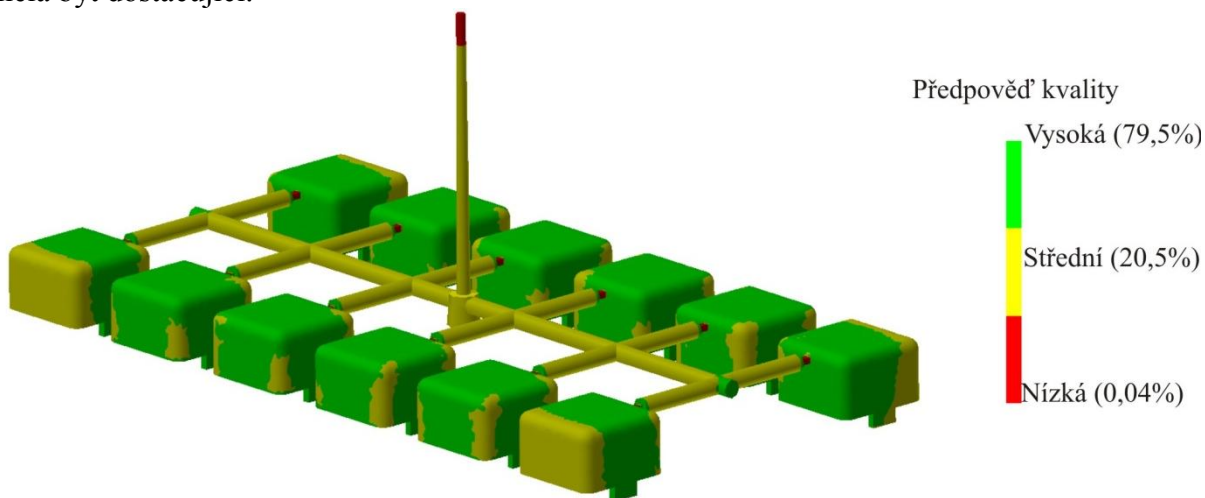
Obr. 49 Analýza času plnění.

Dále byla provedena analýza spolehlivosti plnění (obr. 50). Je zřejmé, že tvarové dutiny budou z většiny bez problémů zaplněné. Problém by mohl nastat opět u krajních dutin, ovšem spolehlivost plnění je i u těchto dutin dostatečná.



Obr. 50 Analýza spolehlivosti plnění.

Z analýzy kvality (obr. 51) vyplývá, že výstřiky budou z velké části splňovat vysoké požadavky na kvalitu. U krajních dutin bude střední kvalita stěny naproti vtoku, přesto by měla být dostatečná.



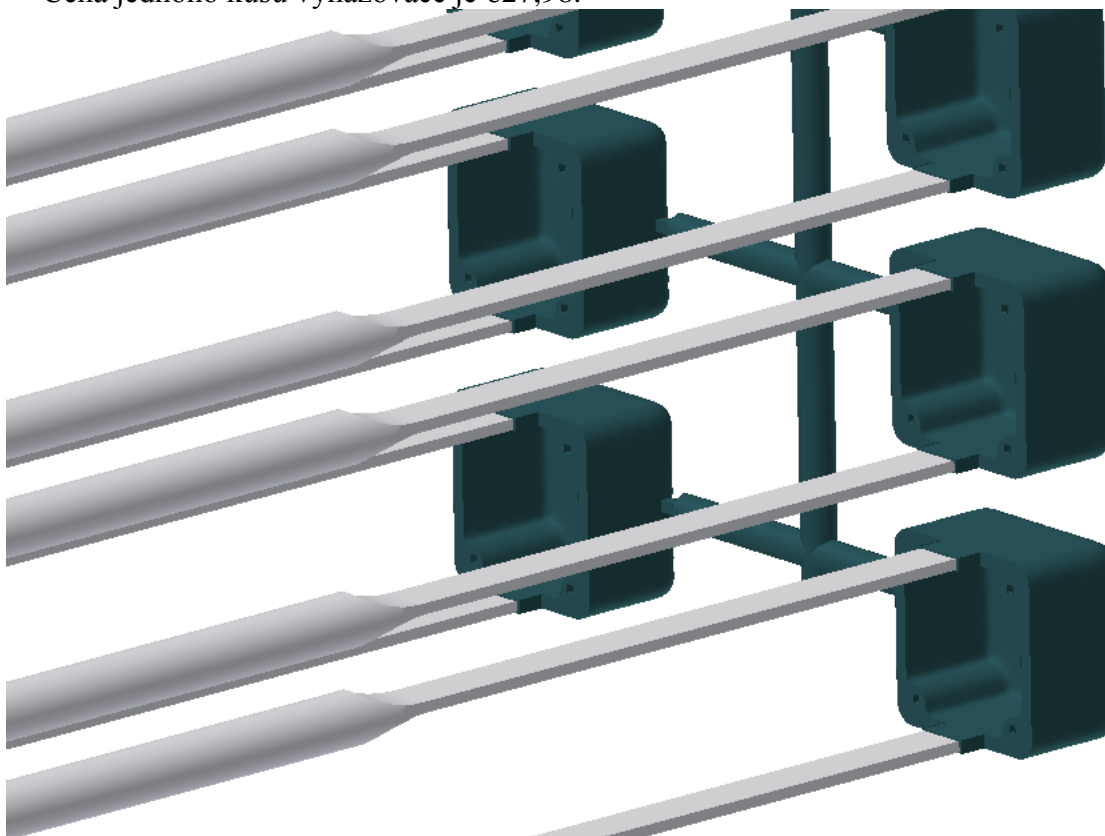
Obr. 51 Analýza kvality.

### 5.3. Vyhazovací systém [39], [29]

Vzhledem k charakteru součásti a velikosti vtokových kanálků, je nutné vyhodit jak samotnou součást, tak i vtokový systém.

Obdélníkové vyhazovače součásti jsou umístěny v opěrkách krytky a tvoří zároveň dno tvarové dutiny (obr. 52). Jako normované vyhazovače jsou zvoleny vyhazovače francouzského výrobce Rabourdin typu 1629. Jelikož jsou vyhazovače polotovary, bude je nutné před montáží ještě upravit.

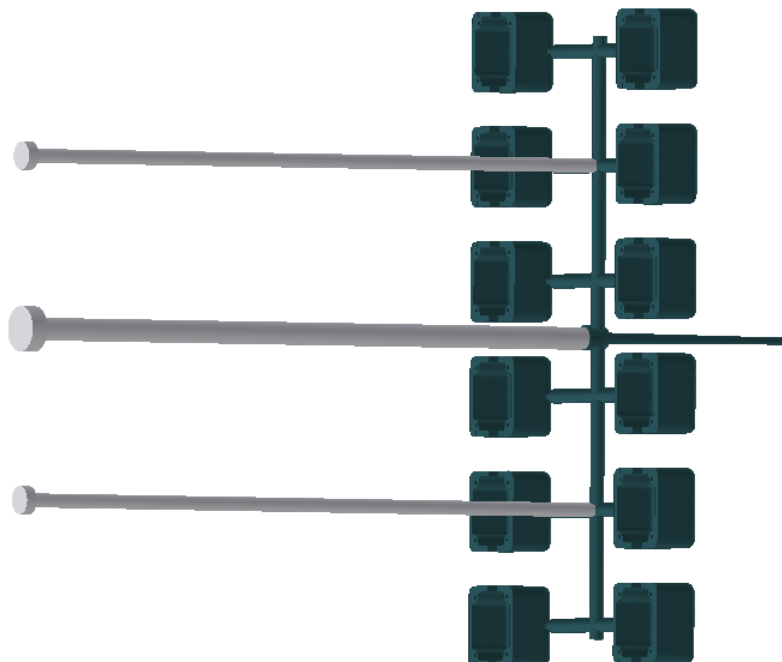
Cena jednoho kusu vyhazovače je €27,98.



Obr. 52 Vyhazovače součásti.

Vyhazovače vtokového zbytku je nutné umístit tak, aby byl bez problému vyhozen (obr. 53). Uprostřed je umístěn vyhazovač většího průměru, který tvoří dno dutiny na studené čelo. Dva tenčí vyhazovače jsou umístěny po stranách. Vyhazovače jsou opět polotovary, tentokrát firmy D-M-E typ AHX, a bude je nutné před montáží upravit.

Cena vyhazovače s větším průměrem ( $\phi$  4,0 mm) je €3,90, vyhazovače s menším průměrem ( $\phi$  2,0 mm) pak €4,16.



Obr. 53 Vyhazovače vtokového zbytku.

#### 5.4. Vložka vtokového kanálu

V závislosti na hmotnosti všech součástí včetně toků, která je dle Autodesk Inventoru 9,5 g, byl určen průměr vložky vtokového kanálu (příloha 3).

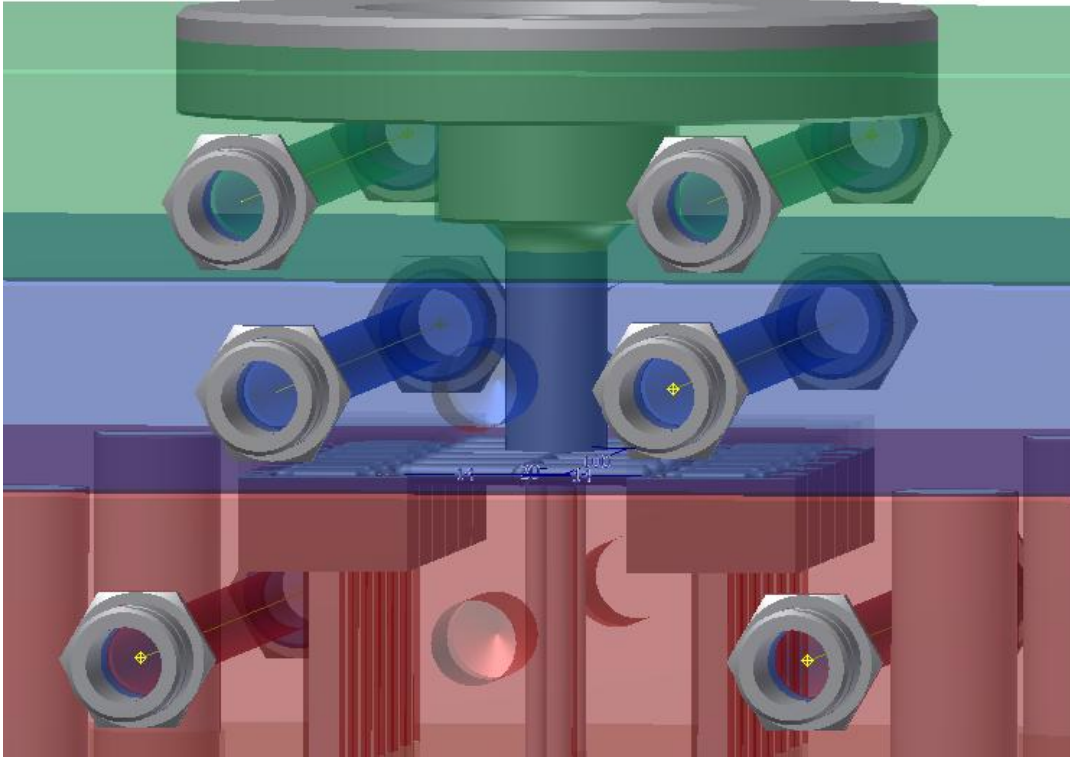
Byla zvolena vložka firmy D-M-E s označením DHR 76 (obr. 54).



Obr. 54 Vložka vtokového kanálu DHR 76. [10]

### 5.5. Temperace

Průměr temperačních kanálků byl určen na 8 mm v závislosti na rozměrech desky a hmotnosti výstřiku (viz příloha 4). Je nutné temperovat jak desku tvárníku, tak i desku tvárnice, čímž je zaručena i dostatečná temperace vložky vtokového kanálu (obr. 55). Zároveň je temperována i upínací deska, což zlepšuje temperaci objímky.



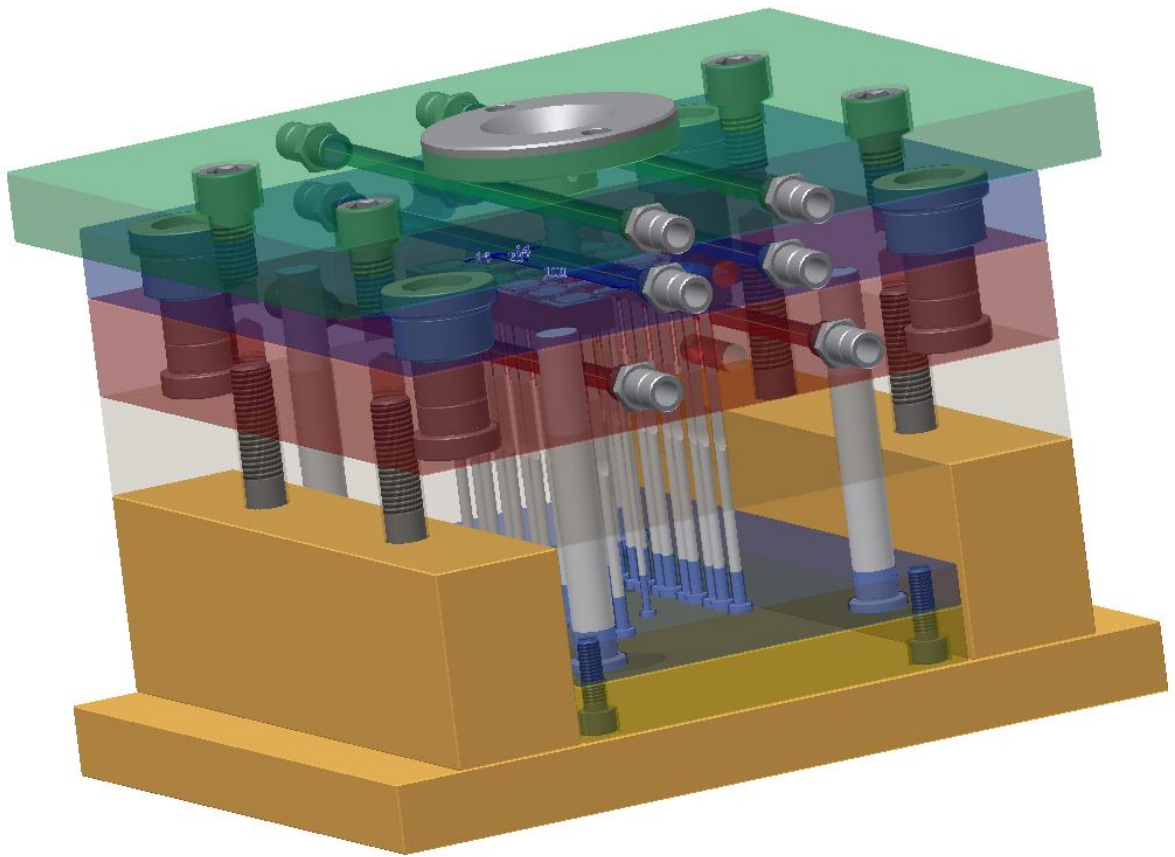
Obr. 55 Temperační kanálky.

### 5.6. Odvzdušnění

Dostatečné odvzdušnění formy by mělo být zajištěno vůlí v dělicí rovině a vůlí okolo vyhazovačů. Nebude-li toto odvzdušnění během zkoušek dostačující a na výstřicích budou vznikat vady, bude nutné formu následně upravit.

### 5.7. Sestava formy

Původní model formy, která je složena z normálií, je znázorněn na obr. 56.



Obr. 56 Model formy.

U tohoto modelu došlo ještě k úpravám, aby byla zajištěna vyšší bezpečnost formy. Výkres sestavy konečné formy je v příloze 8.

## 6. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nedílnou součástí každé výroby je i ekonomické hledisko. Je nutné vzít v úvahu celkové náklady na výrobu zadané série, tedy náklady na vstřikovaný granulový materiál, náklady spojené s výrobou formy, náklady na výrobního dělníka a náklady na provoz stroje.

Celkové náklady se následně rozpočítají na jednotlivé kusy a po započítání marže se stanoví výsledná cena, kterou zaplatí odběratel výrobcí.

### 6.1. Náklady na materiál [8]

Materiál krytky (PA66-GF25 FR) je firmou BASF vyráběn pod označením Ultramid A3X2G5. Jeden kilogram granulového materiálu je prodáván za €4,86 a v České republice je distribuován nadnárodní firmou ALBIS PLASTIC CR s.r.o., která sídlí v Českých Budějovicích.

Ke dni 18.5.2012 byl kurz české koruny k euru dle ČNB 25,325 CZK/1 EUR. Přepočtená cena materiálu je tedy 123,08 Kč/kg.

Celková spotřeba materiálu  $m_c$  se stanoví pomocí velikosti výrobní série  $N$  a hmotnosti výstřiku  $m_v$ :

$$m_c = N \cdot m_v \cdot 10^{-3} = 2\,500\,000 \cdot 0,89 \cdot 10^{-3} = 2\,225 \text{ kg.}$$

Celkové náklady na materiál  $N_m$  se určí ze vztahu:

$$N_m = m_c \cdot C_m = 2225 \cdot 123,08 = \mathbf{273\,853 \text{ Kč}},$$

kde:  $C_m$  [Kč/kg] – cena za 1kg materiálu.

### 6.2. Náklady na výrobu formy

Tyto náklady se skládají z nákladů na materiál formy včetně normálií (vyhazovače, objímka vtokového kanálu, středící kroužky atd.), z nákladů na mzdy pracovníků, kteří se na výrobě formy podílí (konstruktér, obsluha obráběcích strojů atd.), a z nákladů na provoz strojů.

Náklady na výrobu formy  $N_f$  jsou odhadnuty na **450 000 Kč**.

### 6.3. Náklady na mzdy

Jelikož ze stroje budou vypadávat výstřiky spojené se vtokovým systémem, je nutné tyto výstřiky od vtoků oddělovat lámáním, které bude zajišťovat obsluha stroje. Mzdové náklady výrobního dělníka  $M_d$  jsou 107 Kč/hod. Náklady na výrobního dělníka  $N_d$  se určí ze vztahu:

$$N_d = M_d \cdot \tau_p = 107 \cdot 552 = \mathbf{59\,064 \text{ Kč}},$$

kde:  $\tau_p$  [hod] - termín dodání.

$M_d$  [Kč/hod] – náklady na výrobního dělníka.

### 6.4. Režijní náklady

Z nákladů na mzdy lze následně odhadnout režijní náklady  $N_r$ :

$$N_r = N_d \cdot 0,5 = 59\,064 \cdot 0,5 = \mathbf{29\,532 \text{ Kč}}.$$

### 6.5. Náklady na provoz stroje [9]

Pomocí spotřeby elektrické energie a z odpisu stroje lze spočítat náklady provoz stroje  $N_s$ .

Z informací o vstřikovacím stroji (tab. 5) je patrné, že celkový instalovaný příkon stroje je roven 37 kWh.

Cena elektrické energie dle tarifu Standart C03 pro firmy společnosti ČEZ, a. s. je 4,208 Kč.kWh<sup>-1</sup> (viz příloha 5).

Náklady na hodinový provoz stroje  $N_h$  se určí ze vztahu:

$$N_h = \frac{P_f \cdot N_h}{K} = \frac{37 \cdot 4,208}{0,8} = 194,62 \text{ Kč/hod,}$$

kde:  $P_f$  [kW] – celkový příkon stroje,  
 $K_s$  [-] – koef. opotřebenění stroje ( $0,7 \div 0,9$ ), voleno 0,8,  
 $N_{kwh}$  [Kč.kWh<sup>-1</sup>] – cena kilowatthodiny.

Celkové náklady na provoz stroje  $N_s$  během výroby dané série:

$$N_s = N_h \cdot \tau_p = 194,62 \cdot 552 = \mathbf{107\ 430 \text{ Kč.}}$$

### 6.6. Celkové náklady

Celkové náklady  $N_c$  na požadovanou výrobu série 2 500 000 ks se určí součtem nákladů na materiál, na výrobu formy, na mzdy pracovníků, na provoz stroje a režijí:

$$N_c = N_m + N_f + N_d + N_s + N_r = 273\ 853 + 450\ 000 + 59\ 064 + 107\ 430 + 29\ 532$$

$$N_c \approx \mathbf{920\ 000 \text{ Kč.}}$$

### 6.7. Náklady na jeden výrobek

Náklady na jeden výrobek  $N_k$  se následně určí ze vztahu:

$$N_k = \frac{N_c}{N} = \frac{920\ 000}{2\ 500\ 000} = \mathbf{0,368 \text{ Kč.}}$$

### 6.8. Zisk z výrobní série

Z nákladů na jeden výrobek  $N_k$  se stanoví konečná cena jednoho kusu krytky, kterou určuje trh a má na ní zásadní vliv. V závislosti na konkurenci se určí marže a po jejím započtení je stanovena celková cena výrobku.

Např.:

Pro stanovenou marži 25% je konečná cena krytky  $C = \mathbf{0,460 \text{ Kč.}}$

Tržby  $T$  z dané výrobní série  $N$ :

$$T = C \cdot N = 0,460 \cdot 2\ 500\ 000 = \mathbf{1\ 150\ 000 \text{ Kč.}}$$

Zisk z výrobní série  $Z$  je poté určen:

$$Z = T - N_c = 1\ 150\ 000 - 920\ 000 = \mathbf{230\ 000 \text{ Kč.}}$$

## ZÁVĚR

Pro zadanou sérii 2 500 000 ks krytek s termínem dodání 23 dní byla navržena vhodná technologie výroby, zvolen vstřikovací stroj a stanovena termínová násobnost 12. Pro tuto násobnost je navržen vhodný studený vtokový systém, jenž zajistí bezpečné naplnění tvarových dutin.

Ke vstřikování je zvolen stroj CS 195/100, který má dostatečnou vstřikovací i plastifikační kapacitu a zároveň splňuje požadavek na velikost uzavírací síly, což zaručí, že se forma během vstřikovacího cyklu neotevře.

Následně byla součást „krytka“ zaformována a na základě výpočtů byla zkonstruována vstřikovací forma. Z výsledků simulace je patrné, že dutiny formy budou bezpečně naplněny a výstřiky budou dosahovat převážně vysoké kvality. Výjimkou jsou výstřiky umístěny nejdále od vtokového ústí, které budou dosahovat mírně snížené kvality, která je ovšem pro zadanou součást dostačující.

Na závěr jsou určeny celkové náklady spojené s výrobou zadané série, které dosahují po sečtení všech položek 920 000 Kč. Výrobní náklady na jeden kus krytky tedy vycházejí na 0,368 Kč.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] 1-68. WWW.1-68.COM. *Injection molding* [online]. 2011 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.1-68.com/wenku/201104/05/147860.html>
- [2] BASF Corporation. *Ultramid A3X2G5* [online]. 2012 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.basf.com.br/PSMLoad.dll?id=2285&usage=501>
- [3] Bay. BAY ZOLTÁN ALKALMAZOTT KUTATÁSI KÖZHASZNÚ NONPROFIT KFT. *Sandwich molding* [online]. 2012 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: [http://www.bzaka.hu/bzaka/bzaka\\_angol.head.page?nodeid=1110](http://www.bzaka.hu/bzaka/bzaka_angol.head.page?nodeid=1110)
- [4] Billion. BILLION. *SANDWICH MOULDING* [online]. 2012 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.billion.fr/-SANDWICH-MOULDING->
- [5] BRM International. *Plastic Granules* [online]. 2010 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: [http://brmintl.com/?attachment\\_id=174](http://brmintl.com/?attachment_id=174)
- [6] China Plastic. *Co-Injection* [online]. 2010 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://chinaplastic.org/injmold/coinjection.html>
- [7] CustomPartNet. CUSTOMPARTNET. *Injection Molding* [online]. 2009 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>
- [8] Česká národní banka. *Kurzy devizového trhu* [online]. 2012, 2012-05-18 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/denni\\_kurz.jsp](http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp)
- [9] ČEZ ZÁKAZNICKÉ SLUŽBY, s.r.o. *Ceny produktů pro podnikatele*. 2012.
- [10] Direct Industry. *D-M-E: Mold Components* [online]. 2007 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: [http://pdf.directindustry.com/pdf/dme-europe/mold-components/65980-152730\\_20.html](http://pdf.directindustry.com/pdf/dme-europe/mold-components/65980-152730_20.html)
- [11] Directindustry. *Externally heated sprue nozzle for injection molding for injection molding* [online]. 2012 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/ewikon/externally-heated-sprue-nozzles-for-injection-molding-for-injection-molding-20468-45861.html>
- [12] DPS Distribution: Danetti. *Plastic Coloured Dining Chair* [online]. 2012 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.danetti.com/dining-chairs/podo-plastic-coloured-dining-chair>
- [13] Fanpop, Inc. *Lego people* [online]. 2010 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.fanpop.com/spots/lego/images/8853733/title/lego-people-photo>
- [14] Flickr. YAHOO!. *Co-injection (sandwich) molding* [online]. 2009 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.flickr.com/photos/stephenwoolverton/3736305769/>
- [15] Gejaplast. *Gasinjectors* [online]. 2012 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.gejaplast.eu/?pagina=product&main=44&sub=0&pag=0>
- [16] Global b2b Network. GERMES LLC. *Steam Iron* [online]. 2012 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: [http://www.global-b2b-network.com/b2b/93/481/24918/steam\\_iron.html](http://www.global-b2b-network.com/b2b/93/481/24918/steam_iron.html)
- [17] Invera. INVERA S. R. O. *VSTŘIKOVACÍ STROJE NA PLASTY - INVERA* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.invera.cz/index.php?lang=cs&id=vstrik-stroje-intec>
- [18] Jaso. JASO-DISTRIBUTOR, spol. s r.o. *Magnesia PET 1,5l* [online]. 2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: <http://www.jaso.cz/magnesia-pet-1-5-l-katskup4020702>
- [19] Jeco-tech. JECO GCM TECHNOLOGY HK CO.,LTD. *The Profile of GAS Assisted Injection Molding* [online]. 2012 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.jeco-tech.com/en/technology.asp>
- [20] KANDUS, Bohumil. *Podklady do cvičení Technologie zpracování plastů*.

- [21] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986
- [22] KR ČSVTS - KV SPCH JIHOMORAVSKÉHO KRAJE V BRNĚ. *XIX. BULLETION OS UNIPLAST DÍL III.: Vstřikovací formy pro termoplasty 1. díl*. Brno: KV Společnosti průmyslové chemie JmK Brno, 1985, 151 s.
- [23] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 110 s. ISBN 80-737-2020-5. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)
- [24] MD Plastics. MD PLASTICS. *SEP Power Operated Shut-Off Nozzle* [online]. 2011 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.mdplastics.com/power-operated-shut-off-nozzle/>
- [25] NEUHÄUSL, Emil. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Vady výstřiků 1.-6. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2010, č. 3 [cit. 2012-05-24]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanky.html>
- [26] New Car Collections. *2011 Nissan Leaf Electric Car* [online]. 2010 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: <http://newcarcollections.com/2010/10/2011-nissan-leaf-electric-car/>
- [27] Plastics Portal, The. PLASTICSEUROPE. *The Compelling Facts About Plastics 2009* [online]. 2009 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: [http://www.plasticseurope.org/Documents/Document/20100225141556-Brochure\\_UK\\_FactsFigures\\_2009\\_22sept\\_6\\_Final-20090930-001-EN-v1.pdf](http://www.plasticseurope.org/Documents/Document/20100225141556-Brochure_UK_FactsFigures_2009_22sept_6_Final-20090930-001-EN-v1.pdf)
- [28] Polynet. INSTITUT FOR PROCESTEKNIK DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET. *FORMING AND SHAPING PROCESSES* [online]. 1996, 1996-07-29 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://polynet.dk/ingpro/forming/sandwic.htm>
- [29] Rabourdin Industrie. RABOURDIN INDUSTRY. *1629-3,8-1-125* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: [http://www.rabourdin.fr/SITE\\_RAB/i\\_home\\_en.html](http://www.rabourdin.fr/SITE_RAB/i_home_en.html)
- [30] Rutland Plastics Limited. *Facts about plastics* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.rutlandplastics.co.uk/plastics.shtml>
- [31] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2008, 228 s. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [32] Sinotech. SINOTECH, Inc. *Injection molding* [online]. 2012 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.sinotech.com/injectionMolded.html>
- [33] Solar Bat. SOLAR BAT ENTERPRISES INC. *Chevy Style 1001* [online]. 2012 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.solarbat.com/products/chevy-style-1001>
- [34] SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha: Dashöfer, 1999. ISBN 80-862-2915-7.
- [35] Stieler. THE STIELER KUNSTSTOFF SERVICE GMBH. *WIT – Water injection technology* [online]. 2012 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://cms.stieler.de/en/special-processes/wit>
- [36] Synventive Molding Solutions. SYNVENTIVE MOLDING SOLUTIONS. *Machine Nozzles: Mixing & Filter Nozzles* [online]. 2012 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.synventive.com/synventive-machine-nozzles.aspx>
- [37] ŠTRONER, Marek. *Podklady do cvičení Technologické projektování*. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni.htm>
- [38] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Studijní materiály do TZN*. 2010. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/)
- [39] Tesis. TESIS. *D-M-E - Moldmaking Solutions* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: [http://www.thesis.com.ru/infocenter/downloads/dme/ejectorpins\\_uk\\_lr.pdf](http://www.thesis.com.ru/infocenter/downloads/dme/ejectorpins_uk_lr.pdf)
- [40] ŽÁK, Ladislav. *Podklady do cvičení HTN - Tvářecí nástroje: Vstřikovací formy*. 39 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni.htm>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKTRATEK A SYMBOLŮ

$a_{\text{eff}}$	$[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	měrná tepelná vodivost materiálu,
$A_{\text{proj}}$	$[\text{mm}^2]$	obsah průmětu výstřiků včetně rozváděcích kanálů do dělicí roviny,
$a_s$	$[\text{mm}]$	smáčivost,
$C_m$	$[\text{Kč/kg}]$	cena za 1 kg materiálu,
$C_p$	$[\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}]$	minimální plastifikační kapacita,
$C_v$	$[\text{cm}^3]$	minimální vstřikovací kapacita,
$D'$	$[\text{mm}]$	tabulková hodnota průměru,
$D_k$	$[\text{mm}]$	průměr rozváděcích kanálků formy,
$D_v$	$[\text{mm}]$	vstupní průměr vtokového kanálu,
$F_p$	$[\text{kN}]$	přisouvací síla,
$F_u$	$[\text{kN}]$	uzavírací síla,
$K$	$[-]$	faktor využití času,
$K_1$	$[-]$	koef. tekutosti materiálu,
$K_2$	$[-]$	koef. délky rozváděcích kanálků,
$K_c$	$[-]$	korekční součinitel délky rozváděcího kanálu,
$K_v$	$[-]$	korekční součinitel vlastností kanálu,
$K_p$	$[-]$	korekční součinitel pro plněné polymery,
$K_s$	$[-]$	koef. opotřebení stroje,
$L$	$[\text{mm}]$	délka rozváděcích kanálků,
$l$	$[\text{mm}]$	smáčivý obvod kanálu,
$M_d$	$[\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}]$	mzdové náklady výrobního dělníka,
$m_v$	$[\text{g}]$	hmotnost výstřiku,
$N$	$[\text{ks}]$	velikost výrobní série,
$N_c$	$[\text{Kč}]$	celkové náklady,
$N_d$	$[\text{Kč}]$	náklady na výrobního dělníka,
$N_h$	$[\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}]$	náklady na hodinový provoz stroje,
$N_k$	$[\text{Kč}]$	náklady na jeden výrobek,
$N_{\text{kwh}}$	$[\text{Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}]$	cena kilowatthodiny,
$N_m$	$[\text{Kč}]$	celkové náklady na materiál,
$N_r$	$[\text{Kč}]$	režijní náklady,
$N_s$	$[\text{Kč}]$	celkové náklady na provoz stroje,
$n_p$	$[-]$	praktická násobnost formy,
$p$	$[\text{MPa}]$	tlak vztažený na jednotku plochy šneku,
$P_f$	$[\text{kW}]$	celkový instalovaný příkon stroje,
$p_i$	$[\text{MPa}]$	vnitřní tlak ve formě,
$p_v$	$[\text{MPa}]$	vstřikovací tlak,
$Q$	$[\text{J}]$	teplo, které projde stěnou,
$Q_K$	$[\text{J}]$	teplo odvedené do okolí,
$Q_P$	$[\text{J}]$	teplo přivedené polymerem,
$Q_R$	$[\text{J}]$	ztráta tepla vyzařováním,
$Q_t$	$[\text{J}]$	teplo odvedené temperací,
$Q_V$	$[\text{J}]$	teplo odvedené do upínacích ploch,
$S$	$[\text{mm}^2]$	průřez kanálu,
$s$	$[\text{mm}]$	tloušťka stěny výstřiku,
$S_k$	$[\text{m}]$	tloušťka stěny,
$s_k$	$[\text{mm}]$	pohyb šneku,
$s_n$	$[\text{mm}]$	pohyb nástroje,

$S_p$	$[m^2]$	obsah plochy stěny,
$T$	$[K\check{c}]$	celkové tržby,
$t_c$	$[s]$	doba vstřikovacího cyklu,
$t_d$	$[s]$	doba dotlaku,
$T_E$	$[^{\circ}C]$	střední vyhazovací teplota,
$T_f$	$[^{\circ}C]$	teplota viskózního toku,
$t_{ch}$	$[s]$	doba chlazení,
$T_m$	$[^{\circ}C]$	teplota tání,
$t_m$	$[s]$	doba manipulace,
$T_M$	$[^{\circ}C]$	teplota taveniny,
$t_{pl}$	$[s]$	doba plastikace,
$t_{s1}$	$[s]$	strojní doba na zavření formy,
$t_{s2}$	$[s]$	strojní doba na uzamknutí formy,
$t_{s3}$	$[s]$	strojní doba na otevření formy,
$T_{tav}$	$[^{\circ}C]$	teplota taveniny,
$t_v$	$[s]$	doba plnění dutiny formy,
$T_w$	$[^{\circ}C]$	teplota formy,
$V$	$[cm^3]$	objem součásti,
$V_k$	$[cm^3]$	objem rozváděcích kanáleků,
$V_d$	$[cm^3]$	objem vstřikované dávky,
$Z$	$[K\check{c}]$	celkový zisk,
$\Delta T$	$[K]$	rozdíl teplot,
$\lambda$	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti,
$\rho$	$[g.cm^{-3}]$	hustota materiálu,
$\tau_p$	[hod]	termín dodání.

## SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha 1** – Výkres součásti.

**Příloha 2** – Materiálový list PA66-GF25 FR. [2]

**Příloha 3** – Závislost průměru objímky licího kanálu na hmotnosti výstřiku. [34]

**Příloha 4** – Závislost průměru temperačního kanálu na velikosti rámu formy a hmotnosti výstřiku. [40]

**Příloha 5** – Ceník tarifů pro podnikatele společnosti ČEZ. [9]

**Příloha 6** – Ukázka způsobů odvzdušnění forem. [34]

**Příloha 7** – Podklady pro stanovení násobnosti vstřikovací formy. [34]

**Příloha 8** – Sestava vstřikovací formy.