

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 "KLÍČENKA"

PRODUCTION OF COMPONENTS "KEY POUCH"

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN KAŠPAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Kašpar

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 bakalářské práce:

Výroba součásti "Klíčenka"

v anglickém jazyce:

Production of components "Key pouch"

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na konstrukci formy pro vstřikování plastů.

Cíle bakalářské práce:

1. Literární studie dané problematiky
2. Návrh technologie výroby doložený potřebnými výpočty
3. Konstrukce vstřikovací formy
4. Ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- DILLINGER, Josef, et al. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Z něm. orig. Fachkunde Metall přeložil Jiří Handlír. 55. vyd. Praha : Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1. 562 s.
- ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha : SEKURKON s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86604-36-7. 228 s.
- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009, ISBN 978-80-7300-250-3
- JANCUŠOVA, Maria. Formy na tvárnenie plastov. 1. vyd. Žilina : EDIS - ŽU, 2010. 155 s. ISBN 978-810-550-0191-5.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 21.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Hlavním cílem bakalářské práce je výroba vstřikovací formy na zadanou součást klíčenka. V první části práce je popsáno základní rozdělení plastů, technologie vstřikování plastů a zásady konstrukce forem. Druhá část se zabývá vlastní konstrukcí formy zpracované v programu Solidworks. Výstupem je výkresová dokumentace. Na závěr je provedeno ekonomické zhodnocení, které stanoví přibližnou cenu výroby formy.

Klíčová slova

plastový výlisek, technologie vstřikování termoplastů, vstřikovací forma, vstřikovací stroj

ABSTRACT

The main aim of this thesis is the production of injection moulds for a given component key pouch. The first part of the work describes the basic division of plastics, plastic injection technology and principles of mould construction. The second part deals with actual mould construction processed in Solidworks. The drawing documentation is the output. In conclusion, an economic evaluation is completed that will provide approximate cost of production moulds.

Keywords

plastic moulding, thermoplastic injection technology, injection mould, injection moulding machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAŠPAR, J. *Výroba součástí "Klíčenka"*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **VÝROBA SOUČÁSTI "KLÍČENKA"** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jan Kašpar

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto mému vedoucímu panu Ing. Ladislavu Žákovi Ph.D za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval všem ve firmě IDSC, spol. s.r.o., kteří mi poskytli své cenné znalosti a věnovali mi svůj čas.

OBSAH

ABSTRAKT

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	- 10 -
1 ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ	- 11 -
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	- 12 -
2.1 Vstřikovací cyklus	- 12 -
2.2 Technologické zásady při konstrukci plastových vylisků	- 14 -
2.3 Vady výstřiku	- 15 -
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	- 16 -
3.1 Postup při konstrukci formy	- 17 -
3.2 Smrštění	- 19 -
3.3 Vtokové systémy.....	- 20 -
3.3.1 Studený vtokový systém	- 20 -
3.3.2 Vyhřívaná vtoková soustava.....	- 25 -
3.4 Vyhazovací systém	- 27 -
3.4.1 Mechanické vyhazování	- 27 -
3.4.2 Vzduchové vyhazování.....	- 28 -
3.4.3 Hydraulické vyhazování	- 29 -
3.5 Temperování forem.....	- 29 -
3.5.1 Volba temperačních kanálů	- 29 -
3.5.2 Tepelná bilance formy	- 32 -
3.6 Odvzdušňování forem.....	- 33 -
3.7 Kontrolní výpočty	- 33 -
4 VSTŘIKOVACÍ STROJE	- 35 -
4.1 Vstřikovací jednotka	- 36 -
4.2 Uzavírací jednotka	- 36 -
5 PRAKTICKÁ ČÁST	- 37 -
5.1 Zadání vylisku.....	- 37 -
5.2 Materiál vylisku	- 37 -
5.3 Volba vstřikovacího stroje	- 38 -
5.4 Zaformování a dělicí rovina.....	- 39 -
5.2 Volba násobnosti.....	- 39 -
5.3 Návrh vtokového systému	- 39 -
5.4 Návrh vyhazovacího systému	- 40 -

5.5 Návrh temperačního systému.....	- 41 -
5.6 Funkce formy	- 42 -
5.6.1 Uzavřená forma.....	- 42 -
5.6.2 Otevřená forma	- 43 -
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	- 44 -
ZÁVĚR	- 47 -
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	
SEZNAM PŘÍLOH	

ÚVOD

Výroba a zpracování plastů obr. 0.1 je ve srovnání se zpracováním kovů poměrně novou technologií. V dnešní době je mnoho kovových součástí nahrazováno za plastové, neboť je jejich výroba mnohdy jednodušší a levnější, což se ve výsledku projeví na konečné ceně výrobku. V současné době existují různé technologie zpracování. Mezi nejrozšířenější patří technologie vstřikování termoplastů. Tento způsob výroby spočívá v roztavení plastového granulátu a následného vstříknutí do formy. Finálního tvaru výrobku je dosaženo pomocí tvarové dutiny.

Vstříkovací formy jsou složité nástroje, na které je kladen požadavek na automatický a bezproblémový chod. Velikost formy je závislá na mnoha faktorech. Základní velikost je dána z velikosti a tvarové náročnosti konečného výlisku. U složitějších tvarů je nutnost použití bočních jader, což vede ke zvýšení velikosti a složitosti nástroje a tím jeho vyšší ceny. Vzhledem k vysoké ceně nástroje je tato technologie využívána u vyšších sérií. Výjimku tvoří prototypové formy, které jsou určeny pro výrobu určitého počtu zkušebních výlisků, kterými se ověří funkčnost výlisku před samotnou výrobou sériové formy, která je mnohem dražší a konstrukčně náročnější.



Obr. 0.1 Příklady plastových výrobků [15]

1 ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ [4]

V současné době existuje velké množství různých druhů plastů obr. 1.1, avšak používaných pro technické účely je jich pouze malá část. Při návrhu plastového výlisku jsou vlastnosti materiálu velice důležité. Pro technologii vstřikování jsou nejvíce používány tzv. termoplasty patřící mezi polymery. Jsou to takové druhy plastů, které zahříváním měknou a stávají se plastickými. Výhodou termoplastů je jejich snadná reprodukovatelnost novým roztavením a následným roztavením.

Podle chování při působení teploty se dělí na:

- termoplasty,
- reaktoplasty (dříve termosety),
- elastomery, pryže, kaučuky.

Termoplasty - patří mezi nejvíce používané plastické hmoty, které při působení tepla měknou a jsou opět tvarovatelné. Při ohřevu nemění své chemické vlastnosti, je tedy teoreticky možné tvarovat jej do nekonečna.

Reaktoplasty - měknou pouze v první fázi zahřívání, kdy je lze omezenou dobu tvářet. Vlivem dalšího zahřívání dochází k chemické reakci - vytvrzování. Vytvrzený plast nejde dále roztavit a tvarovat. Při dalším ohřevu dochází k degradaci.

Elastomery, pryže, kaučuky - Obdobně jak reaktoplasty v první fázi zahřívání měknou a mají omezenou dobu tváření. Při dalším zahřívání probíhá tzv. vulkanizace. Výjimku tvoří skupina elastomerů na bázi termoplastů, u kterých nedochází ke změně struktury.

TERMOPLASTY				
Polyolefiny		Akryláty		
PE		polyetylén	PMMA	polymethylmetakrylát
	HDPE	lineární polyetylén	MBS	metylmetakrylát – butadien - styren
	LDPE	rozvětvený polyetylén	Polyamidy	
	UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	PA	polyamid
PP		polypropylén	Polyétery	
Chlorované plasty		POM	polyoxymetylen	
PVC		polyvinylchlorid	PFO	polyfenylénoxid
Styrénové plasty		Polyestery		
PS		polystyrén	PET	polyetyléntereftalát
	PS-GP	standardní polystyrén	PBT	polybytléntereftalát
	PS-HI	houževnatý polystyrén	PC	polykarbonát
	PS-E	pěnový polystyrén	Vinylové plasty	
SB		styrén – butadien	PVAC	polyvinylacetát
ABS		akrylonitril – butadien – styrén	Ketony, sulfidy, sulfony a imidy	
SAN		styrén – akrylonitril	PEEK	polyéterétherketon
ASA		akrylonitril – styrén – akrylát	PPS	polyfenylénsulfid
Fluoroplasty		PSU	polysulfon	
PTFE		polytetrafluóretylén	PES	polyéthersulfon
ETFE		etylén - tetrafluóretylén	PI	polyimid
REAKTOPLASTY				
Fenoplasty		Epoxidy		
PF		fenolformaldehydová pryskyřice	EP	epoxidová pryskyřice
Aminoplasty		Polyesterové pryskyřice		
UF		močovinoformaldehydová pryskyřice	PESL	polyesterové skelné lamináty
MF		melaminové pryskyřice		

Obr. 1.1 Rozdělení plastů dle chemického složení [4]

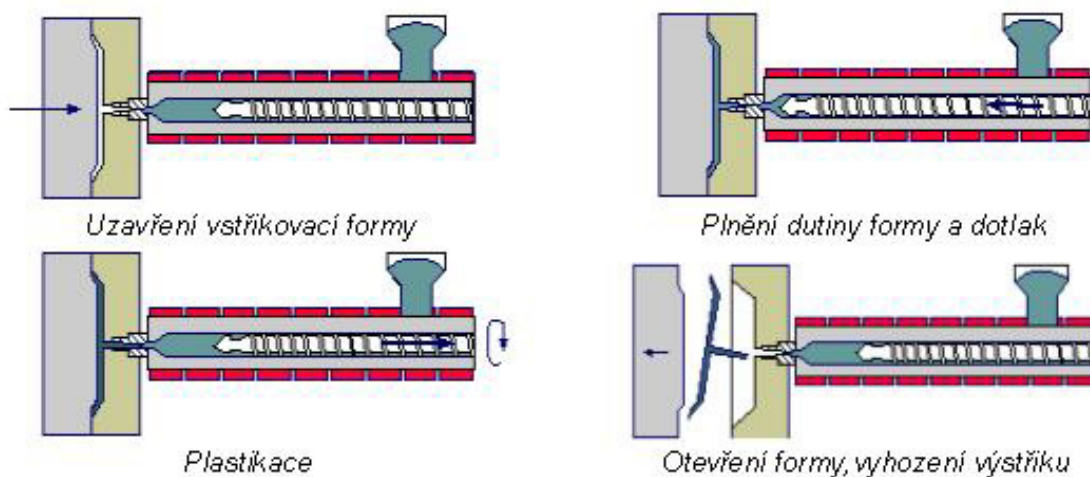
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [4]

Vstřikování je proces, ve kterém je natavený plast vstříknut pod tlakem do uzavřené formy, která obsahuje tvarovou dutinu. Po zchlazení vylisku na vyhazovací teplotu dojde k otevření formy a vyhození vylisku. Poté se forma zavře a je připravena k novému cyklu. Touto technologií je možno zpracovávat rozmanité tvary s vysokou přesností z různých materiálů.

Vstřikovací stroje používané k tváření bývají hodně automatizované, které po prvotním seřízení nepotřebují tolik kvalifikovanou obsluhu. Vstřikování je velice výhodná technologie z hlediska odpadu materiálu, který je u této technologii skoro nulový. Jedná se o produktivní metodu výroby, vhodnou zejména pro sériovou a hromadnou výrobu, z důvodu pořizovací ceny vstřikovací formy.

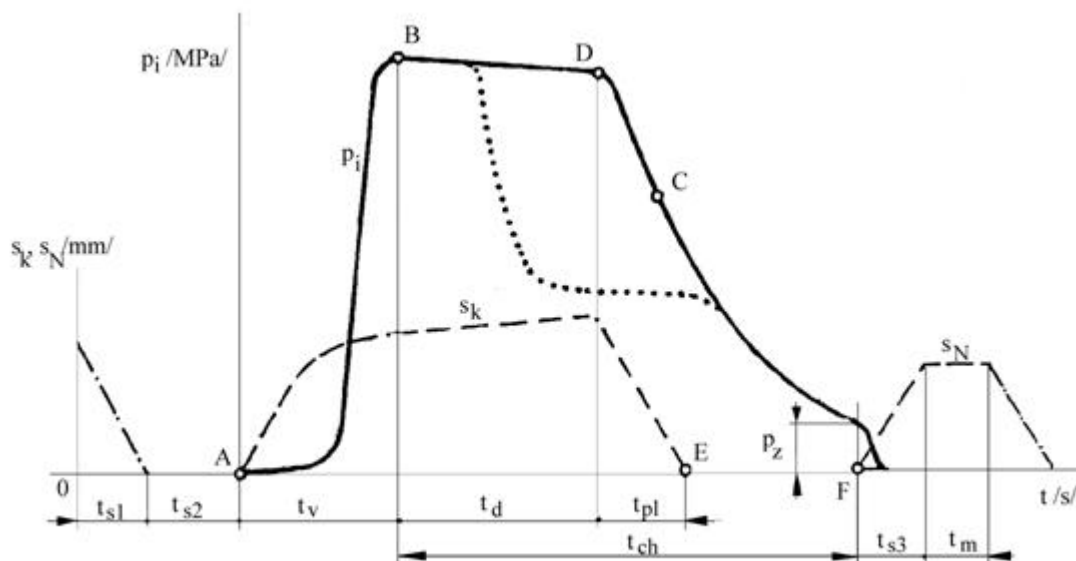
2.1 Vstřikovací cyklus [4]

Vstřikovací cyklus je sled přesně definovaných operací viz. obr. 2.1. Počátkem cyklu je uvažována doba impulsu, která odpovídá k uzavírání formy.



Obr. 2.1 Vstřikovací cyklus [4]

Vstřikovací cyklus může být dále posuzován i z hlediska zpracovaného plastu. Toto hledisko je možné vyjádřit pomocí závislosti tlaku v dutině formy na čase. Tomuhle tlaku se říká vnitřní tlak s označením p_i . Vedle vnitřního tlaku existuje i vnější tlak označován jako p , kterým se rozumí tlak vztažený na jednotku průřezu šneku. Průběh vnitřního tlaku při pracovním cyklu je vyobrazen na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Průběh vnitřního tlaku během vstřikovacího cyklu [4]

Na obr. 2.2 je znázorněn průběh vnitřního tlaku působící během vstřikovacího cyklu. Plná čára vyobrazuje průběh tlaku, přerušovaná pohyb šneku a čerchovaná pohyb formy. V bodě **A** je zahájeno vstřikování, které je ukončeno v bodě **B**. Ve stejnou dobu je zahájen dotlak, který končí v bodě **D**, ve kterém současně začíná plastifikace ukončená v bodě **E**. Během dotlaku a plastifikace probíhá ochlazování. V bodě **C** dochází k zatuhnutí taveniny, která je ve vtokovém kanálu. Otevření formy probíhá v bodě **F**, kde je výlisek vyhozen. Význam jednotlivých časů: t_{s1} je čas potřebný k uzavření formy, t_{s2} je čas potřebný k přisunutí vstřikovací jednotky, t_{s3} je čas potřebný k otevření formy, t_v je čas vstřikovací, t_s je doba dotlaku, t_{pl} značí čas plastifikace, t_m je doba manipulace, t_{ch} odpovídá době chlazení, p_i zastupuje vnitřní tlak a p_z tlak zbytkový, který je ve formě přítomen při jejím otevření.

V čase nula začne zahájení vstřikovacího cyklu. Pohyblivá část se posune k pevné, forma se uzavře a uzamkne. Tyto dvě činnosti je nutné odlišit, neboť při přisouvání stačí jen malá síla označená F_p , zatímco na uzamknutí je nutná až třikrát větší síla, označována jako F_u , z důvodu zajištění formy proti otevření při tlaku, který působí během vstřikování. Po uzavření se začne pohybovat šnek v tavící komoře a nastane vlastní vstřikování roztaveného plastu do dutiny formy. V tomto okamžiku se šnek neotáčí, ale vykonává pouze axiální pohyb (funkce pístu). Po ukončení plnění se tavenina dále stlačí, přičemž tlak dosáhne maximální hodnoty.

Po kontaktu taveniny s dutinou formy začíná přecházet teplo z roztavené taveniny do vstřikovací formy. Následuje chlazení na vyhazovací teplotu, které trvá až do otevření formy a následného vyhození výlisku. Rozlišuje se ochlazování za plného nebo klesajícího tlaku. Doba ochlazování je závislá jak na tloušťce taveniny tak i na teplotě formy označované T_F . Během ochlazování dochází ke smršťování plastu v dutině a tím zmenšováním jeho objemu. V této fázi je nutné korigovat zmenšování objemu dotlačením taveniny do dutiny tzv. dotlak. V opačném případě dojde ke staženinám a propadlinám na konečném výlisku. Velikost dotlaku může být po celou dobu ochlazování stejná jako maximální tlak, nebo se může po pár sekundách snížit. Aby bylo možné dotlačovat je nutné, aby před čelem zůstal nějaký objem plastu tzv. polštář, na který bude šnek svým čelem působit. Zmíněný objem nesmí být moc velký. V opačném případě by docházelo k tepelné degradaci hmoty. Po dotlaku se začne šnek otáčet a nabírat novou granulovou hmotu potřebnou na novou dávku. Po plastifikaci ji natlačí do prostoru před čelem šneku a současně ustupuje dozadu, kde musí překonávat zpětný tlak tzv. protitlak. Velikost protitlaku ovlivňuje jak dobu plastifikace, tak i

kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Je-li ovšem protitlak příliš vysoký, může dojít k degradaci plastu. Ohřev plastu při plastifikaci probíhá převodem tepla ze stěny válce, dále frikčním teplem, které vznikne třením plastu o stěnu komory a povrch šneku, tak i přeměnou hnětací práce šneku na teplo. Při probíhající chlazení klesá ve formě tlak na hodnotu p_z , kterému se říká zbytkový tlak. Tento tlak je ve formě těsně při vyhození výlisku. Je-li zbytkový tlak příliš vysoký, dojde k vysokému vnitřnímu pnutí ve výlisku, což může u křehkých plastických hmot způsobit samovolné praskání. Snížení tlaku je možné zkrácením doby dotlaku nebo programovatelným průběhem tlaku během dotlaku.

2.2 Technologické zásady při konstrukci plastových výlisků [7], [1]

Při návrhu součástí z plastu je velice důležité dbát na technologické zásady výroby, které jsou rozdílné od tváření součástí plechových. Konstruktor takových dílů by měl znát technologii zpracování, což mu umožní předejít problémům, které by vedly ke zhotovení daného výlisku. Při designu a konstrukci výlisků je nutné brát v potaz zejména:

- zaformovatelnost součástí,
- tloušťky stěn, žeber, nálitky, rádiusy,
- úkosy,
- tvary stěn s ohledem na jejich deformaci,
- tolerance výlisků,
- volba vhodného plastu.

Zaformovatelnost je schopnost ideálního zaformování výlisku (zvolením vhodné dělicí roviny) pomocí určitých konstrukčních prvků jako jsou čelisti, šibry apod. a následně automatického odformování.

Při volbě tloušťky stěn jsou kladeny požadavky jak funkční tak technologické. Mezi funkční požadavky patří pevnost, tuhost, která závisí na druhu materiálu. Technologické hledisko je závislé na tečení plastu ve formě. Poměr (délka tečení / tloušťka stěny) je udáván výrobcem plastu. V současné době existují počítačové programy na simulaci plnění formy, které u členitých tvarů posuzují plnění. Snížení tloušťky stěny lze kompenzovat přidáním více vtoků. U plastových výlisků s rozdílnou tloušťkou stěn dochází k deformacím vlivem rozdílného smrštění.

Žebra jsou užívána ke zvýšení pevnosti a tuhosti výlisku. Aby bylo možné eliminovat vtaženiny, které vznikají při ochlazování je nutné, aby byly voleny v určitém poměru k hlavní tloušťce stěny. Jelikož jsou nejvíce patrné na lesklých plochách, je jim možné předcházet dezénovaným povrchem.

Dalším problémem jsou ostré rohy při změnách průřezu, kde dochází ke zvyšování napětí. Zvyšování napětí roste se zvyšující se změnou průřezu. Tento problém lze eliminovat nahrazením ostrých přechodů rádiusy.

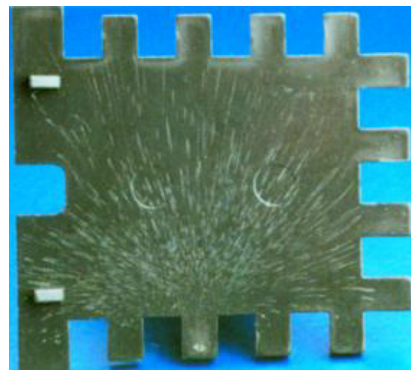
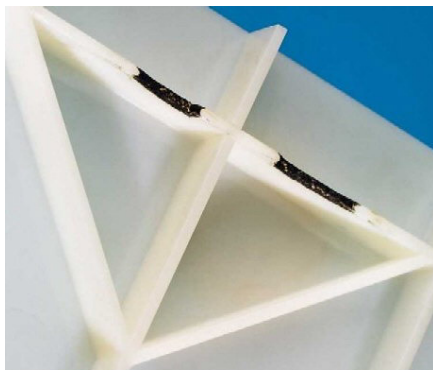
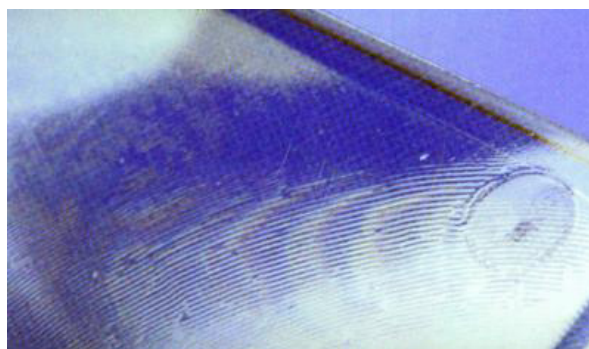
Nezbytné jsou u plastových výlisků také lisovací úkosy, které slouží k snadnému odformování a vyhození výlisku z formy. Obvyklá hodnota lisovacích úkosů se pohybuje od $0^{\circ}30'$ - 2° . Platí, že vnitřní úkosy by měly být větší než vnější z důvodu smrštění. Větší úkosy by měly mít tenkostěnné výlisky a výlisky s hustější sítí otvorů ve stěně výlisku. V těchto případech by měly být úkosy 3° - 5° . Jiné úkosy platí u dezénových ploch. Na těchto plochách se volí úkos dle hloubky. Obecně platí, že na hloubku dezénu 0,02 mm je nutný úkos 1° .

2.3 Vady výstřiku [12], [13], [14]

I přes znalosti technologie zpracování plastů a zvyšování úrovně jejího návrhu dochází ke vzniku vad obr. 2.3 ve finálním výstřiku. Vadou se nazývá každá odchylka tvaru, vzhledu, rozměrů a vlastností od zadaného dílce. Vady se dělí na zjevné a skryté.

Vady zjevné - jedná se o takové vady, které lze zjistit vizuálním porovnáním. Dělí se do dvou skupin na tvarové a povrchové vady. Mezi tvarové vady patří: nedodržení rozměrů a tolerancí (při volbě smrštění nutno počítat s anizotropií smrštění, díky které je rozdílná hodnota smrštění ve směru toku taveniny a kolmo na směr toku taveniny), propadliny, nedostříknuté výstřiky, přetoky, otřepy, stopy po vyhazovačích, deformace součástky, stopy po vtoku apod. K povrchovým vadám patří: nerovnoměrný lesk, matná místa, povrch gramofonové desky, povrch pomerančové kůry, studené spoje, špatně vykopírovaný dezén, mikrotrhlínky, stopy po jiném materiálu, stopy po vlhkosti a uzavřeném vzduchu v tavenině apod.

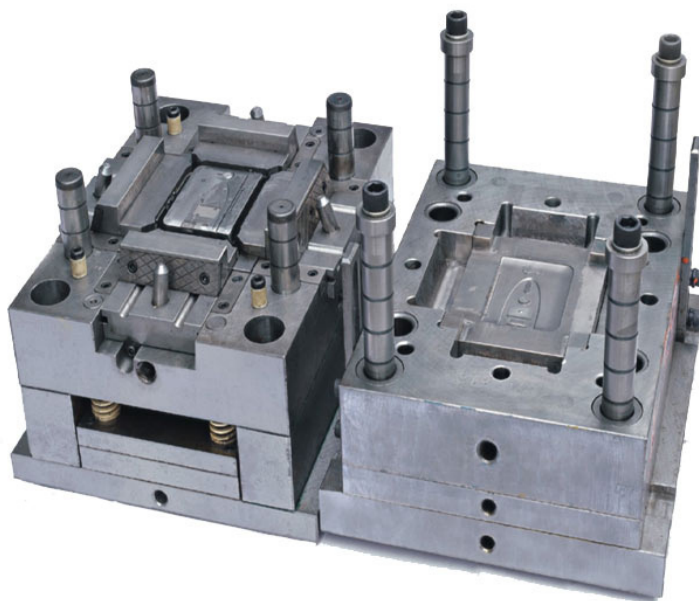
Vady skryté - na rozdíl od vad zjevných nejdou zjistit běžnou vizuální kontrolou. Vzhledem k tomu, že negativně ovlivňují vlastnosti výstřiku, jsou z aplikačního hlediska nebezpečné. Skryté vady vznikají u termoplastů v důsledku: nerovnoměrné orientace makromolekul, vnitřního pnutí, nerovnoměrné krystalizace semikrystalických plastů, degradačních prostředků vedoucí ke snížení pevnosti a houževnatosti, vnitřních defektů.



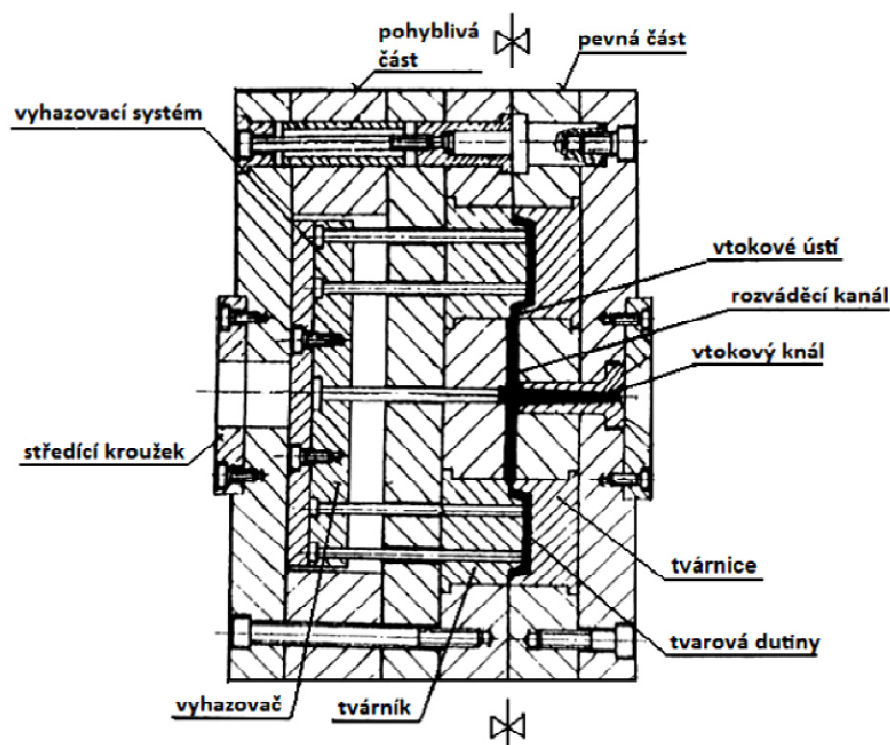
Obr. 2.3 Příklady některých vad [13], [14]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM [1], [3]

Vstřikovací formy obr. 3.1 jsou nástroje používané ke zpracování roztaveného plastu do požadovaného tvaru. Koncepce formy je závislá na složitosti výrobku, účelu a požadavcích výroby. Při konstrukci formy se musí zajistit tyto požadavky: odolnost vůči vysokým tlakům, požadovaný rozměr a tvar vylisku, snadné vyjímání vylisku, snadnou obsluhu a automatický provoz, nízkou výrobní cenu, snadnou a rychlou výrobu, vysoké využití plastu. Materiál formy je volen dle různých kritérií, kterými jsou například: druh zpracovávaného plastu, sériovosti, složitosti vylisku, ceně formy atd. Základní schéma vstřikovací formy je zobrazeno na obr. 3.2



Obr. 3.1 Příklad vstřikovací formy [11]



Obr. 3.2 Základní schéma vstřikovací formy [3]

3.1 Postup při konstrukci formy [1], [3]

Při uvažování nad konstrukcí formy je nutno brát v úvahu mnoho údajů, kterými jsou například výrobní požadavky, počet vyráběných kusů za rok, vstřikovací stroj, specifické požadavky zákazníka apod.

Postup práce při konstrukci formy:

- posouzení výkresu z hlediska tvaru a jeho zaformovatelnosti,
- určení násobnosti, vtokové soustavy a způsobu vyhazování,
- stanovit tvarové rozměry dutin,
- zvolit temperační a vyhazovací systém,
- zvolit způsob odvzdušnění,
- navrhnout materiál na výrobu formy,
- zvolit správné středění a upínání formy na vstřikovací stroj.

Volba násobnosti [3]

U menších součástí je výhodné vyrábět více násobné formy, u kterých na jeden cyklus vypadne více výstřiků. Nevýhoda více násobných forem je zanesení výrobních nepřesností. Násobnost je počítána pomocí různých kritérií.

Podle požadovaného termínu dodání

$$n = \frac{N \cdot t_o}{t_p \cdot k \cdot 3600} \quad [-] \quad (3.1)$$

kde: N [ks] - požadovaný počet kusů,
 t_o [s] - doba cyklu,
 t_p [h] - doba produkce,
 k [-] - koeficient využití výr. času (0,7 - 0,9).

Podle vstřikovací kapacity lisu

$$n = \frac{M \cdot 0,8}{A \cdot m} \quad [-] \quad (3.2)$$

kde: M [g] - vstřikovací objem lisu,
 m [g] - hmotnost výstřiku,
 A [-] - koeficient vtokového zbytku (bez vtoku je roven 1, jinak 1,05 - 2).

Podle plastifikačního výkonu

$$n = \frac{0,8 \cdot M_p \cdot t_c \cdot 1000}{A \cdot m \cdot 3600} \quad [-] \quad (3.3)$$

kde: M_p [kg.h⁻¹] - plastifikační výkon,
 t_c [s] - doba cyklu,
 A [-] - koeficient vtokového zbytku (bez vtoku je roven 1, jinak 1,05 - 2),
 m [g] - hmotnost výstřiku.

Podle uzavírací síly

$$n = \frac{0,8 \cdot F}{S \cdot p_v} \quad [-] \quad (3.4)$$

kde: F [N] - uzavírací síla,
 S [m²] - průmět ploch dutin a kanálků do dělicí roviny,
 p_v [Pa] - vstřikovací tlak.

Z ekonomického hlediska

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N}{k_f \cdot 3600}} \quad [-] \quad (3.5)$$

kde: K_p [Kč] - provozní náklady (mzdy, režie),
 N [-] - celková produkce během životnosti formy,
 t_c [s] - doba cyklu
 k_f [-] - konstanta úměrnosti

Vzhled výsledné součásti je závislý na jakosti povrchu. Tvarové dutiny se proto vyrábějí jako matné, lesklé nebo dezénové.

- **matné** - jednoduché na výrobu, schopnost překrýt určité nedostatky jako je studený spoj, vtoková čára apod,
- **lesklé** - potřeba náročnější opracování dílů, které s sebou nese zvýšení nákladů, zvýraznění výrobních nedostatků formy a výstřiku,
- **dezénové** - jedná se o speciální úpravu, která vyžaduje kvalitní materiál formy. Výroba probíhá elektrochemicky nebo elektroerozivně. U dezénovaných bočních ploch je nutné zvýšení velikosti úkosu (při hloubce dezénu 0,02 mm a výšce 50 mm je potřebný úkos minimálně 1°.

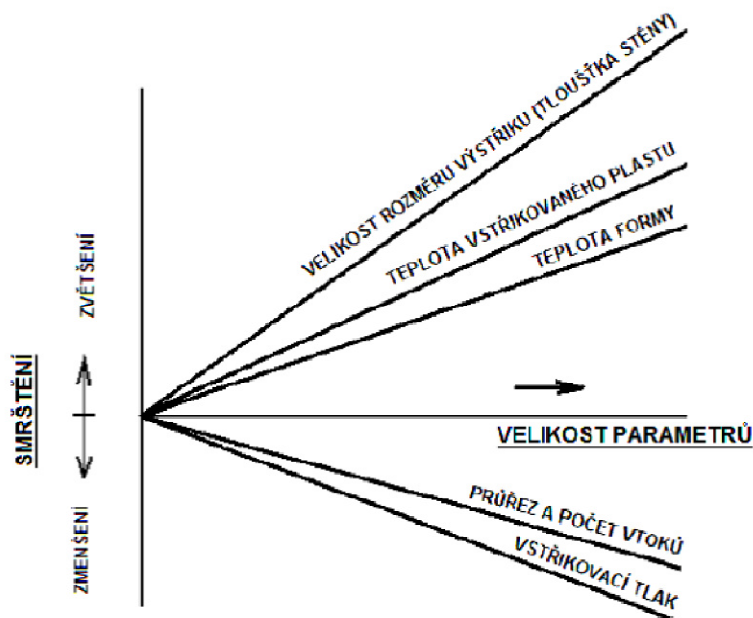
Drsnost povrchu tvarových dutin má významný podíl na odformování. V tab. 3.1 jsou uvedeny doporučené drsnosti.

Tab. 3.1 Drsnost povrchu obráběných ploch dutiny formy [1]

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

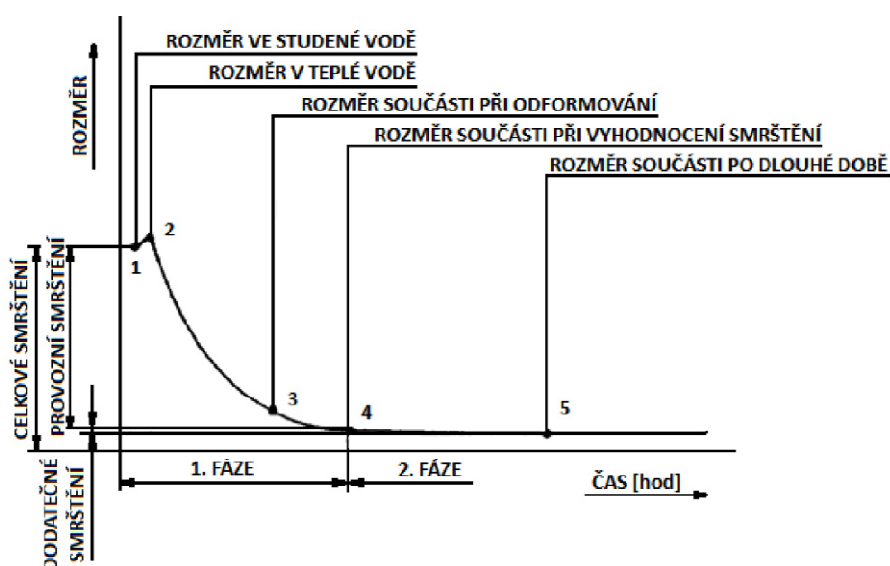
3.2 Smrštění [1], [3], [5]

Po vstříknutí roztaveného plastu a následného ochlazení dojde ke smrštění. S tímto jevem je potřeba počítat při volbě rozměrů dutiny. Velikost smrštění je udána výrobcem a to v procentech. Velikost smrštění je možno ovlivnit jak druhem plastu, technologií vstřikování tak i konstrukcí vlastní formy. Na obr. 3.3 jsou znázorněny nejdůležitější činitele, kteří mají vliv na velikost smrštění. Smrštění nemusí být stejné ve všech směrech, proto je nutné při volbě vtoku s tímto problémem počítat.



Obr. 3.3 Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění [3]

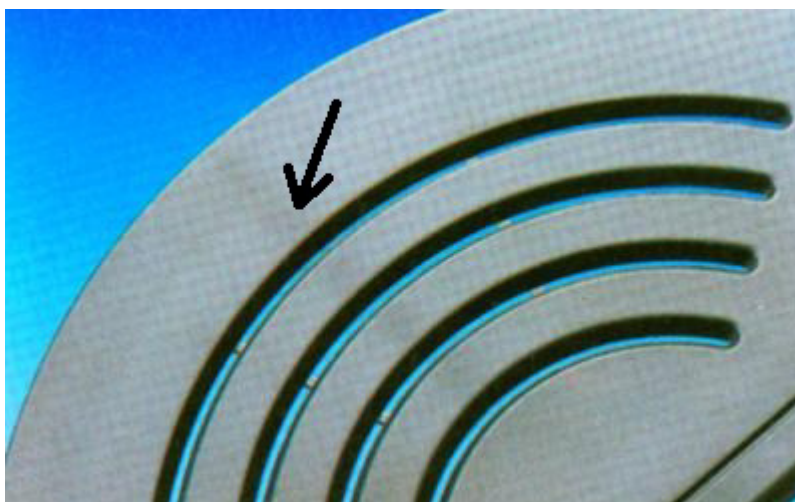
Smrštění se dělí do dvou fází. První fázi se říká provozní smrštění, která se stanoví po 24 hodinách od výroby. Smrštění v této fázi zaujímá až 90% celkového smrštění. V druhé fázi se jedná o dodatečné smrštění, které probíhá dlouhou dobu v závislosti na druhu plastu. Jednotlivé fáze průběhu smrštění jsou vyobrazeny na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Průběh smrštění výstřiku [3]

3.3 Vtokové systémy [1], [3], [6]

Jsou takové systémy, které mají za úkol vést termicky homogenní taveninu do tvarové dutiny formy. Plnění by mělo probíhat pokud možno v co nejkratším čase s minimálními odpory. Správná volba vtokového systému je nezbytná pro správnou funkci formy. Při plnění dutiny postupuje tavenina cestou nejmenšího odporu, to při nevhodně voleném vtokovém ústí může vést ke vzniku studeného spoje obr. 3.5. Studený spoj vzniká, je-li tavenina při plnění rozdělena tvarovým prvkem na více toků, který je následně spojen. Studené spoje ovlivňují pevnost výlisku a taktéž jsou na výlisku vidět.



Obr. 3.5 Stopa v místě studeného spoje [12]

Pro dobré plnění dutiny je žádoucí, aby plnění dutiny probíhalo v jeden okamžik ve všech místech pokud možno co nejkratší cestou bez tlakových a teplotních ztrát. Řešení jednotlivých vtokových soustav závisí na uspořádání tvarových jader. U vícenásobných forem musí být zaručeno stejnoměrného plnění všech dutin současně při stejném vnitřním tlaku.

3.3.1 Studený vtokový systém [1], [2], [3], [7]

Jedná se o konstrukčně jednodušší a cenově levnější řešení vtokového systému používané pro jednoduché výlisky v malosériové výrobě. Nevýhodou tohoto vtoku je vtokový zbytek, který zůstává v rozváděcích kanálcích. Tento zbytek je nutné započítat při volbě plastifikační kapacity lisu. Vtokové zbytky lze pomlet a opět použít k výrobě nových výlisků.

Po průchodu taveniny studeným vtokovým systémem roste na vnějším povrchu viskozita (plast tuhne) a tvoří tepelnou izolaci stále tekutému plastu uvnitř až do zaplnění dutiny. Poté dojde k prudkému vzrůstu vnitřního odporu a poklesu průtoku. Vlivem odvodu tepla do stěn formy pokračuje tuhnutí plastu ve vtocích a dutině. Působením dotlaku dochází k vývinu tepla ve vtokovém ústí a tím oddálení ztuhnutí taveniny. Dosažením hodnoty protitlaku, kterou není stroj schopen překonat, dojde k úplnému zatuhnutí taveniny.

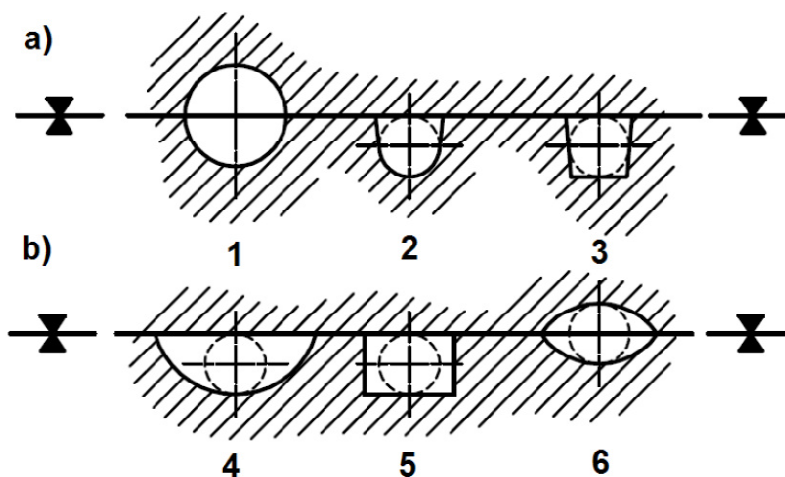
Vtokový systém musí zabezpečit následující:

- délku rozváděcích kanálů co nejkratší z důvodu čerpání plastifikačního výkonu a zvyšování vtokového odpadu,
- co nejmenší povrch průřezu kanálku z důvodu dosažení nejmenších odporů při toku taveniny (nejvýhodnější je kruhový průřez), ale současně dostatečně velký průřez, který zaručí, že po naplnění zůstane jádro plastické a umožní působení dotlaku,
- stejnou dráhu ke tvarovým dutinám z důvodu rovnoměrného plnění,

- kvalitní spojení ochlazovaných proudů taveniny správnou volbou vyústění vtoku, jeho průřezem a počtem. Při nevhodném zvolení dochází ke studeným spojům, které mají nižší pevnost,
- stejnou rychlost taveniny u vícenásobných forem volbou odstupňovaných průřezů kanálů.

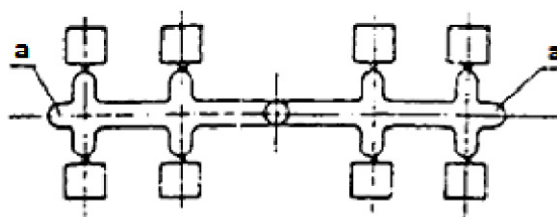
Zásady při konstrukci a výrobě vtokového systému:

- zaoblit všechny hrany,
- vyleštit kanálky,
- počítat s úkosity z hlediska snadného vyhození vtoku,
- prodloužit rozváděcí kanály z důvodu zachycení chladnějšího čela před vstupem do dutiny obr. 3.7,
- větvení toků provádět pod úhlem větším jak 90° obr.3.8,
- vyloučit místa s větším hromaděním plastu.

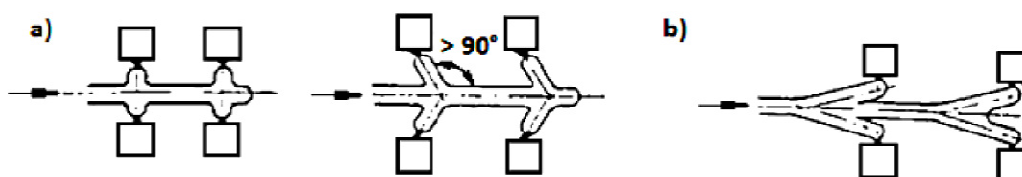


Obr. 3.6 Průřez vtokových kanálů [3]

a) funkčně výhodné, b) funkčně nevýhodné, 1,6 - výrobně nevhodné, 2,3,4,5 - výrobně vhodné



Obr. 3.7 Zachycení proudu taveniny [3]

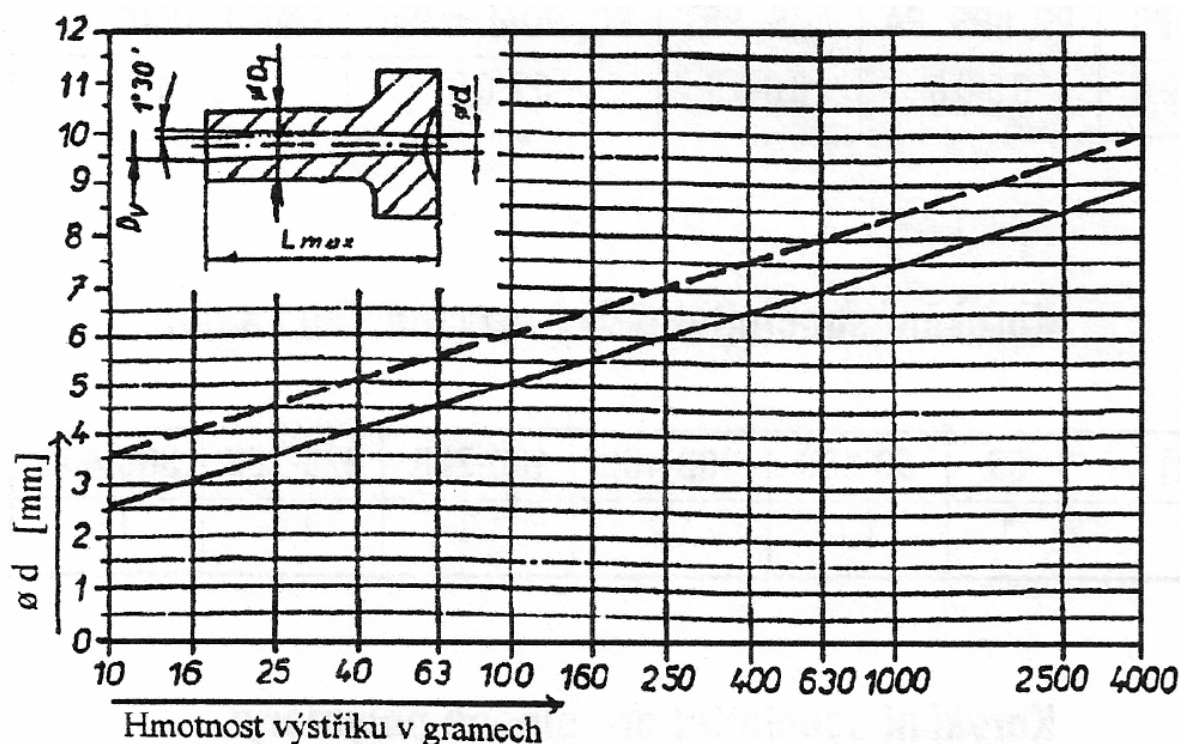


Obr. 3.8 Větvení vtoků [3]

a) vhodné, b) nevhodné

Stanovení rozměrů vtokových kanálů [1]

Hlavní vtokový kanál je vyráběn ve tvaru kužele. Jeho rozměry jsou voleny s ohledem na hmotnost výlisku. Hodnota menšího průřezu d , který je v kontaktu s tryskou stroje, se určí z diagramu obr. 3.9. Velikost velkého průměru D_v je dána tvarem kužele, který má úkos obvykle $1,5^\circ$.



Obr. 3.9 Diagram pro volbu rozměrů hlavního vtokového kanálu [1]

plná přímka platí pro plasty: PS, PRO, SB, ABS, PEN, PEV, PP, CA

přerušovaná platí pro plasty: POM, PMMA, PC

Průměr rozváděcích kanálů je volen stejný nebo nepatrně větší jako je výstupní průměr hlavního vtokového kanálu D_v . Upřesnit jej lze pomocí vztahu 3.1.

Průměr rozváděcího kanálu:

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

kde: D_v [mm] - velký průměr vtokového kanálu,
 K_v [-] - korekční součinitel vlastnosti plastu,
 K_c [-] - korekční součinitel délky rozváděcího kanálu,
 K_{pp} [-] - korekční součinitel pro plněné polymery.

Hodnoty jednotlivých koeficientů jsou uvedeny v tab. 3.2 - 3.4.

Tab. 3.2 Korekční součinitel vlastnosti plastů [1]

Plast	PE, PS	PP, hPS, PA	ABS, PBT	PC, POM, mPVC	PMMA, tPVC, FEP
Korekce - K_v	0,4 - 0,6	0,5 - 0,8	0,6 - 0,8	0,7 - 0,9	0,8 - 1,0

Tab. 3.3 Korekční součinitel délky rozváděcího kanálu [1]

Délka kanálů [mm]	60	60 - 100	100 - 160	160 - 220	220 - 300	300 - 400
Korekce - K_c	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Tab. 3.4 Korekční součinitel pro plněné polymery [1]

Plnění polymerů - [%]	0	16	30
Korekce - K_{pp}	1	1,1	1,2

Velikost vtokového ústí je volena rovněž z hmotnosti vylisku. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.5.

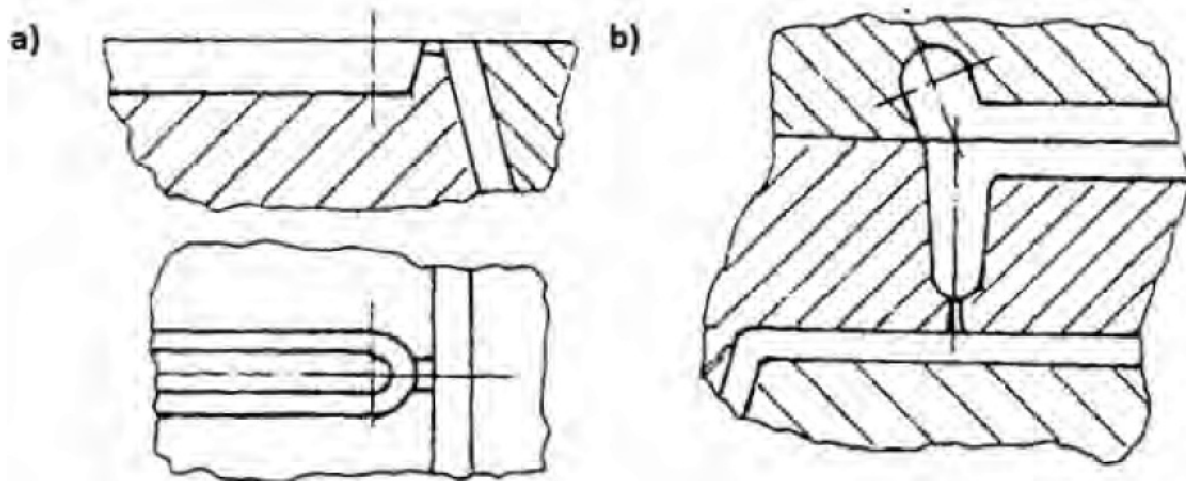
Tab. 3.5 Stanovení rozměrů základních typů vtokových ústí [1]

Objem výstřiku [cm ³]	Plný kuželový vtok, průměr základny [mm]	Bodový vtok, průměr vtokového ústí [mm]	Boční normálový vtok [mm]
do 10	2 - 3	0,6 - 0,8	2,0 x 1,0 - 3,0 x 2,0
10 - 20	3 - 4	0,8 - 1,2	2,5 x 1,5 - 3,5 x 2,5
20 - 40	4 - 5	1,0 - 1,8	3,0 x 2,0 - 3,5 x 2,5
40 - 60	4,5 - 5,5	1,2 - 2,0	3,0 x 2,0 - 4,0 x 3,0
60 - 100	5 - 6	1,3 - 2,2	3,5 x 2,5 - 4,5 x 3,5
100 - 300	5 - 7,5	1,5 - 2,6	4,5 x 3,5 - 5,0 x 4,0
300 - 500	5,5 - 8	1,8 - 2,8	-
500 - 1000	5,5 - 9	-	-
1000 - 2000	6 - 10	-	-
2000 - 5000	10 - 14	-	-

Vtokové ústí [1], [2], [3]

Zúžení rozváděcího kanálu do dutiny formy je nazýváno vtokové ústí, které má zaručit nejmenší ztrátu tlaku.. Jeho velikost se volí co nejmenší, pro snadné začistění vylisku s ohledem na spolehlivé naplnění dutiny a působení dotlaku. Při průchodu taveniny dojde ke zvýšení teploty taveniny před vstupem do dutiny formy.

Tvar vtokového ústí se dělí podle typu výstřiku na kruhové a šterbinové (Obr. 3.10). Kruhové se užívá pro rotační nebo kruhové vylisky, zatímco šterbinové pro ploché vylisky. Jeho rozměry se volí dle objemu vylisku. Doporučuje se volit menší s ohledem na možnost dodatečného zvětšení při zkoušení formy.



Obr. 3.10 Ústí vtoku [3]

a) štěrbinové, b) kruhové

Zásady pro umístění vtokového ústí:

Umístění vtokového ústí výrazně ovlivňuje kvalitu a vzhled výstřiku. Proto se umísťuje:

- do nejtlustšího místa na výlisku, neboť tavenina má téct z větších míst do menších,
- z důvodu rovnoměrného zatečení do všech míst se umísťuje do geometrického středu,
- u přesnějších výstřiků je nutné vzít v potaz rozdíl podélného a příčného smrštění,
- u výlisků obsahující žebra ve směru jejich orientace,
- do míst, které nejsou příliš mechanicky namáhána, nebo opticky činné plochy,
- u tvaru obdélníku ve směru delší strany,
- do míst s možností úniku vzduchu taveniny,
- s možností přesměrování proudu taveniny mimo mechanicky a vzhledově namáhaná místa při vzniku studených spojů,
- s ohledem na estetickou hodnotu po stopě vtoku,
- do míst, kde se zamezí turbulentnímu proudění, které vzniká při volném toku taveniny obr. 3.11.



turbulentní plnění - nevhodné

laminární plnění - vhodné

Obr. 3.11 Průběh plnění dutiny [3]

TYPY VTOKOVÝCH ÚSTÍ

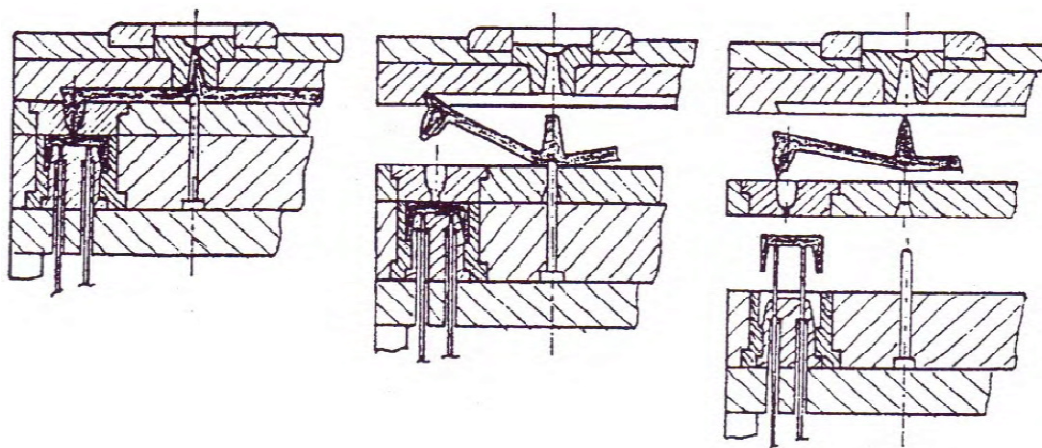
kuželový vtok - Jedná se o vtokové ústí bez zúžení používané převážně u jednonásobných forem se symetrickou tvarovou dutinou pro tlustostěnné výlisky. Jeho výhodou je vysoká účinnost dotlaku. Nevýhodné je pracné odstranění vtoku se zanecháním stopy na výstřiku.

Bodový vtok - Patří mezi nejpoužívanější ze zúžených vtoků. Jeho průřez je zpravidla kruhový. Mezi jeho výhody patří snadné a rychlé odtrhávání vtokových zbytků ve formě, rovnoměrné plnění a odvzdušnění. Nevýhodou je nutnost použít třídeskovou formu, která je náročnější na údržbu a seřízení, aby se nejprve odtrhlo vtokové ústí a následně až otevřela forma.

Tunelový vtok - Jedná se o zvláštní případ bodového vtoku používaný zejména u vzhledově náročných výlisků. Jeho výhodou je použití klasické koncepce formy a tím ušetření za nákladnou a složitou třídeskovou formu obr. 3.12. Vtokový zbytek je oddělen při otevírání formy nebo při vyhazování výstřiků o ostrou hranu, kterou je nutné vytvořit, aby byla zaručena správná funkce. Nevýhodou tohoto vtoku je jeho náročná výroba.

Boční vtok - Při tomto typu vtoku zůstává po odformování vtokový zbytek spojen s výliskem, který se následně ručně ulomí. V automatizované výrobě může forma obsahovat speciální odřezávací zařízení. Kvůli volnému vstříknutí taveniny se vtokové ústí upravuje do tvaru vějíře nebo je použito bočních vtoků s překrytím. V případech, kde jsou kladeny vyšší požadavky na kvalitu výstřiku je užíváno prstencové, diskové, deštníkové a filmové uspořádání bočního vtoku. Nevýhoda je v jejich odstraňování, které je složitější, a proto je jejich tloušťka volena co nejmenší (0,3 mm).

Vícenásobné vtoky - Jejich použití je pouze v případech, kdy by bylo velmi obtížné naplnění dutiny jedním vtokem. Zvýšená pozornost musí být věnována odvzdušnění formy a tvorbě studených spojů při spojování jednotlivých větví.



Obr. 3.12 Koncepce třídeskové formy [3]

3.3.2 Vyhřívání vtokové soustavy [1], [3]

Vyhřívání vtokové soustavy vznikaly při snaze úspory plastu, který zůstával jako vtokový zbytek. Jelikož se jedná o velmi nákladné a konstrukčně složité systémy, je jejich použití vhodné především u sériové a hromadné výroby. Při vstřikování touto technologií zůstává plast po naplnění formy v tekutém stavu až do oblasti vtokového ústí.

Izolované vtokové soustavy

Při použití této metody musí mít vtoková i rozváděcí vložka zesílený průřez, aby nedošlo během pracovního cyklu, který musí být dostatečně rychlý, k zatuhnutí taveniny. Po prvním cyklu dojde k zatuhnutí vnější vrstvy v rozváděcích kanálcích, která následně tvoří izolaci.

Druhou variantou je předkomůrka, která funguje na obdobném principu. Předkomůrka je zvětšena nebo do ní může zasahovat tryska vstřikovacího stroje, která je ohřívána jeho válcem. V tomto případě musí být tryska z dobře tepelně vodivého materiálu. Vnější vrstva v komůrce zatuhne a tvoří izolaci stejně jako je tomu u zesílených rozváděcích kanálků.

Nevýhodou těchto metod je omezená oblast jejich použití pouze pro plastické hmoty s nízkou teplotou tavení, krátkým pracovním cyklem a pro vzhledově a pevnostně nenáročné výstřiky.

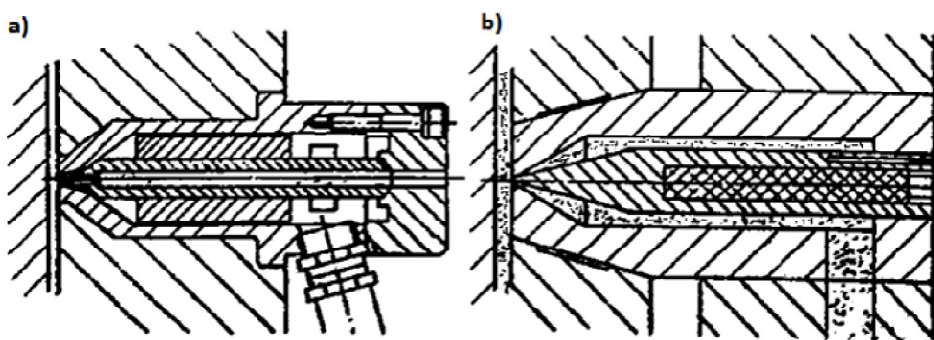
Vyhřívání trysky

Trysky mohou být vyhřívány přímo (tryska obsahuje vlastní topné těleso s regulací) a nepřímě.

Přímé se dělí na trysky s vnitřním a vnějším topením obr. 3.13. U trysky s vnějším topením proudí tavenina vnitřním otvorem trysky a z vnějšku je zabudováno topení. Trysky jsou vyrobeny z vysoce vodivého materiálu. Tryska s vnitřním topením obsahuje vnitřní vyhřívanou vložku nazývanou torpédo, je vyrobená z vodivého materiálu, kterou roztavená tavenina obtéká.

Nepřímé trysky mají také dvojí provedení. Jednou variantou je dotápění vyústění izolovaného vtokového rozvodu zabudováním miniaturního topného tělíska do ocelového pouzdra, kde špička zasahuje do ústí vtoku. Dokonalejší způsob je druhá varianta, u které probíhá přenos tepla z vyhřívaného rozvodu na trysku.

Ústí obou typů trysek může být otevřené, se špičkou, s uzavírací jehlou, či jinak speciálně upraveno. Každá z variant má svoji oblast využití. Otevřené trysky se používají pro takové typy plastů, které netáhnou vlas (PE), naopak trysky se špičkou pro plasty táhnoucí vlas (ABS, PP, PS). U výstřiku s požadavkem na odstranění stopy po vstřiku se používají trysky s uzavírací jehlou.

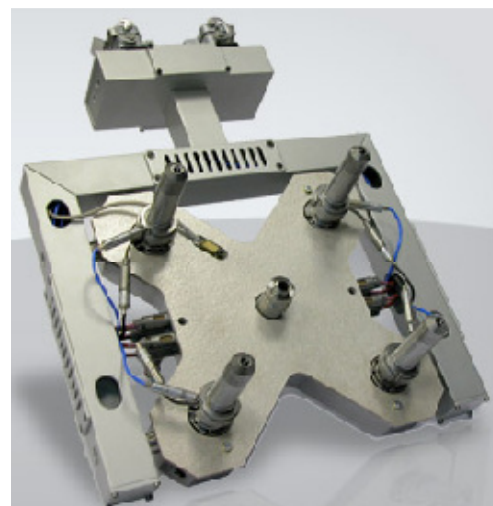
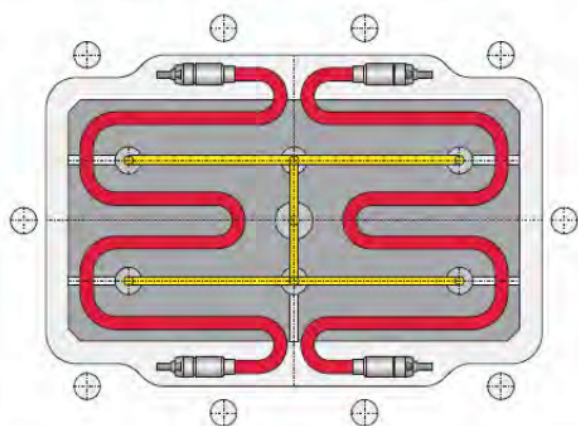


Obr. 3.13 Vyhřívání trysky s vlastním vytápěním [1]

a) vnější, b) vnitřní

Vytápění rozváděcí kanálky obr. 3.14

Používají se spolu s vyhříváními nebo izolovanými tryskami s předkomůrkou u vícenásobných forem k rozvodu taveniny do dutin. Jsou vyráběny v různých tvarech (např. I, H, X, Y), které se konstrukčně přizpůsobí potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění trysek. Vytápění musí být tepelně izolované od ostatních částí formy, nejčastěji vzduchovou mezerou. Vytápění je řešeno elektrickým odporovým vnitřním i vnějším topením. Teplota je řízena a ovládána pomocí tepelných snímačů a regulátorů.



Obr. 3.14 Vyhřívané rozváděcí bloky [3], [16]

3.4 Vyhazovací systém [1], [3]

Jelikož po otevření formy nedojde k samovolnému vypadnutí výlisku, je nutné vstřikovací formu vybavit vyhazovacím systémem. Existuje více druhů možných provedení. Vyhazování probíhá ve dvou fázích. V první fázi dochází k pohybu dopředu, kde dojde k vlastnímu vyhazování. Ve druhé fázi následuje pohyb vzad, aby se vyhazovací systém vrátil do původní polohy. Při navrhování polohy vyhazovačů je nutné dbát na to, aby byl výstřik z formy vyhazován souměrně a nedocházelo k přičení a vzniku deformací či poškození. Vhodnou volbou vyhazovačů je možno taktéž zabezpečit od vzdušnění formy. Nevýhoda většiny vyhazovačů jsou stopy, které zanechají na výstřiku, proto se umísťují na nepohledovou stranu nebo je nutné výstřik následně opravit. Při otevírání formy je nutné zajistit, aby vtokový zbytek zůstal na pohyblivé (vyhazovací) straně než dojde k vytažení vtoku z vtokové vložky.

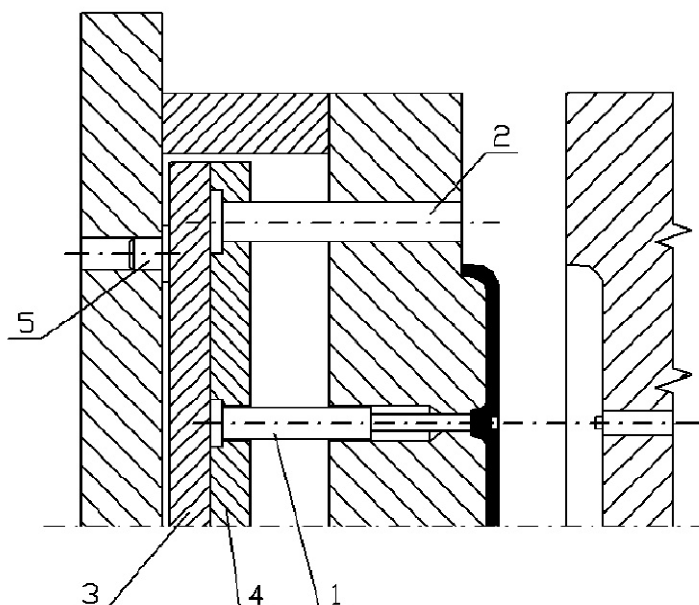
Pohyb vyhazovačů je zabezpečen s ohledem na jejich typ. Nejčastěji se používá nárazecí kolík, který při odjíždění formy narazí na nastavitelný doraz stroje, zatímco forma se i nadále otvírá. Další možností je použití pneumatického nebo hydraulického zařízení, které bývá součástí stroje. Tento způsob umožňuje tzv. měkké vyhazování. Pro jednoduché a zkušební formy kde není vyžadováno automatického chodu, je využíváno ručního vyhazování různými mechanismy. Zpětný pohyb do původní polohy může být zajišťován rovněž různými mechanismy, kterými jsou vratné kolíky, pružinky (v kombinaci s jiným systémem), hydraulické, pneumatické nebo speciální mechanické zařízení.

3.4.1 Mechanické vyhazování

Patří mezi nejrozšířenější vyhazovací systémy se zaručenou funkcí, používány všude tam, kde je to možné.

Vyhazovací kolíky

Vyhazovací kolíky patří mezi nejlevnější a nejčastější druh vyhazování obr. 3.15. Lze je použít všude tam, kde je umožněno umístění vyhazovačů proti ploše výlisku ve směru vyhazování. Nejčastější tvar vyhazovačů jsou válcové kolíky, avšak mohou mít i jiné tvary. Uložení ve formě je voleno dle tekutosti plastu a požadované funkce nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6. Díky tomuto uložení je zajištěno rovněž od vzdušnění formy.



Obr. 3.15 Schéma vyhazování kolíky [3]

1 - vyhazovací kolík, 2 - vratný kolík, 3 - vyhazovací deska, 4 - kotevní deska, 5 - narážka

Stírací deska

Při tomto způsobu vyhazování dochází ke stírání výstřiku z tvárníku po celém obvodu. Výhodou této metody je, že nezanechává stopu na výstřiku, vzhledem k velké stykové ploše. Hlavní zastoupení je u vyhazování tenkostěnných výstřiků, u kterých hrozí deformace nebo tam, kde se vzhledem k rozměrným výstřikům vyžaduje velká vyhazovací síla. Tuto technologii lze využít jen tehdy, pokud výstřík dosedá na desku v rovině nebo je mírně zakřiven. Mezi speciální případ stírání patří trubkový vyhazovač.

Šikmé vyhazování

Jedná se o speciální způsob vyhazování, u kterého kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině. Jejich využití je u malých a středně velkých výstřiků obsahující mělký vnější nebo vnitřní zápich.

Dvoustupňové vyhazování

Dvoustupňové vyhazování patří k systému kombinující dva navzájem se ovlivňující systémy. Tímto způsobem je možné vyhazovat vylisky s různým časovým rozložením vyhazovacího zdvihu a jeho délky. Jeho využití je mimo jiné při šikmém vyhazování se zápichem.

3.4.2 Vzduchové vyhazování

Patří mezi vyhazovací systémy vhodné pro tenkostěnné výstřiky větších rozměrů (např. kbelík), které při vyhazování potřebují zavzdušnit, aby se zamezilo deformaci. Při použití běžných mechanických vyhazovačů by bylo nutné použít velký zdvih, který s sebou nese značné prodloužení formy. Zavedením stlačeného vzduchu mezi výstřík a líc formy dojde k rovnoměrnému oddělení výstřiku. Výhodou této metody je, že na výstřiku nezůstávají stopy po vyhazovačích. Nevýhodou je zde omezena možnost použití pouze pro některé tvary.

3.4.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulického vyhazování je využíváno zejména k ovládání mechanických vyhazovačů. Touto metodou je dosaženo pružnějšího a flexibilnějšího pohybu. Uzavřená hydraulická jednotka je zabudována do formy, která mimo jiné umožňuje ovládat boční posuvné čelisti.

3.5 Temperování forem [1], [3]

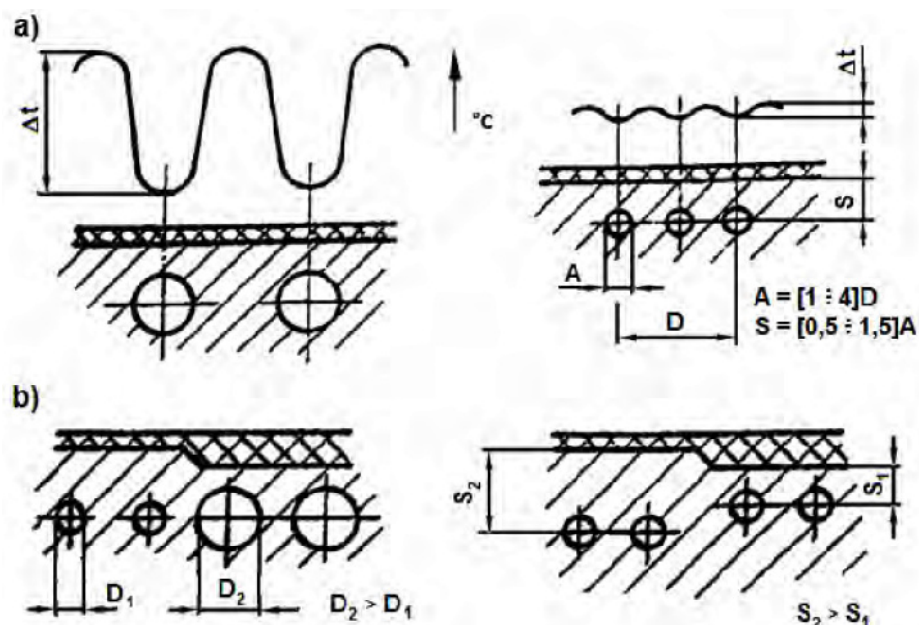
Při vstřikovacím cyklu je nutné udržet konstantní teplotu formy. V závislosti na vstřikovaném plastu a jeho vlastnostech je forma nebo některé její části vyhřívána nebo ochlazována. Roztavený plast při chladnutí na vyhazovací teplotu předává přebytké teplo, které je nutno odvést. U skupiny plastů, které vyžadují vyšší teplotu formy je nutné formu ohřívat, neboť při chladnutí roztaveného plastu dochází k vyšším tepelným ztrátám než je potřebná teplota formy. Rozdílnou teplotou jednotlivých částí formy se zvýší rozměrové i tvarové odchylky výstřiku. Vzhledem k anizotropii smrštění se temperují jednotlivé části z důvodů eliminaci tvarové deformace. Teplota taveniny a teplota formy u jednotlivých plastů je uvedena v tab. 3.6.

Tab. 3.6 Požadované teploty formy a taveniny [1]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABA	190 - 250	50 - 85
PA 6	230 - 290	40 - 120
PC	280 - 320	85 - 120
HDPE	180 - 270	20 - 60
LDPE	180 - 270	20 - 60
PMMA	200 - 250	50 - 80
POM	180 - 220	50 - 120
PP	170 - 280	20 - 100
PS	180 - 260	55 - 80
PVC tvrdé	190 - 220	30 - 60
SAN	200 - 260	50 - 85
PSU	340 - 400	120 - 160
PAEK	380 - 430	160 - 220
LCP	310 - 360	65 - 95

3.5.1 Volba temperačních kanálů

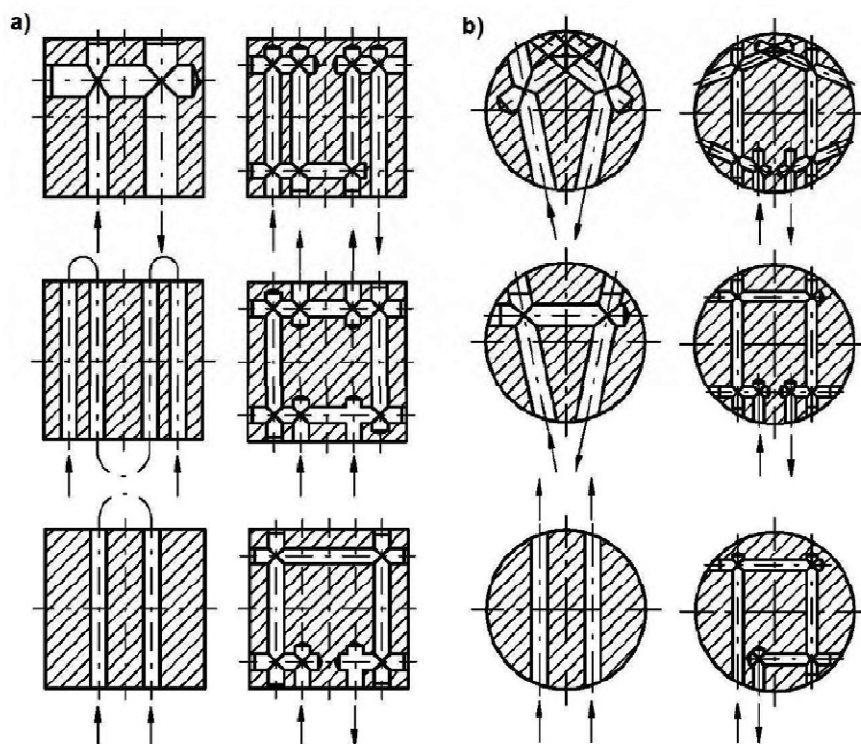
Velikost rozměrů a rozmístění kanálků je voleno s ohledem na zachování tuhosti a pevnosti funkční dutiny. Při návrhu temperačního systému je výhodnější, vzhledem k menšímu kolísání teploty, volit více kanálků s menším průřezem roztečí než s větším průřezem a roztečí obr. 3.16.



Obr. 3.16 Vliv rozmístění kanálů na průběh teploty [1]

a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku

Velikost průřezu je volen s ohledem na velikost výstřiku, druhu plastu a rozměrů rámu formy. Nejvíce užívaný průřez je kruhový, ale někdy může být použit i obdélníkový. Příklady řešení vrtaných kanálů je uvedeno na obr. 3.17.



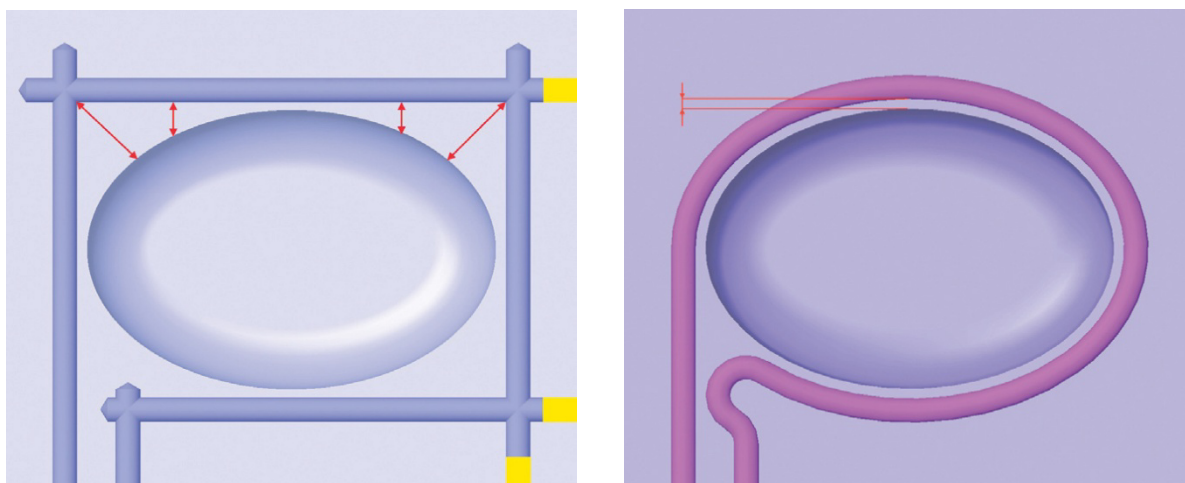
Obr. 3.17 Vrtané temperační okruhy [1]

Konformní chlazení [9]

Při konstrukci temperačního systému pomocí vrtaných kanálů vzniká problém zajištění chlazení dutiny z hlediska tvarové náročnosti, ale i s ohledem na vyhazovače a posuvné vložky, které se nachází v prostoru potřebném pro temperační kanály. Z toho vyplývá, že temperace formy nemusí být vždy ideální. Vhodným řešením je v tomto případě použití technologie DMLS, která umožňuje vyrobít celou formu nebo pouze její část s aplikovaným konformním chlazením obr. 3.19. Konformní chlazení je nazýván okruh, který co nejlépe kopíruje tvar dutiny. Rozdíl vrtaného a konformního chlazení je zobrazen na obr. 3.18.

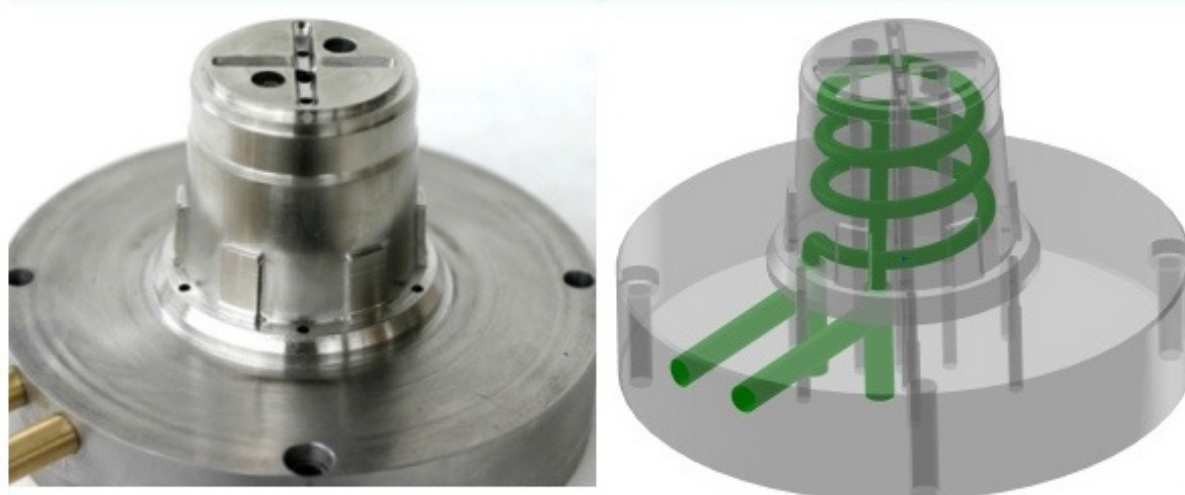
Mezi hlavní výhody patří:

- ideální přizpůsobení se tvaru dutiny
- zlepšení odvodu tepla a následné zkrácení chladicího času a eliminace deformací
- možnost dílčí změny průřezu kanálu dle potřeby



Obr. 3.18 Způsob řešení temperování [9]

Vlevo - vrtaný okruh, vpravo - konformní okruh



Obr. 3.19 Konformní chlazení - aplikace [10]

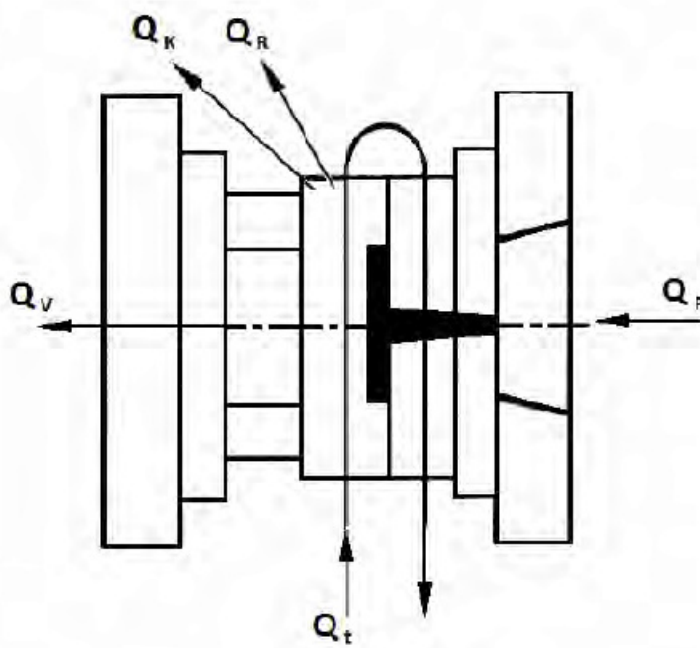
Používané kapaliny proudící v nuceném oběhu temperačních kanálů, jejich výhody a nevýhody jsou uvedeny v tab. 3.7

Tab. 3.7 Používání kapaliny v nuceném oběhu [1]

Typ	Výhody	Nevýhody
voda	dobrý přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost.	použitelné do 90 °C vznik koroze usazování kamene
olej	možnost teploty i nad 100 °C	zhoršený přestup tepla
glykoly	omezení koroze a ucpání systému	stárnutí, znečišťování prostředí

3.5.2 Tepelná bilance formy [1], [3]

Při vstřikovacím cyklu musí platit, že přivedené teplo je rovno teplu odvedenému obr. 3.20. Teplo je odváděno teplotami a ztrátami. Ztráty lze omezit vyleštěním povrchu, případně pokrytím izolační folií. K omezení tepelných ztrát do upínacích ploch stroje se vkládají mezi formu a stroj izolační desky. Ztráty lze omezit vyleštěním povrchu, případně pokrytím izolační folií.



Obr. 3.20 Tepelná bilance formy [3]

- Q_p - teplo přivedené roztaveným plastem
- Q_t - teplo odvedené teplotami
- Q_r - teplo odvedené zářením
- Q_k - teplo odvedené od okolí
- Q_v - teplo odvedené od upínacích ploch stroje

3.6 Odvzdušňování forem [1], [3], [5]

Při konstrukci vstřikovací formy je nutno brát v potaz odvzdušnění formy, vzhledem ke stlačování vzduchu při vstřikovacím cyklu. Při nedokonalém odvzdušnění dochází mimo jiné k následujícím problémům:

- nedostříknutý výstřik,
- vznícení vzduchu a následnému spálení plastu (tzv. dieselův efekt),
- tvorba bublin u výstřiků s větší tloušťkou,
- zvýšení počtu studených spojů,
- vznik vnitřních pnutí,
- potřeba zvýšení vstřikovacího tlaku.

Problémy s odvzdušněním formy lze řešit již při samotné konstrukci formy. Jednou z variant pro vytipování hromadění vzduchu jsou zkušenosti konstruktéra. V některých případech je takové stanovení snadné, jindy může být naopak velmi obtížné. Pomůckou pro určení místa odvzdušnění mohou být simulační programy (Cadmould, Mold Flow atd.). Není-li tato možnost k dispozici musí konstruktér vytipovat možná místa a udělat opatření, aby bylo možné realizovat je dodatečně po zkouškách formy. V některých případech stačí vzduch uniknout dělicí rovinou, vůlí mezi vyhazovači, kolem pohyblivých šoupáků apod. V tomto případě odpadá nutnost dalšího řešení odvzdušnění pomocí odvzdušňovacích kanálků. Odvzdušňovací kanálky musí mít takové rozměry, aby dostatečně odváděly vzduch, ale nedocházelo k zatékání plastu. Kanálky mají obdélníkový průřez, jehož hloubka se určí dle tab. 3.8. Šířka je upravena dle potřeby při zkouškách formy.

Tab. 3.8 Tabulka hloubek odvzdušňovací mezer [1]

Plast	Mezera [mm]
PS, ABS	do 0,05
PE, PP	do 0,04
PA	0,02 - 0,03
PPO	do 0,04
PBT	do 0,03
PC	do 0,05
POM	do 0,05
Sklem plněné	0,05 - 0,08
Strukturní pěkný	do 0,1

3.7 Kontrolní výpočty [3]

Jelikož jsou při vstřikovacím cyklu velké tlaky, musí být zajištěna dostatečně spolehlivá uzavírací síla, aby nedošlo k pootevření formy a vtečení hmoty do dělicí roviny. Pro spolehlivé uzavření se bere 80% uzavírací síly stroje. U velkých uzavíracích sil hrozí otláčení styčných ploch jednotlivých částí formy. V některých případech je vhodné provést kontrolu nejmenší dosedací plochy na otláčení. K výpočtu je možné použít vzorce 3.7 a 3.8.

Výpočet a kontrola uzavírací síly

$$F = S \cdot p_v \leq 0,8 \cdot Q_n \quad [\text{N}] \quad (3.7)$$

kde: F [N] - otevírací síla působením roztaveného plastu v dělicí rovině,
 S [m²] - průmět plochy do dělicí roviny včetně rozváděcích kanálků,
 Q_n [N] - uzavírací síla stroje,
 p_v [N/m²] - tlak plastu ve formě.

Pro strukturní pěny bývá tlak plastu $p_v = 3 \cdot 10^6 \div 5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

Pro kompaktní plasty bývá tlak plastu $p_v = 5 \cdot 10^7 \div 8 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

Kontrola na otlačení

$$\sigma_o = \frac{Q_n}{S_o} \leq \sigma_{\text{dovo}} \quad [\text{N/m}^2] \quad (3.8)$$

kde: σ_o [N/m²] - zjištěné namáhání na otlačení,
 σ_{dovo} [N/m²] - dovolené namáhání na otlačení,
 Q_n [N] - uzavírací síla stroje,
 S_o [m²] - zjišťovaná styčná plocha dílu.

Dovolené namáhání pro nekalené materiály je do $6 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$.

Dovolené namáhání pro kalené materiály je do $2,4 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$.

4 VSTŘIKOVACÍ STROJE [4]

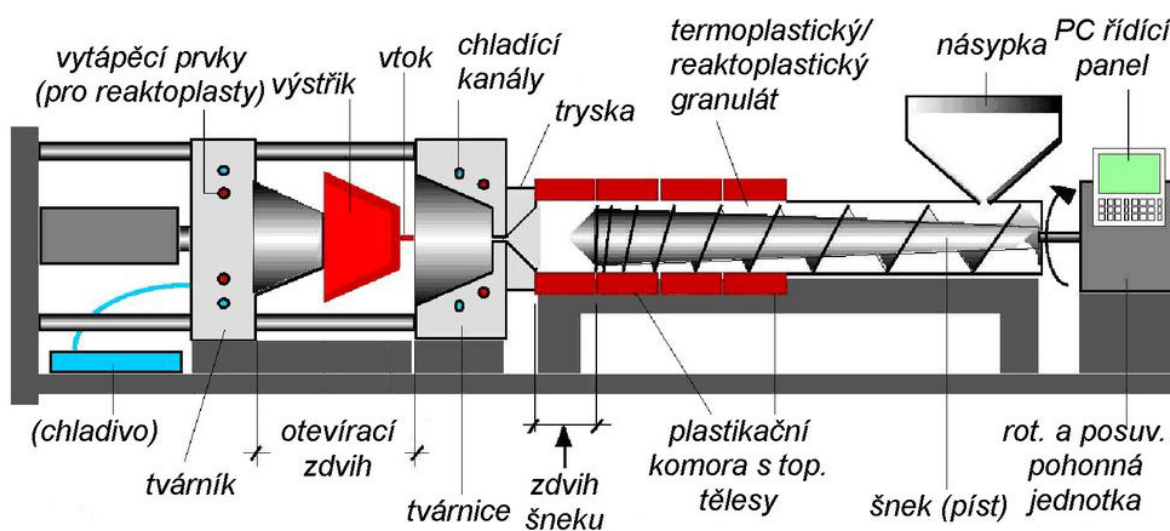
Princip vstříkovacího stroje byl objeven již v 19. století. Dnešní podoba strojů obr. 4.1. Vstříkovací stroj se skládá ze třech základních částí:

- vstříkovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- řízení a regulace.

Schéma šnekového vstříkovacího stroje je uvedeno na obr. 4.2.



Obr. 4.1 Vstříkovací stroj [17]



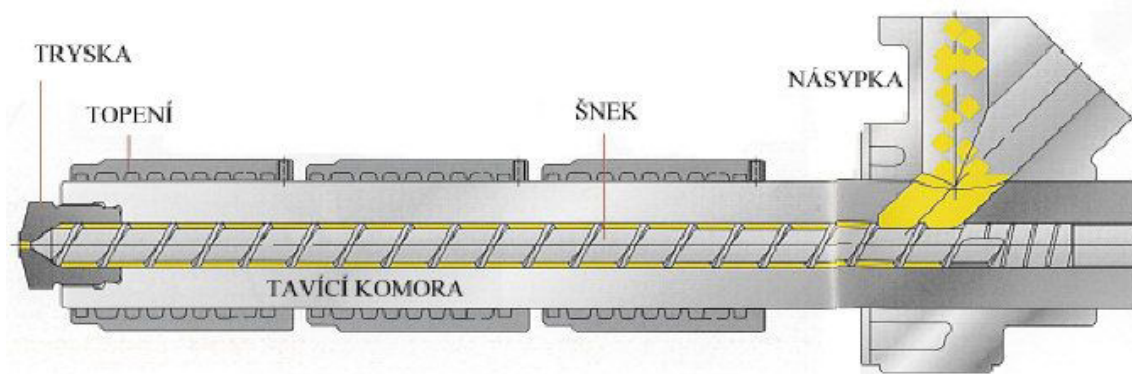
Obr. 4.2 Schéma vstříkovacího stroje [4]

4.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka obr. 4.3 má za úkol:

- přeměnit granulový materiál na homogenní taveninu s danou viskozitou
- dopravit taveninu velkou rychlostí a tlakem do dutiny zavřené formy

Části vstřikovací jednotky jsou tavící komora, šnek, tryska, topení s příslušenstvím.



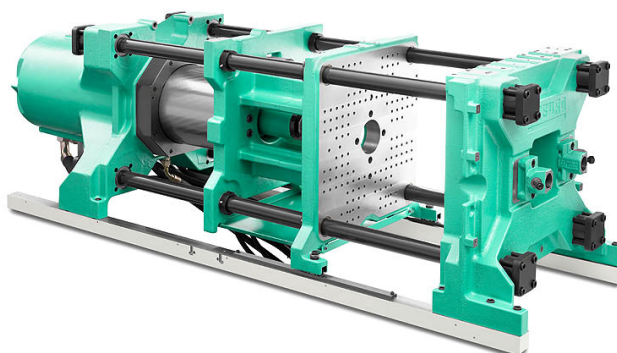
Obr. 4.3 Vstřikovací jednotka [4]

Na počátku bylo využívání pístových strojů, které se udržely až do poloviny 20. století, kdy byly nahrazeny šnekovými. Příchodem šnekových jednotek byly vyřešeny hlavní nedostatky, které měly pístové jednotky.

Při zahájení plastifikace se začne šnek otáčet a nabere potřebné množství granulového plastu, který je stlačován a dopravován do přední části komory, kde se nataví. Poté je dopraven před čelo šneku, přičemž současně šnek ustupuje dozadu. Po ukončení plastifikace se šnek zastaví a pohybem vpřed vstříkne taveniny do dutiny formy. Jelikož je u šnekových jednotek na rozdíl od pístových možné plastifikovat novou dávku při chlazení výlisku ve formě, je zahájena nová plastifikace.

4.2 Uzavírací jednotka

Hlavním úkolem uzavírací jednotky obr. 4.4 je otevírání a uzavírání formy. Při vstřikování musí zabezpečit takové sevření, aby nedošlo k pootevření formy vlivem tlaku ve formě. Jelikož na přisouvání postačí menší síla než na uzavírání, nastavuje se rozdílně včetně rychlosti přisouvání.



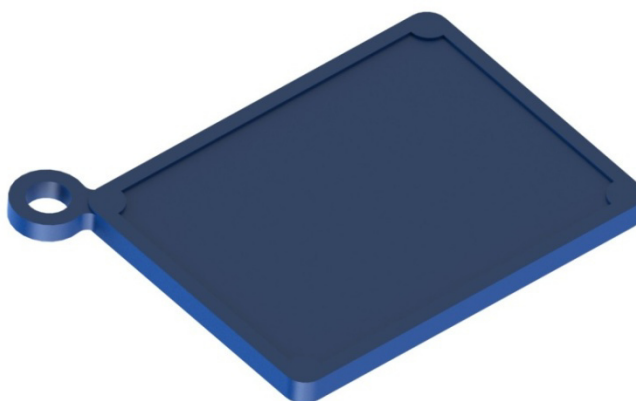
Obr. 4.4 Uzavírací jednotka [8]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část je zaměřena na návrh vstřikovací formy dle zadaného výlisku.

5.1 Zadání výlisku

Vyráběná součást "klíčenka" obr. 5.1, je vyráběna technologií vstřikování plastů. Materiál výlisku je volen polypropylen. Součást slouží jako reklamní předmět k reprezentaci firmy.



Obr. 5.1 Zadaná součást

5.2 Materiál výlisku

Materiál použitý k výrobě zadané součásti "klíčenka" je polypropylen, který spadá do skupiny polyolefinů. Jedná se o nejběžněji užívané plasty. Jedná se o středně pevný, tuhý materiál, který odolává olejům, organickým rozpouštědlům a alkoholům. Nenasákavý materiál - obsah vlhkosti méně než 0,1 %. Maximální teplota použití je 130 stupňů Celsia - lze vyvažovat ve vodě. Snadno obarvitelný, hořlavý. Špatná odolnost v povětrnostních podmínkách, pod bodem mrazu křehne. Modifikovatelný velkou řadou přísad plnidly (talkem, skelnými vlákny apod.). Při recyklaci snáší několik cyklů bez výraznějšího snížení mechanických vlastností. Teplota taveniny je 170 - 280 stupňů Celsia. Velikost smrštění pro neplněné plasty je 1,1 až 1,9 %. Pro plněné typy je rovnoběžné smrštění 0,8 - 1,6 % a kolmé smrštění 0,7 - 1,4 ti %. Vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Vlastnosti polypropyleny

vlastnosti	polypropylen	jednotka
hustota	0,92	[g/cm ³]
absorpce vlhkosti	0,01	[%]
pevnost v tahu	33	[N/mm ²]
protažení při přetržení	> 50	[%]
modul pružnosti	1200	[N/mm ²]
Vrubová houževnatost	≥ 9	[kJ/m ²]
tvrdost podle brinella	70	[N/mm ²]
teplota pro trvalé použití	0 - 130	[°C]
vodivost při 20 °C	0,22	[W/mK]

5.3 Volba vstřikovacího stroje

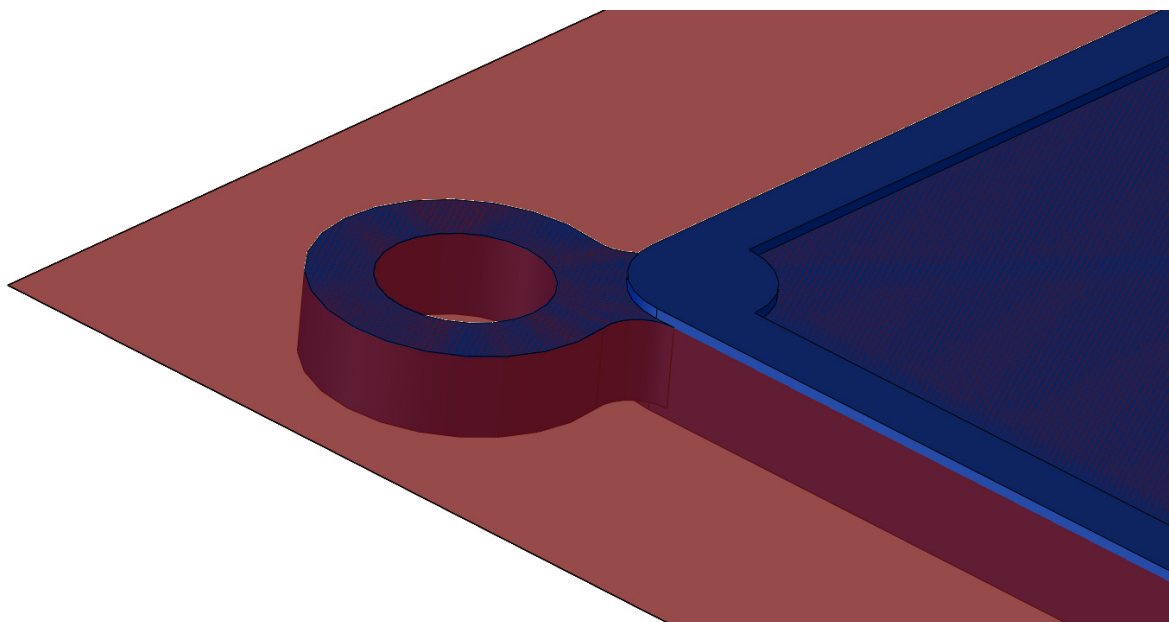
Vstřikovací lis je volen s ohledem na velikost upínacích desek, velikost středících kroužků, velikost uzavírací síly, vstřikovací tlak a objem plastifikační jednotky. Pro správnou volbu musí všechny tyto podmínky vyhovovat. K výrobě bude použit vstřikovací lis Arburg Al-lrounder 220 S mezinárodní velikost 150 - 60. Technické informace jsou uvedeny v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Technické údaje lisu

uzavírací jednotka		
uzavírací síla	150	max. kN
otevření	275	max. mm
výška formy	150	min. mm
světlost mezi upínacími deskami	425	max. mm
vzdálenost mezi vodícími sloupky	221 x 221	mm
velikost upínací desky (hor. x ver.)	400 x 400	mm
vyhazovací síla	18	max kN
zdvih vyhazovače	95	max. mm
hydraulika, pohon, všeobecně		
výkon čerpadla	5,5	kW
doba cyklu na sucho při otevření	1,3 - 154	s- mm
celkový příkon stroje	11,1	kW
vstřikovací jednotka	60	-
průměr šneku	18 / 22 / 25	mm
poměr šneku	24,5 / 20 / 17,5	L / D
objem dávky	20 / 30 / 39	max. cm ³
hmotnost dávky	18 / 27 / 36	max. g PS
vstřikovací tlak	2500 / 2340 / 1810	max. bar
vstřikovací rychlost (objemová)	32 / 48 / 62	max. cm ³ / s
vstřikovací rychlost (objemová) s akum.	138 / 208 / 268	max. cm ³ / s
krouticí moment šneku	125 / 180 / 200	max. Nm
přítlačná síla trysky	220	max kN
zdvih trysky	220	max. mm
horizontálně přestavit. poloha vstřikování	95	max. mm

5.4 Zaformování a dělicí rovina

Dělicí rovinu je vhodné uvažovat tak, aby bylo možné součást odformovat pouze rozjetím formy pokud je to možné. Poloha dělicí roviny je znázorněna na obr. 5.2. Před vytvořením dutin je nutné zvětšit výlisek o smrštění (u polypropylenu voleno 1,5 %)



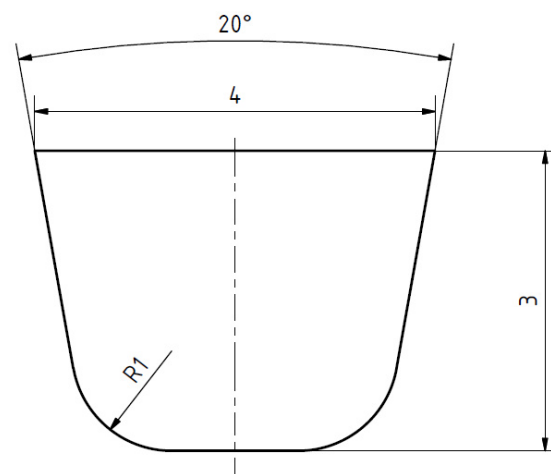
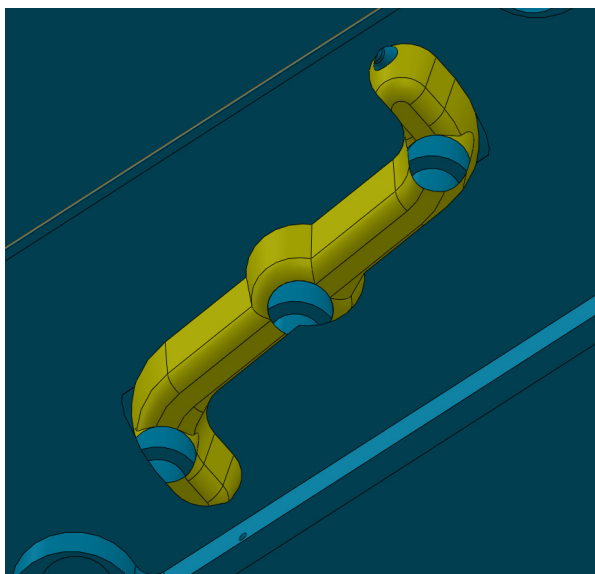
Obr. 5.2 Dělicí rovina

5.2 Volba násobnosti

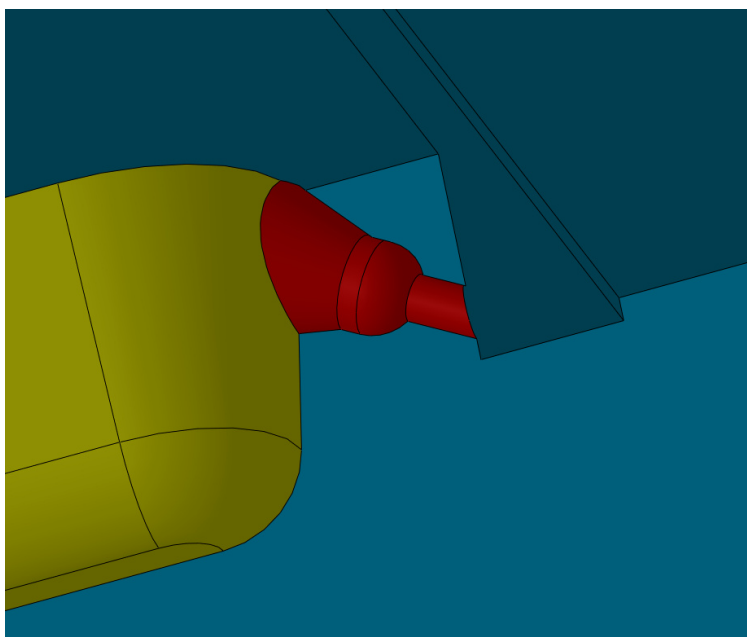
Násobnost se volí podle různých kritérií, kterými jsou parametry stroje, ekonomické hledisko, termín dodání, požadavek zákazníka apod. U zadaného výlisku, který bude vyráběn ze zbytkového granulátu na malých lisech, které jsou nejméně vytížené, bylo rozhodnuto, že forma bude dvojnásobná.

5.3 Návrh vtokového systému

Vzhledem k tomu, že se jedná o formu pro občasnou výrobu reklamních klíčenek malých sérií je vhodné použít studený vtokový systém, protože je jednodušší na výrobu a levnější než horký vtokový systém. Délky rozváděcích kanálků jsou voleny co nejkratší a stejné aby docházelo k rovnoměrnému plnění dutin. K určení velikosti hlavního vtokového kanálu lze použít diagram obr. 3.9. Velikost hlavního kanálu je volena 3 mm s úhlem rozšíření 2°. Velikost rozváděcího kanálku obr. 5.4. Vtokové ústí obr. 5.5 je voleno kuželové, které nevyžaduje dodatečné začištění výlisku. Vyrábí se pod úhlem, aby vznikla ostrá hrana, která odděluje vtokový zbytek. Průměr vtokového ústí je voleno 0,5 mm a úhel sklonu 60°. Velikost vtokového ústí se volí menší a po zkoušce formy se případně zvětší.



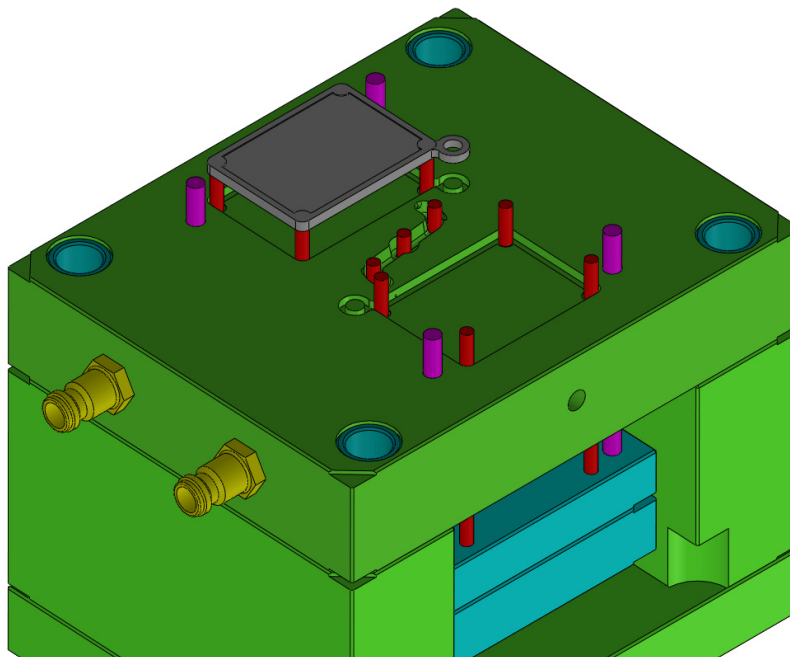
Obr. 5.4 Rozváděcí kanálky



Obr. 5.5 Řez vtokového ústí

5.4 Návrh vyhazovacího systému

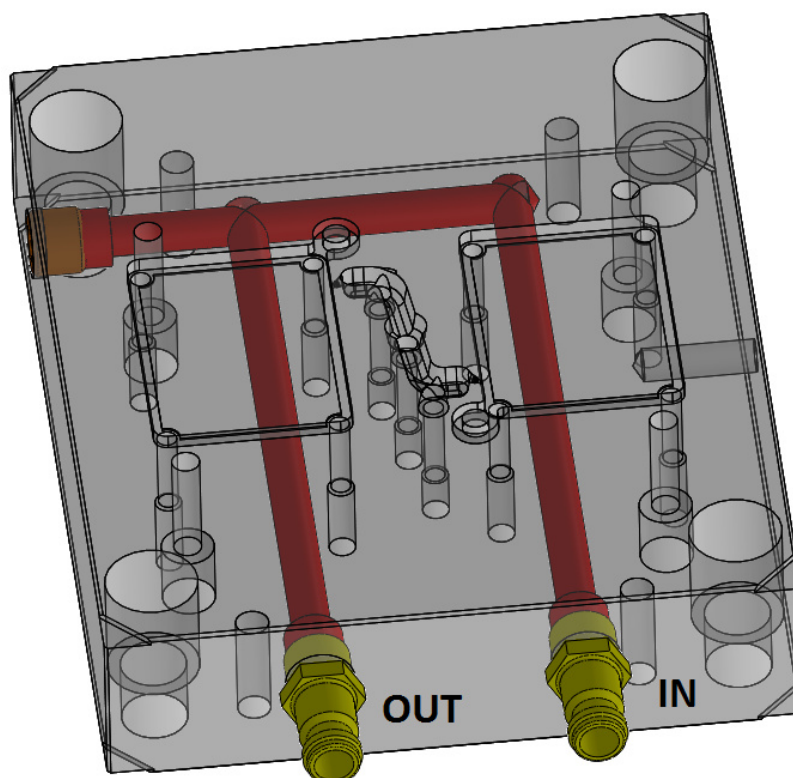
Vyhazování bude mechanické, jelikož je nejrozšířenější. K vyhození jednoho výlisku jsou použity 4 kruhové vyhazovače umístěné v rozích. Vtok je vyhozen pomocí třech kruhových vyhazovačů umístěných symetricky. Celkem je tedy použito 11 vyhazovacích kolíků. K vrácení vyhazovačů do výchozí polohy jsou použity čtyři vratné kolíky, na které začne působit při uzavírání pevná část formy a tímto dojde při dovření formy k návratu do výchozí polohy. Rozmístění vyhazovacích a vratných kolíků je znázorněno na obr. 5.6. Vzhledem k vůli, kterou mají vyhazovací kolíky, je zajištěno dostatečné odvědušnění formy a není nutné volit další odvědušňovací kanálky.



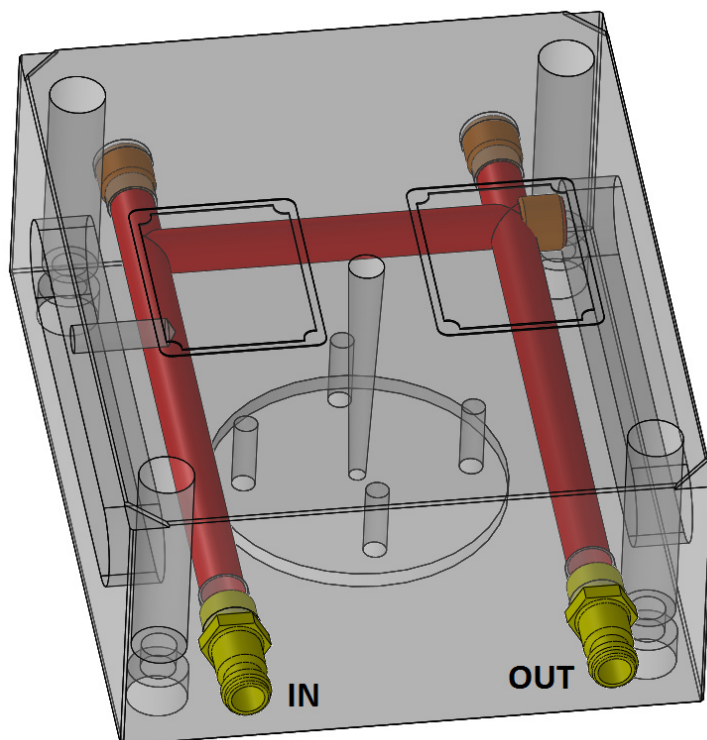
Obr. 5.6 Rozmístění vyhazovacích a vratných kolíků
červené - vyhazovací kolíky, fialové - vratné kolíky

5.5 Návrh temperačního systému

Temperace pohyblivé části obr. 5.7 je řešena vrtanými kanály o průměru 6 mm. Temperace pevné části obr. 5.8 je řešena vrtanými kanály o průměru 8 mm. Slepé konce jsou zaslepeny normalizovanými zátky od firmy Hasco o průměru 10 mm.



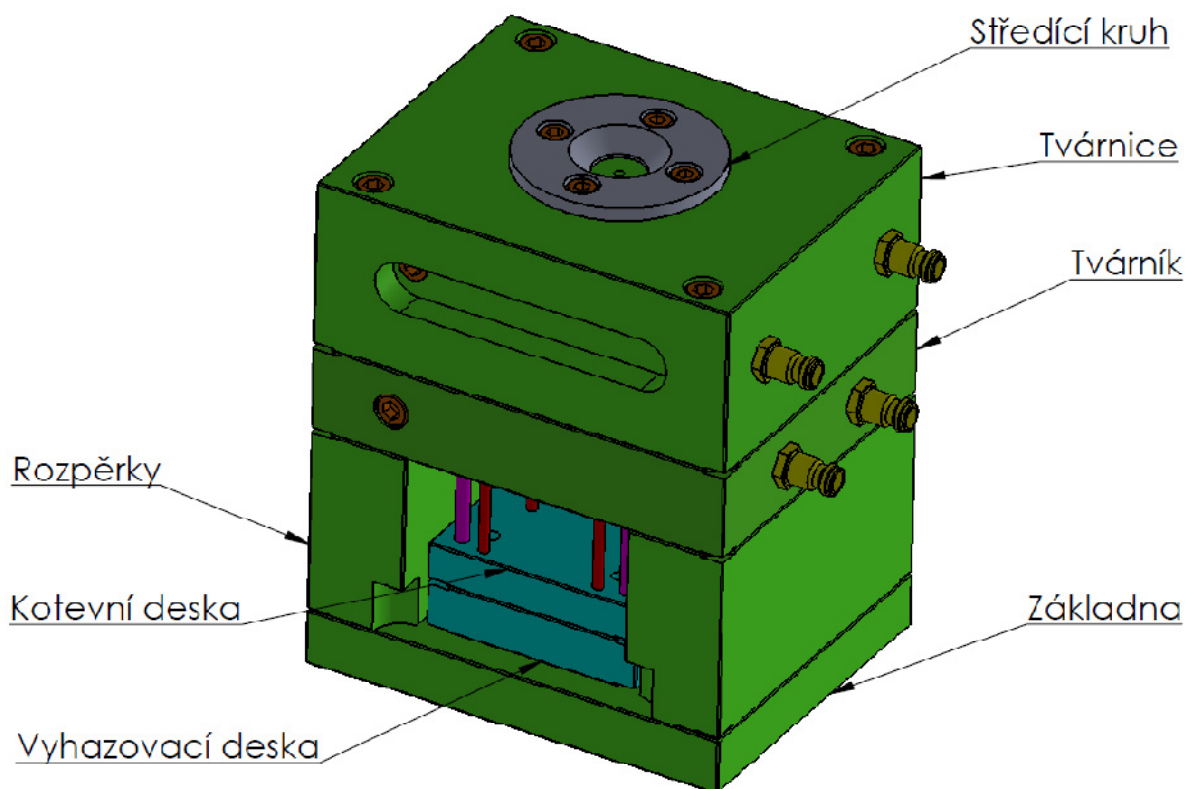
Obr. 5.7 Temperace pohyblivé části



Obr. 5.8 Temperace pevné části

5.6 Funkce formy

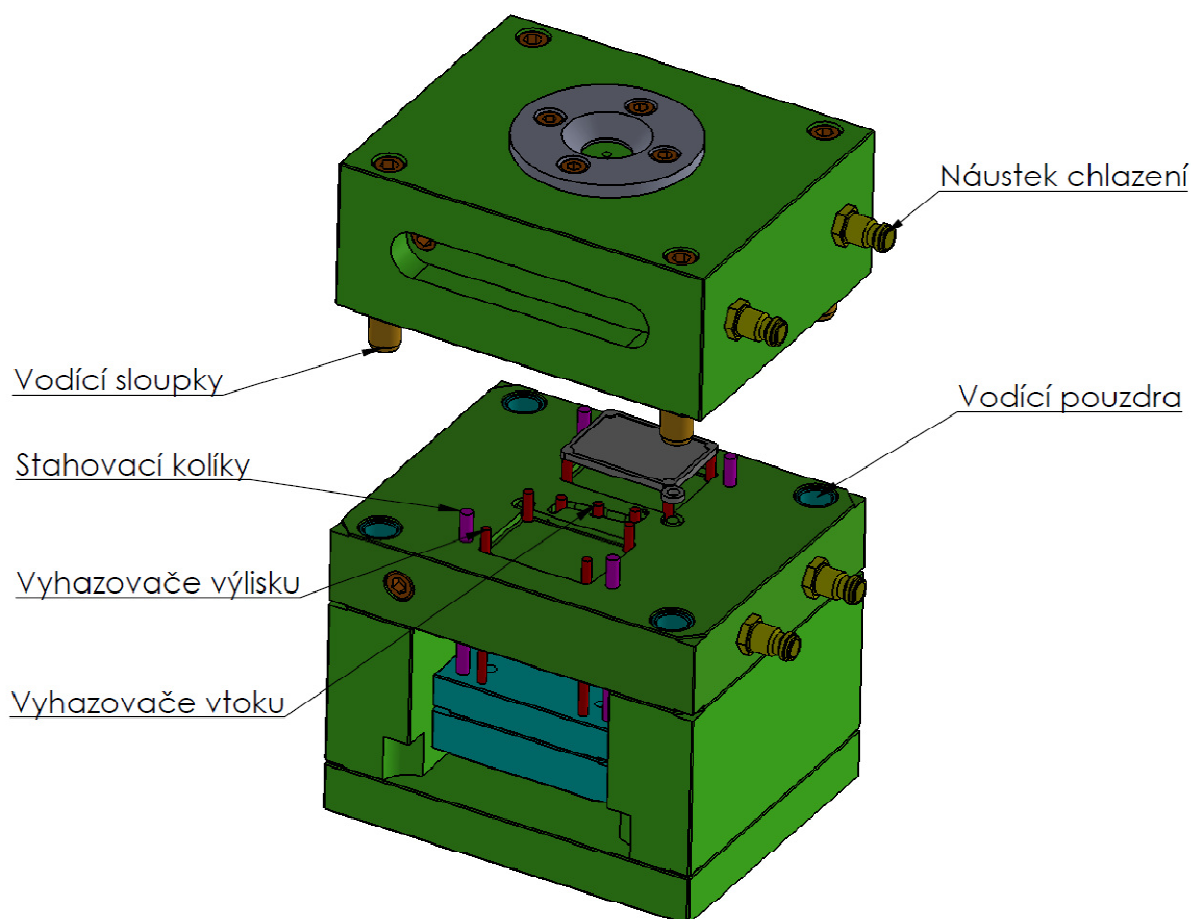
5.6.1 Uzavřená forma



Obr 5.9 Uzavřená forma

Uzavřená forma obr. 5.9 se připevní upínkami na lis. Polohu formy určují středící kruhy. K formě se připevní temperační hadice přes rychlospojky a tím je forma připravena k vstříknutí plastu. Poté dojde k ochlazování a po uplynutí stanovené doby k otevření.

5.6.2 Otevřená forma



Obr. 5.10 Otevřená forma

Při otevírání formy zůstává stát pevná polovina formy (tvárnice). Výlisek drží na posuvné polovině a tím vyjíždí z pevné. V určité poloze dojde k naražení vyhazovacího čepu na nastavitelný doraz lisu. Vyhazovací deska zůstane stát a forma pokračuje do výchozí polohy lisu. Tím dojde přes vyhazovače zakotvené ve vyhazovacích deskách k vyhození výlisku z tvárníku. Po vyhození dojde k zavírání formy. Pomocí stahovacích kolíků, které se opřou o dělicí rovinu, se vrátí do původní polohy vyhazovací desky. Po uzavření je forma připravena na nový cyklus.

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Náklady na nákup materiálu tab. 6.1:

- použitý materiál 1.2099 – částečně zušlechťená ocel s pevností 900-1050 N/mm²
- daný materiál použit z důvodu malé sériovosti
- není třeba mít tvarové díly kalené
- cena materiálu 130,-/Kg bez DPH

Tab. 6.1 Náklady na nákup materiálu

Mat. 1.2099				
Název pozice	Rozměry	Hmotnost /Kg	Počet kusů	Cena /Kč
Tvárnice	130x105x56	6,12	1	795,60 CZK
Tvárník	130x105x27	2,9	1	377,00 CZK
Základna	130x105x21	2,25	1	292,50 CZK
Rozpěrka	58x105x30	2,87	2	373,10 CZK
Kotevní deska	58x85x12	0,53	1	68,90 CZK
Vyhazovací deska	58x85x15	0,66	1	85,80 CZK
Vyhazovací čep	14x34	0,041	1	5,30 CZK
Středící kruh vstřík.	Ø60x7	0,1	1	13,00 CZK
Středící kruh vyhaz.	Ø60x7	0,12	1	16,00 CZK
Cena za materiál celkem				2 033,80 CZK

Náklady na výrobu tab. 6.2 a tab. 6.3:

Vlastní výroba je realizována ve firmě IDSC Nástrojárna. Firma disponuje CNC obráběcími centry DMU100, DMU60, CNC soustruhem NEF 400, bruskami naplocho a dokulata a horizontální vrtačkou pro vrtání otvorů chlazení. Elektroerozivní řezání drátem a EDM obrábění je realizováno u externích dodavatelů v kooperacích. Stejně tak i leštění tvarových dílů a částí formy.

Tab. 6.2 Cena hodinové sazby stroje

Hodinová sazba	
Stroj	Cena/Hodina
DMU 100 monoBLOCK – 5os – CNC frézování	1 250,00 CZK
DMU 60T – 4osy – CNC frézování	1 250,00 CZK
NEF 400 – CNC soustružení	1 000,00 CZK
Bruska G+H 1000 – broušení naplocho	750,00 CZK
Bruska G+H 640 – broušení naplocho	750,00 CZK
Bruska Myford – broušení dokulata - 2x	750,00 CZK
Degen UTB – horizontální vyvrtávačka	500,00 CZK
Dělení materiálu, ruční práce	350,00 CZK

Náklady na vlastní výrobu:

Tab. 6.3 Vlastní výrobní náklady

Výrobní náklady - vlastní				
Název pozice	Stroj	Hodin	Ruční práce / Hodin	Cena /CZK
Tvárnice	DMU 60T	5,5	1	7 975,00 CZK
	Degen UTB	1,5		
Tvárník	DMU 60T	6	1	8 350,00 CZK
	Degen UTB	1		
Základna	DMU 60T	2,5	1	3 475,00 CZK
Rozpěrky	DMU 60T	2,5	0,5	3 300,00 CZK
Kotevní deska	DMU 60T	2	0,5	2 675,00 CZK
Vyhazovací deska	DMU 60T	1,5	0,5	2 050,00 CZK
Vyhazovací čep	NEF 400	1	0	1 000,00 CZK
Středící kruh vstřík.	NEF 400	1	0,3	1355,00 CZK
	Degen UTB	0,5		
Středící kruh vyhaz.	NEF 400	1	0,3	1355,00 CZK
	Degen UTB	0,5		
Výrobní náklady – vlastní celkem				31 535,00 CZK

Náklady na výrobu v kooperaci tab. 6.4:

Tab. 6.4 Náklady na výrobu v kooperaci

Výrobní náklady - kooperace			
Název pozice	Kooperace	Popis	Cena / CZK
Tvárnice	Elektroerozivní drátové řezání	Řezání kužele D 3 - 2°	1 050,00 CZK
	EDM erodování	Hloubení tvaru + výroba elektrod	4 350,00 CZK
	Leštění	Leštění tvarových ploch	2 500,00 CZK
Tvárník	Elektroerozivní drátové řezání	11x D3H7 pro vyhazovače	5 500,00 CZK
	EDM erodování	Hloubení tvaru + výroba elektrod	4 350,00 CZK
	Leštění	Leštění tvarových ploch	2 500,00 CZK
Výrobní náklady – kooperace celkem			20 250,00 CZK

Náklady na nákup normalizovaných dílů tab. 6.5:

Tab. 6.5 Náklady na nákup normalizovaných dílů

Normalizované díly			
Název položky	Cena / Ks	Kusů Celkem	Cena/CZK
Hasco - Z81_9_10x1	21,60 CZK	4	86,50 CZK
Hasco - Z94_10x1	8,40 CZK	4	34,00 CZK
Hasco - Z10 / 12/10	145 CZK	4	580,00 CZK
Kolík 10x70 DIN 7979 D	23,00 CZK	4	92,00 CZK
Kolík 10x55 DIN 7979 D	18,00 CZK	4	72,00 CZK
Vyhazovač 3x100 - L31	78,60 CZK	3	236,00 CZK
Vyhazovač 3x100 – L35,75	78,60 CZK	8	629,00 CZK
Vyhazovač 4x100 - L38	81,00 CZK	4	324,00 CZK
M5x6 CSN 02 1143	1,50 CZK	8	12,00 CZK
M5x16 CSN 02 1143	1,50 CZK	4	6,00 CZK
M6x10 CSN 02 1143	2,10 CZK	4	8,50 CZK
M6x14 CSN 02 1143	2,10 CZK	4	8,50 CZK
M6x80 CSN 02 1143	10,00 CZK	4	40,00 CZK
Náklady na nákup normalizovaných dílů celkem			2 128,50 CZK

Celkové náklady na výrobu formy „KLÍČENKA“

Celkové náklady	55 947,30 CZK
------------------------	----------------------

Poznámka

Forma je určena pro použití k interní výrobě v lisovnách majitele firmy, a proto je při zhodnocení finančních nákladů uvažováno pouze se samotnou výrobou nástroje (formy). Jelikož je forma určená k lisování malých sérií z recyklovaného granulátu není potřeba počítat náklady na lisování.

ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout vstřikovací formu na reklamní klíčenku, která bude vyráběna z recyklovaného granulátu. V první části práce je popsáno základní rozdělení plastů, technologie vstřikování plastů a zásady konstrukce forem.

V druhé části je popsán postup při konstrukci formy. Vlastní konstrukce byla provedena v programu Solidworks. Před zaformováním bylo nutné zhodnotit vyrobitelnost součásti, zkontrolovat velikost úkosů vzhledem ke zvolené dělicí rovině a provést zvětšení součásti o hodnotu smrštění. Jelikož byla požadována dvojnásobná forma, bylo nutné zajistit stejnou dráhu vtoku k obou dutinám z důvodu rovnoměrného plnění. Ústí vtoku je voleno kuželové. Teplota je řešena vrtanými kanály o průměru 6 mm u pohyblivé a 8 mm u pevné části formy. Slepé konce jsou zaslepeny zátkami o průměru 10 mm od firmy Hasco. Vyhazování je řešeno čtyřmi vyhazovacími kolíky na každém tvaru a třemi kolíky na vtoku. Zpětný pohyb vyhazovačů je zajištěn čtyřmi vratnými kolíky. Vstřikovací stroj je volen Arburg Allrounder 220 S.

Na závěr bylo provedeno ekonomické zhodnocení, které stanovilo přibližnou cenu formy. Jelikož se jedná o formu, která bude ve vlastnictví firmy, určenou pro výrobu klíčenek malých sérií z recyklovaného granulátu, není potřeba počítat cenu jednoho vylisku. Celková cena formy byla vyčíslena na 55 947,30 CZK.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KREBS, Josef. MILOŠ SOVA. *Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastu*. 5. aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2001. ISBN 80-86229-15-7.
2. JAN KULHÁNEK. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1966.
3. ŽÁK, Ladislav. *Cvičení, tvářecí nástroje – vstřikovací formy*. VUT Brno, fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie, odbor tváření kovů a plastů, [cit. 2013-04-03]. <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory>.
4. LENFELD, Petr. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů*. Technická univerzita Liberec, fakulta strojní, katedra strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů, [cit. 2013-04-03]. <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty>
5. LUBOMÍR ZEMAN. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
6. ZELINGER, J. a A. KUTA. J. ŠTĚPEK. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989.
7. DĚNĚK ŘEHULKA. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Praha: Sekurkon, 2009. ISBN 978-80-86604-44-2.
8. ARBURG. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Bilder/Galerie_747px/22361_470U_clamping_unit.jpg
9. Chlazení forem aplikací konformního chlazení. *PlasticPortal* [online]. 2010 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/chlazeniacute-forem-aplikaciacute-konformniacuteho-chlazeniacute/c/260>
10. Innomia. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/files/gallery/konformni-chlazen-forem/konformni-chlazen-2.jpg>
11. Vision Fly Technology International Co., Ltd. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.visionflycn.com/upload_files/2012/7/i_20120728_094440462.jpg
12. Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, č. 5 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>

13. Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, č. 4 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html>
14. Vady výstřiků – 3. díl: Vady vzhledové. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, č. 5 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove.html>
15. Enteron. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.enteron.co.uk/animations/178-plastic-world.html?PHPSESSID=f580b2e713937390c3f08728c3e05785>
16. Guenther-hotrunner. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.guenther-hotrunner.de/produkte/rasant-systeme.html>
17. Vydavatelství CCB spol. s r.o. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.ccb.cz/images_aqua/Technika_2010/05_kveten_2010/ALLROUNDER%20570%20H%20Nitra%202010.jpg

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

A	koeficient vtokového zbytku	-
D	průměr rozváděcích kanálů	mm
D _v	velký průměr vtokového kanálu	mm
F	uzavírací síla	N
F _o	otevírací síla působením roztaveného plastu v dělicí rovině	N
F _p	přisouvací síla	kN
k	koeficient využití výrobního času	-
K _c	korekční součinitel délky qrozváděcího kanálu	-
k _f	konstanta úměrnosti	-
K _p	provozní náklady (mzdy, režie)	kč
K _{pp}	korekční součinitel pro plněné polymery	-
K _v	korekční součinitel vlastnosti plastu	-
M	vstřikovací objem lisu	g
m	hmotnost výstřku	g
M _p	plastifikační výkon	kg.h-1
n	násobnost	-
N	počet kusů	ks
p _i	vnitřní tlak	Mpa
p _v	vstřikovací tlak	Pa
p _z	zbytkový tlak	Mpa
Q _k	teplo odvedené do okolí	W
Q _n	uzavírací síla stroje	N
Q _p	teplo přivedené roztaveným plastem	W
Q _r	teplo odvedené zářením	W
Q _t	teplo odvedené temperací	W
Q _v	teplo odvedené od upínacích ploch stroje	W
S	průměr ploch dutin a kanálů do dělicí roviny	m2
S _o	styčná plocha dílu	m2
t _c	doba cyklu	s
T _F	teplota formy	stupeň celsia
t _{ch}	doba chlazení	s
t _m	doba manipulace	s
t _o	doba cyklu	s
t _p	doba produkce	h
t _{pl}	čas plastifikace	s
t _s	doba dotlaku	s
t _{s1}	čas potřebný k uzavření formy	s
t _{s2}	čas potřebný k přisunutí vstřikovací jednotky	s
t _{s3}	čas potřebný k otevření formy	s
t _v	čas vstřikování	s

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Výkres zadané součástky

Příloha č. 2: Výkres sestavy

Příloha č. 3: Kusovník

Příloha č. 4: Výkres tvárníku

Příloha č. 5: Výkres tvárnice

Příloha č. 6: Výkres rozpěrky

Příloha č. 7: Výkres základny

Příloha č. 8: Výkres vyhazovací desky

Příloha č. 9: Výkres kotevní desky

Příloha č. 10: Výkres vyhazovacího čepu

Příloha č. 11: Výkres středícího kruhu 1

Příloha č. 12: Výkres středícího kruhu 2