

5 Vstřikovací formy

5.1 Zásady konstruování forem (1)

Forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj (Obr. 5.1, Obr. 5.2). V průběhu vstřikovacího cyklu je naplněna roztaveným plastem. Po zchladnutí je zhotoven výstřik s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi. Forma během své životnosti musí splňovat tyto požadavky:

- odolávat vůči vysokým tlakům,
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku,
- snadné vyjmutí výstřiku,
- snadná obsluha a automatický provoz,
- nízká pořizovací cena,
- snadná a rychlá výroba,
- vysoké využití zpracovávaného plastu.

Konstrukční koncepce a uspořádání formy a také způsob výroby závisí na účelu a požadavcích, které má forma splňovat. Životnost formy je dána volbou materiálu a tepelným zpracováním funkčních částí jako je tvárník, tvárnice atd. Materiál volíme s ohledem na:

- druh zpracovávaného plastu,
- použité technologii,
- velikosti výrobku a jeho složitosti,
- velikosti série,
- tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi,
- ceně atd.

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třidedkové, etážové, čelist'ové, vytáček apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

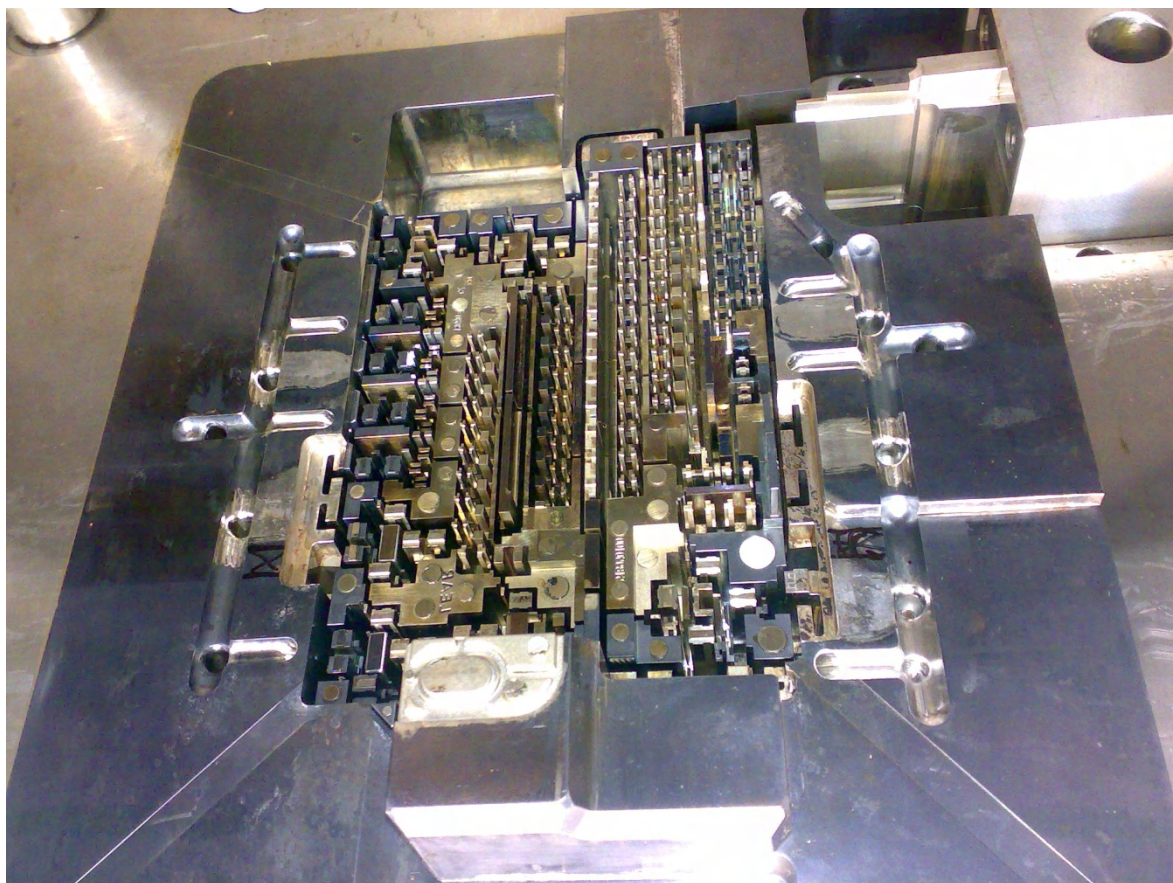
Vstřikovací forma se skládá z mnoha dílů. Jednotlivé díly lze rozdělit do několika kategorií. Jsou to díly:

- vymežující tvarovou dutinu,
- temperovacího systému,
- vtokového systému,
- upínací a vodící elementy.

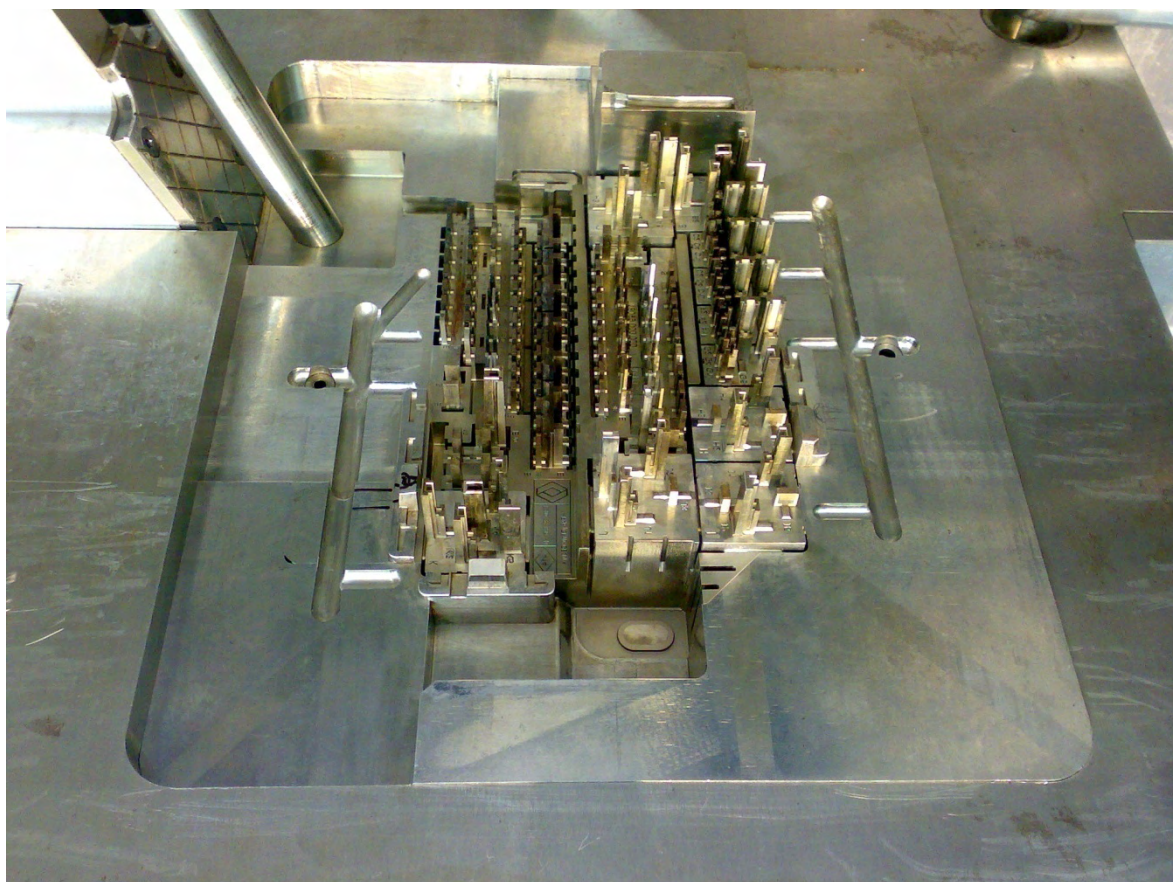
Konstrukční části zajišťují správnou činnost nástroje a funkční části jsou v kontaktu s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. Ukázka konstrukce vstřikovací formy s popisem hlavních částí viz. Obr. 5.3.

Výroba dílů technologií vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích ve formě během krátkého času při působení dostatečného tlaku a teploty spolu s dalšími technologickými parametry. Proto se u formy vyžaduje:

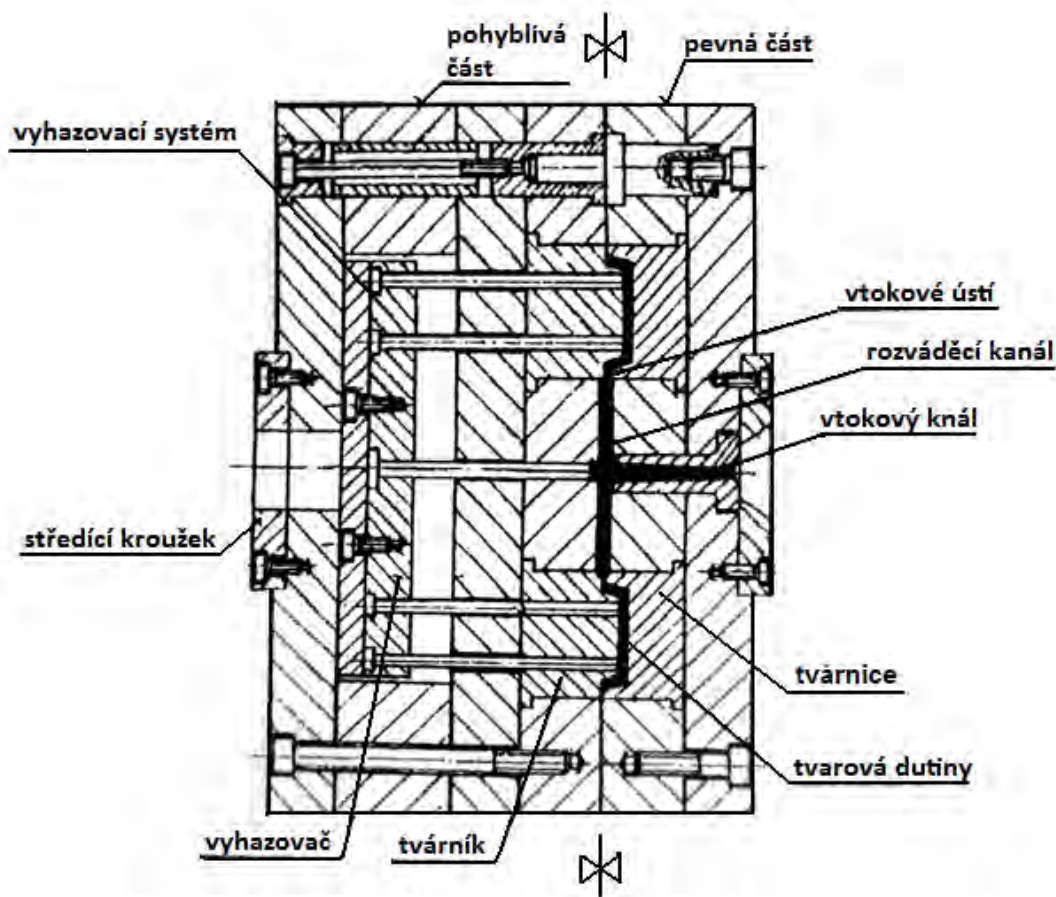
- vysoká přesnost a jakost funkčních ploch dutiny formy a funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí potažmo celků formy pro zachycení potřebných tlaků,
- vhodný vtokový systém, odvodušnění, temperování, vyhazování apod.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem a výrobou.



Obr. 5.1 Pohyblivá deska vstříkovací formy (4)



Obr. 5.2 Pevná deska vstříkovací formy (4)



Obr. 5.3 Vstříkovací forma - popis hlavních částí (1)

Konstrukce plastového dílce je mnohem složitější než konstrukce plechového výrobku. Při jeho výrobě musí konstruktér brát v úvahu také to co se během vstříkování děje v dílu z plastu.

Pro konstrukci plastového dílce jsou dány jisté konstrukční omezení týkající se tvarů a vlastností.

Z hlediska konstrukce formy musí tvar její dutiny umožnit především vhodné zaformování. Tímto hlediskem je určena i dělicí plocha. Na dělicí plochu je pak vázána celá koncepce formy s vtokovým systémem, s vyhazováním, temperací, odvzdušněním apod.

Jelikož výroba formy je finančně náročná, je někdy výhodné vyrábět tzv. násobné formy pro výrobu několika součástí najednou. Volba optimální násobnosti je závislá na mnoha faktorech. Posuzuje se například z hlediska:

- charakteru a přesnosti výstřiku,
- velikosti a kapacity vstříkovacího stroje,
- požadovaného množství a termínu dodávky,
- ekonomiky výroby.

Protože vysoká násobnost formy sebou přináší také vyšší nepřesnost a nižší kvalitu výstřiku, je obecně výhodnější používat násobnost co nejmenší. Tvarově náročné a velkorozměrové výstřiky se většinou vyrábějí v jednonásobných formách. Násobnost formy nám také kromě tvaru a přesnosti výstřiku ovlivňuje také samotný vstříkovací stroj. Omezení ze strany stroje je z hlediska vstříkovací kapacity, plastikačního výkonu a uzavírací síly. Stroj musí zajistit dostatečné zaplnění tvarové dutiny s dostatečnou rezervou. Rezerva uzavírací síly a objemu taveniny má být 20%.

Aby bylo dosaženo kvalitního výstřiku je důležité zvolit vhodný vstřikovací stroj. Pro navrženou formu musí stroj mít:

- dostatečnou vstřikovací kapacitu,
- vyhovující uzavírací a přidržovací sílu,
- vyhovující vstřikovací tlak,
- vhodnou koncepci (viz. Obr. 4.4 Uspořádání vstřikovacího stroje).

Množství taveniny potřebné pro jeden cyklus bývá menší než je kapacita vstřikovací jednotky. Využití se pohybuje maximálně do 90%. Toto využití by se nemělo překročit, protože při výrobě je nutné dorovnávat úbytek plastu způsobený teplotním smrštěním tzv. dotlakem.

Uzavírací síla se po dosednutí obou částí forem a zahájení vstřikování zvýší na sílu přidržovací, která musí být taková, aby udržela formu zavřenou po celou dobu vstřikování.

Mimo technologických parametrů musí vstřikovací stroj splňovat také konstrukční požadavky formy. Její velikost a koncepce vyžaduje stroj:

- s vyhovující světlostí mezi sloupky (pokud jsou),
- s dostatečnými rozměry upínacích ploch na pevné a pohyblivé upínací desce stroje,
- vhodnou velikost středících otvorů a dosedací trysky stroje,
- s dostatečným uzavřením a otevřením vstřikovacího stroje v závislosti na stavební výšce formy,
- vhodné rozmístění upínacích šroubů.

5.2 Postup při konstrukci formy (1)

Podle podkladů, které konstruktér formy obdrží (výkresu součásti, násobnosti formy, zvoleného stroje, konstrukčního návrhu a další doplňkové údaje) následují tyto kroky:

- s ohledem na umístění vtoku a způsobu zaformování, posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a vhodného zaformování určit, případně upřesnit tvar a umístění dělicí plochy tak, aby byla co nejjednodušší kvůli výrobě a aby procházela hranami výstřiku (kvůli funkčním a vzhledovým vadám),
- s ohledem na smrštění, výrobní toleranci a opotřebení dutiny stanovit rozměry tvarových dutin a jejich uspořádání. Velikost výrobní tolerance dutiny formy se volí 20% ze smrštění. Opotřebení dutiny je velmi malé, proto ho lze většinou zanedbat. Výjimkou je výroba přesných výstřiků ve velkých sériích.
- zvolení vhodné konstrukce temperovacího a vyhazovacího systému a způsobu odvodu vzdušného,
- určení vhodného materiálu na rám formy a ostatní díly s ohledem na zatížení a technologické podmínky vstřikování,
- zvolení vhodného druhu vystředění a upnutí formy na stroji,
- kontrola funkčních parametrů formy s ohledem na určený vstřikovací stroj.

Konstrukce formy se řídí nejen funkčními a výrobními požadavky, ale také ekonomikou a termínem dodání. Proto se dají použít i různá příslušenství, která splní všechny tyto podmínky. Jsou to např. typizované rámy forem, vyhřívané trysky, robotizace při vstřikování a další zařízení.

Přesnost tvarové dutiny se pohybuje v rozmezí IT6 až IT12. Chybně stanovené rozměry lze někdy vykompenzovat úpravou technologických parametrů vstřikování. Pokud tak nelze, je třeba provést korekci rozměrů formy. Ta je však velmi nákladná.

Dutina formy je zvětšena především kvůli smrštění plastu. Výrobní tolerance se stanoví podle technologie výroby s ohledem na toleranci výstřiku. Příklad na opotřebení dutiny formy se bere v úvahu jen u velkých sérií, kde je nebezpečí, že ovlivní funkční rozměry výstřiku. Tepelná roztažnost se uvažuje jen u rozměrných výstřiků vyráběných při vysokých teplotách formy z materiálu s velkou teplotní roztažností jako je např. hliník nebo měď.

Dalším neméně důležitým parametrem formy je jakost povrchu, která určuje i vzhled výsledného výstřiku. Funkční plochy v dutině formy se vyrábějí jako:

- *matné* - jsou jednodušší na výrobu, jsou schopny překrýt některé nedostatky výroby formy a vstřikování (studené spoje, vtokové čáry, ...). Je to výchozí plocha po elektroerozivním obrábění.
- *lesklé* - vyžadují nákladnou a náročnou technologii opracování dílů, které musí být vyrobeny z kvalitních a tedy i drahých materiálů. Zvýrazní všechny výrobní nedostatky jak formy, tak i výstřiku.
- *sezónové* - jde o speciální úpravu. Vyžaduje kvalitní materiál formy s vhodným opracováním povrchu. Vyrábí se např. elektrochemicky nebo elektroerozivně. Při výrobě na bočních plochách je třeba zvýšit velikost úkosu.

Větší drsnost povrchu má za následek horší odformování výstřiků. Doporučené drsnosti pro obráběné plochy dutiny formy jsou v tabulce Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Drsnost povrchu u obráběných forem (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 tvárníc a tvárníků u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	opracování tvárníc a tvárníků méně náročných forem a dosedacích ploch

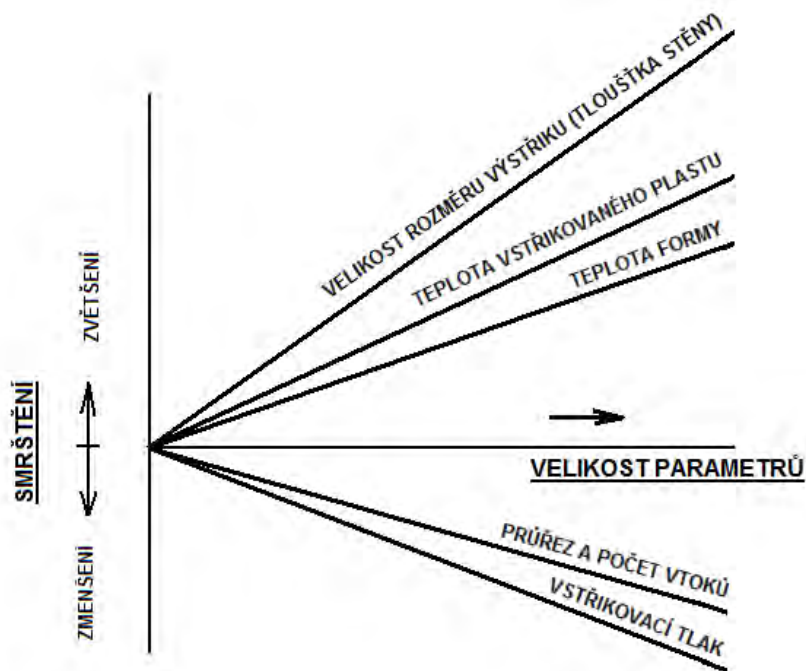
5.2.1 Smrštění (1), (2), (3), (4)

Velikost smrštění je dána rozdílem rozměrů zhotovené dutiny formy a výslednými rozměry u výstřiku, pokud se neuvažují další přídatky. Udává se v procentech. Velikost je ovlivněna jak druhem plastu, tak tvarem výstřiku, technologií vstřikování, ale i vstřikovací formou (vtokovou soustavou a teplotou temperace). Vliv některých činitelů je na Obr. 5.4. Při zjišťování přesné velikosti smrštění je třeba tyto faktory brát v úvahu.

Od jeho velikosti se odvíjí konstrukce formy (vtoková soustava, temperace formy apod.). Její stanovení je velmi obtížné, proto se využívá tabulek, ve kterých je pro jednotlivé druhy plastů smrštění již vypočítané. Stanovení smrštění z těchto tabulek však není vždy dostačující. U přesných výstřiků je třeba dutinu formy dimenzovat tak, aby jí bylo možné v případě nutnosti opravit (tvárník vyrobit větší, tvárnici menší).

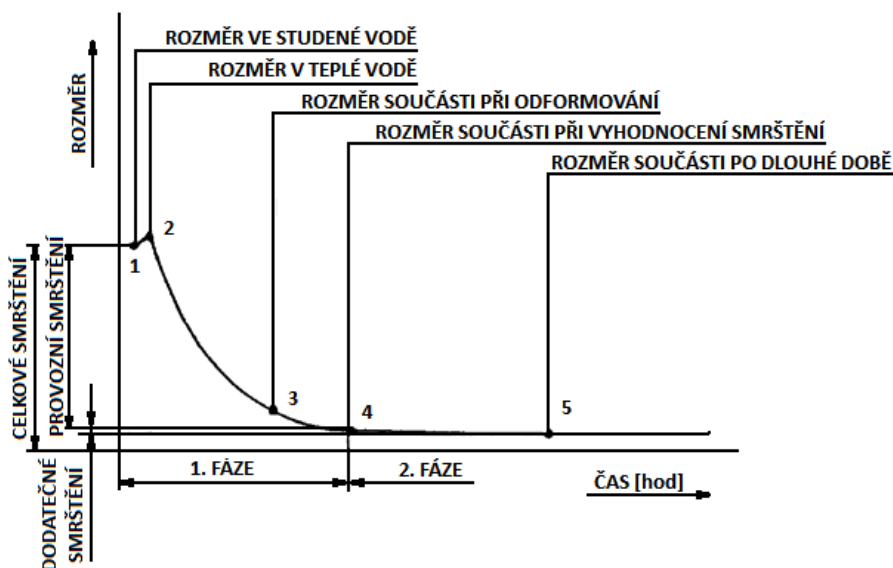
Velikost smrštění v jednotlivých směrech výstřiku nemusí být totožné. Vzniklá struktura (asymetrické plnivo - vlákna) u semikrystalických plastů a také směr proudu

taveniny způsobuje anizotropii³. V tomto případě je definována jako rozdíl smrštění ve směru a kolmo na směr toku taveniny. Je důležité ji zohlednit při volbě umístění ústí vtoku.



Obr. 5.4 Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění (1)

Smrštění se dělí do dvou fází. První fáze je tzv. provozní smrštění stanovené 24 hodinami po výrobě výstřiku. Představuje až 90% celkového smrštění. Druhá fáze smrštění je dodatečné smrštění, které probíhá v delším časovém intervalu závislém na druhu plastu. Dodatečné smrštění lze urychlit temperováním nebo kondicionováním⁴. Průběh smrštění je na Obr. 5.5.



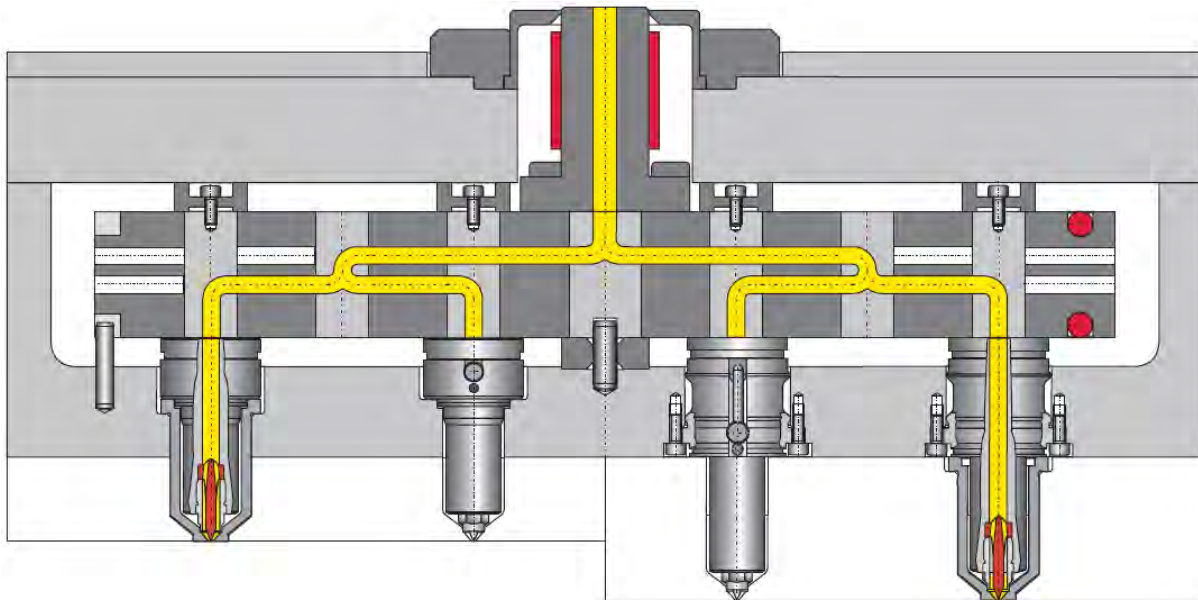
Obr. 5.5 Průběh smrštění výstřiků (1)

³ **Anizotropií** se rozumí nestejnoměrnost vlastností v různých směrech souřadného systému. Vyjadřuje se v procentech. (11)

⁴ **Kondicionování** je umělé vpravení vlhkosti do materiálu výstřiku, kterou ztratil sušením granulátu, aniž by výstřik měnil své rozměry (bobtnal). (11)

5.3 Vtokový systém (1), (3)

Je to systém kanálů a ústí vtoku, který má za úkol zajistit správné naplnění dutiny formy termicky homogenní taveninou plastu v nejkratším možném čase a s minimálními odpory, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Příklad vtokového systému je na Obr. 5.6.

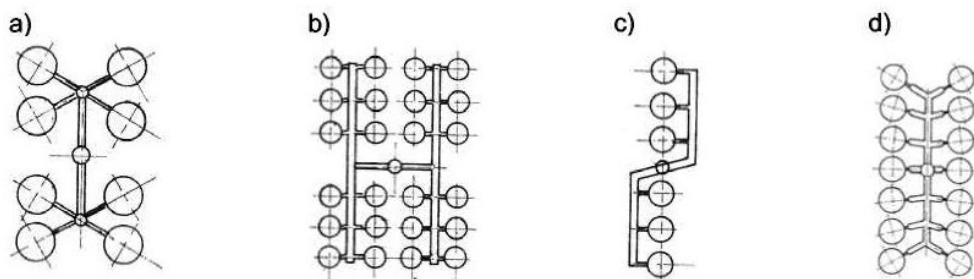


Obr. 5.6 Vstřikovací systém (7)

Tvar, rozměry, umístění vtoku a ústí vtoku do dutiny ovlivňuje:

- rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku,
- spotřeba plastu,
- náročnost začištění vtoku na výstřiku,
- energetická náročnost výroby.

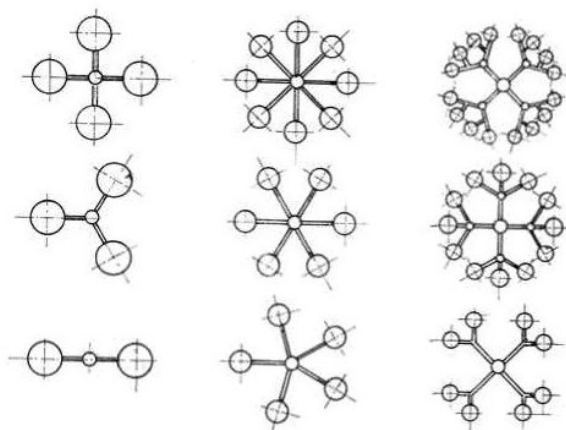
Vtoková soustava a její celkové uspořádání je dáno konstrukcí formy a počtem tvarových dutin (násobností). Zejména u termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod. Vtok má být řešen tak, aby naplnění formy proběhlo co nejkratší možnou cestou bez teplotních a tlakových ztrát a pokud možno všude ve stejném čase. Pokud je forma řešena jako vícenásobná musí dojít k naplnění všech dutin současně a při stejných technologických podmínkách, a tedy při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. Uspořádání vtokového systému u vícenásobných forem viz. Obr. 5.7.



ŘADOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VTKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

a) se stejnou délkou toku taveniny

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



SYMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ VTKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

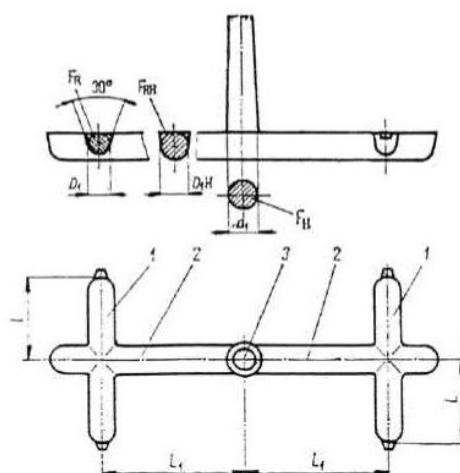


SCHÉMA SOUSTAVY ROZVÁDĚCÍCH KANÁLŮ

1- vedlejší, 2- hlavní,
3- vtokový kužel

Obr. 5.7 Uspořádání vtokových systémů (1)

Uspořádání tvarových dutin, jak je vidět na Obr. 5.7., je možné buď do hvězdy nebo v řadě. Z pohledu plnění tvarových dutin je lepší uspořádání do hvězdy, jelikož k zaplnění dochází ve stejný čas a při stejném tlaku. Naproti tomu při uspořádání v řadě je toto možné pouze při provedení korekce ústí vtoku tzn. změnou rozměrů rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám.

Charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby pak určí, zda se použije:

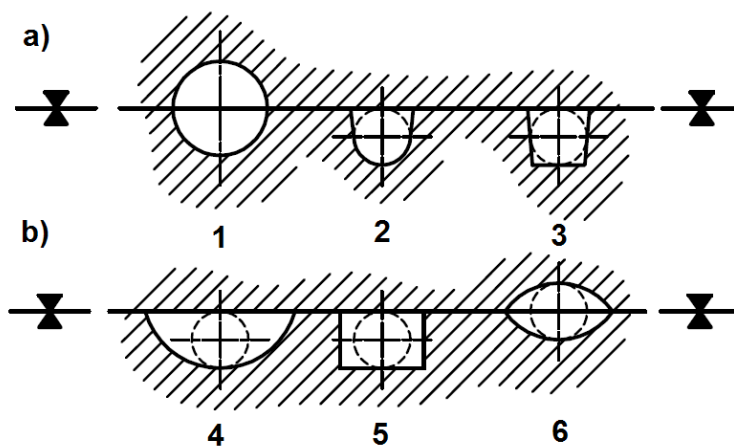
- studený vtokový systém, který je vhodný pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu,
- horký vtokový systém, který je vhodnější pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu.

5.3.1 Studený vtokový systém (1), (3)

Průtokem taveniny studeným vtokovým systémem roste její viskozita na vnějším povrchu (plast tuhne). Ztuhlá povrchová vrstva tak vytváří tepelnou izolaci stále tekutému vnitřnímu proudu, který zaplní celou vnitřní dutinu formy. V okamžiku zaplnění dutiny prudce vzroste vnitřní odpor a poklesne průtok. Odvodem tepla do stěn formy pokračuje tuhnutí plastu v dutině a ve vtocích. Vlivem dotlaku dochází k vývinu tepla ve vtokovém ústí a tím se oddaluje úplné zatuhnutí taveniny. Při nárůstu protitlaku vlivem tuhnoucí taveniny na hodnotu, kterou již stroj není schopen překonat, dojde k poklesu vstřikovací rychlosti a k úplnému ochlazení plastu.

Funkční vtokový systém má zabezpečit, aby:

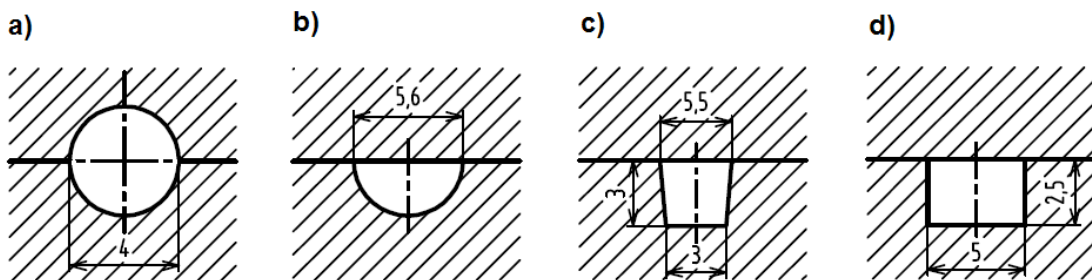
- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší (bez zbytečných tlakových a tepelných ztrát),
- ke všem tvářecím dutinám byla dráha toku stejná (kvůli rovnoměrnému plnění),
- byl dostatečně velký průřez vtokových kanálů (aby bylo zaručeno, že po naplnění dutiny zůstane jádro taveniny plastické a umožní působení dotlaku). Vtokový kanál má mít minimální povrch, ale současně maximální průřez (kruhový apod.).
- vyústění vtoku do dutiny formy, jeho průřez, poloha a počet zajistily kvalitní spojení a ochlazení proudů taveniny (tyto spoje jsou tzv. studené spoje a mají sníženou pevnost),
- u vícenásobných forem byla zachována stejná rychlost taveniny (odstupňovaný průřez kanálů).



Obr. 5.8 Průřez vtokových kanálů (1)

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

Z jednotlivých druhů průřezů kanálu je kruhový nejpoužívanější a také nejvhodnější. Jeho výhoda spočívá ve snadné výrobě. Jestli je průřez vhodný nebo nevhodný se hodnotí podle tzv. smáčivého čísla a_s , které vyjadřuje poměr průtočného průřezu k smáčenému povrchu. Čím je číslo vyšší, tím je průřez vhodnější. Srovnání základních typů kanálů při stejném průřezu viz. Obr. 5.9.

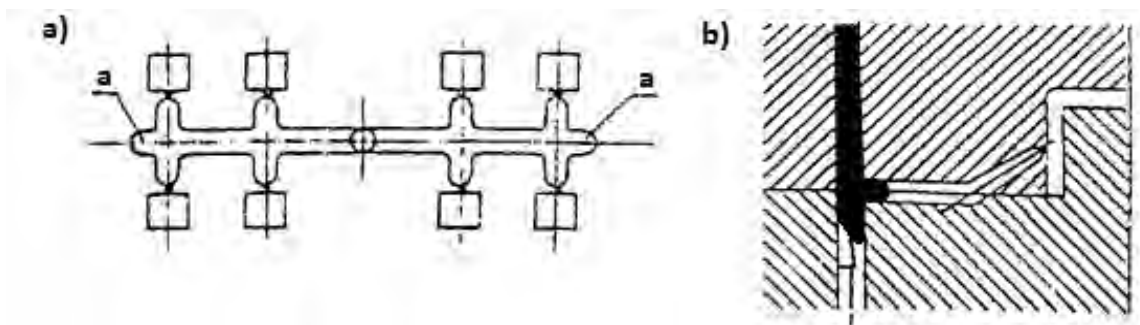


Obr. 5.9 Srovnání základních typů kanálů podle smáčivého čísla (1)

$a_s = a) 1; b) 0,86; c) 0,84; d) 0,83$

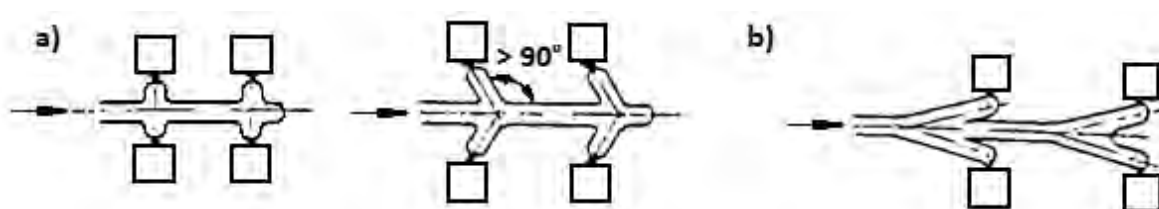
Aby bylo možné všechny tyto zásady dodržet, je třeba:

- zaoblit všechny ostré hrany vtokových kanálů,
- stanovit úkosy vtoků kvůli snadnému doformování,
- vyleštit povrch vtokového systému s orientací ve směru vyjímání,
- zachytit čelo proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu (zabrání se tím proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do dutiny, které by způsobilo vady ve výstřiku) Obr. 5.10,
- vyloučit ve vtokovém systému místa s větším nahromaděním plastu,
- neprovádět větvení vtokových systémů pod ostrým úhlem, ale naopak spíše nad 90° (Obr. 5.11).



Obr. 5.10 Zachycení proudu taveniny (1)

a) v jímce rozváděcích kanálů, b) v komůrce vytrhávače vtoků



Obr. 5.11 Větvení vtoků (1)

a) vhodné, b) nevhodné

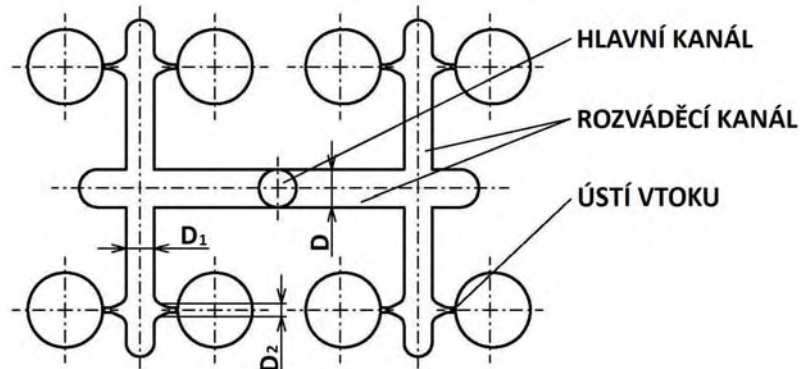
Vtokový systém má 3 části (Obr. 5.12):

Hlavní vtokový kanál navazující na trysku vstřikovacího stroje se konstruuje jako kuželový s rozšířeným ústím do rozváděcího kanálu nebo přímo do výstřiku. Vtoková část bývá o 0,5 až 1 mm větší než průměr trysky. Jeho velikost se určuje empiricky podle hmotnosti výstřiku. Kužel má úkos $1,5^\circ$.

Průměr *rozdávěcího kanálu* se volí buď nepatrně větší nebo stejný jako ústí vtokového kanálu. V místě spojení je nutné vytvořit jímku chladného čela taveniny jako tahače vtoku. Jímka tak umožní snadnější vyhození vtokového zbytku.

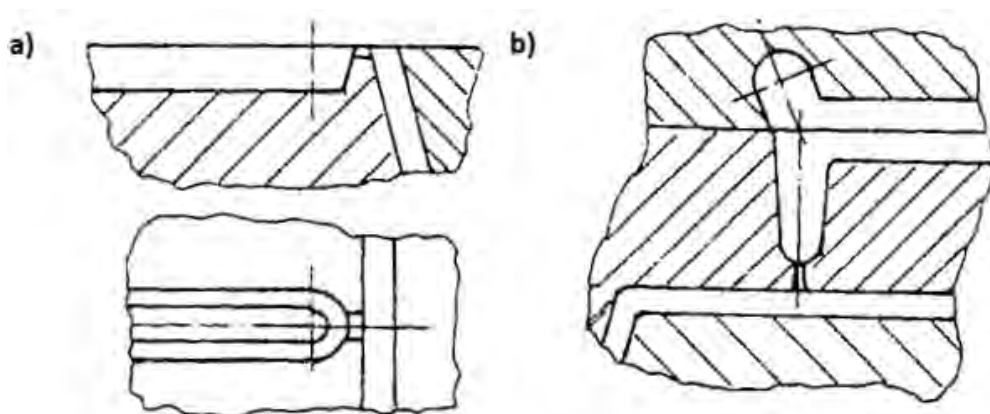
Vtokové ústí je zúžená část rozváděcího kanálu. Jen ve výjimečných případech jako je potlačení např. propadů se může použít plně nezúžený vtok. Zúžením se zvýší teplota taveniny před vstupem do dutiny formy. Jeho velikost musí být co nejmenší kvůli snadnému začišťení vtoku, ale také musí zajistit spolehlivé naplnění dutiny formy.

Tvar ústí (Obr. 5.13) bývá kruhový pro rotační díly nebo štěrbinový pro ploché výstřiky. Jeho parametry se volí podle objemu výstřiku.



Obr. 5.12 Části vtokového systému (1)

D – hlavní rozváděcí kanál; D_1 , D_2 – vedlejší rozváděcí kanál



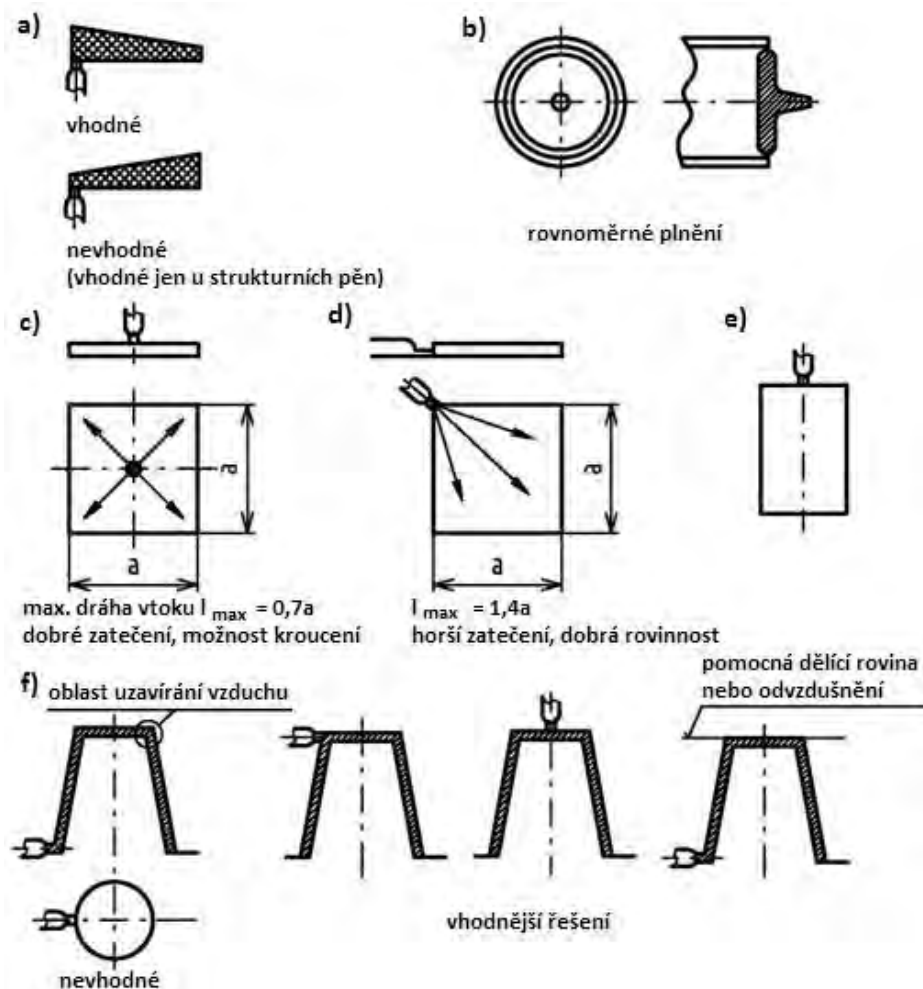
Obr. 5.13 Ústí vtoku (1)

a) štěrbinový, b) kruhový

Rozhodující vliv na vzhled a kvalitu vtokového ústí má jeho umístění na výstřiku. Umisťuje se:

- do nejtlustšího místa stěny výstřiku (tavenina má téct vždy z většího místa do menšího),
- do geometrického středu dutiny (aby tavenina zatekla do všech míst rovnoměrně),
- při požadavku na větší přesnost výstřiku se musí vzít v úvahu rozdíl podélného a příčného smrštění (u semikrystalických a plněných plastů),
- ve směru orientace žeber,
- mimo více namáhaných nebo opticky činných ploch,
- u obdélníkových tvarů ve směru delší strany,

- tak, aby umožnil únik vzduchu z dutiny,
- aby bylo možné přeměrovat proud taveniny při vzniku studených spojů mimo vzhledové a mechanicky namáhané místa,
- aby stopa po vtoku neměla vliv na estetickou hodnotu výstřiku,
- aby se zamezilo volnému vtoku taveniny, která by způsobovala turbulentní proudění při plnění dutiny.



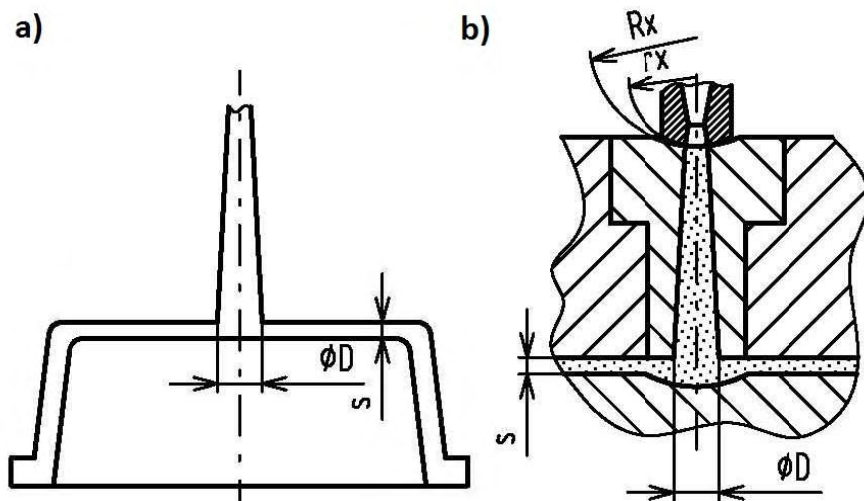
Obr. 5.14 Umístění vtokového ústí (1)

Kuželový vtok (Obr. 5.15)

Přivádí taveninu do dutiny vtoku bez zúžení vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem pro symetrické tlustostěnné výstřiky. Je výhodný zejména kvůli vysoké účinnosti dotlaku. Nevýhodou tohoto vtoku je, že vždy zanechá stopu a jeho odstranění je velmi pracné.

Bodový vtok (Obr. 5.16)

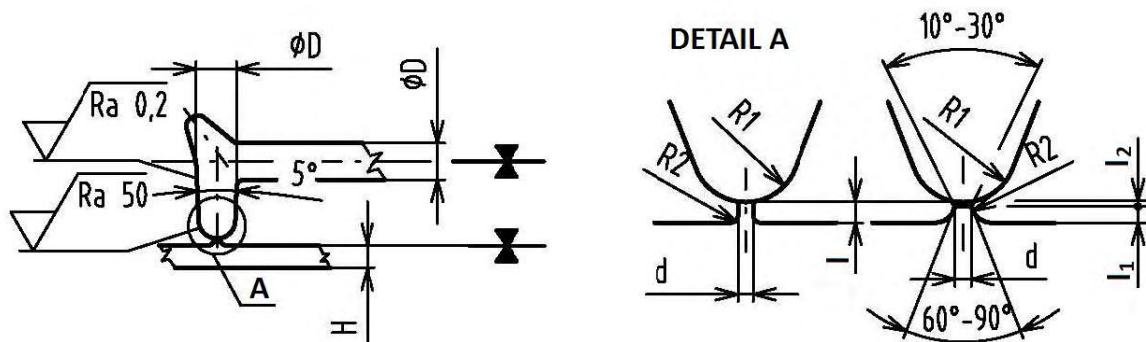
Je nejpoužívanější z kategorie zúžených vtoků. Má většinou kruhový průřez. Bývá používán jako ústí z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Při použití tohoto typu vtoku je třeba použít třídeskový systém formy (Obr. 5.17), aby bylo zajištěno, že se nejprve odtrhne vtokové ústí a až poté se otevře forma. Nedoporučuje se používat u méně tekutých a plněných plastů.



Obr. 5.15 Kuželový vtok (1)

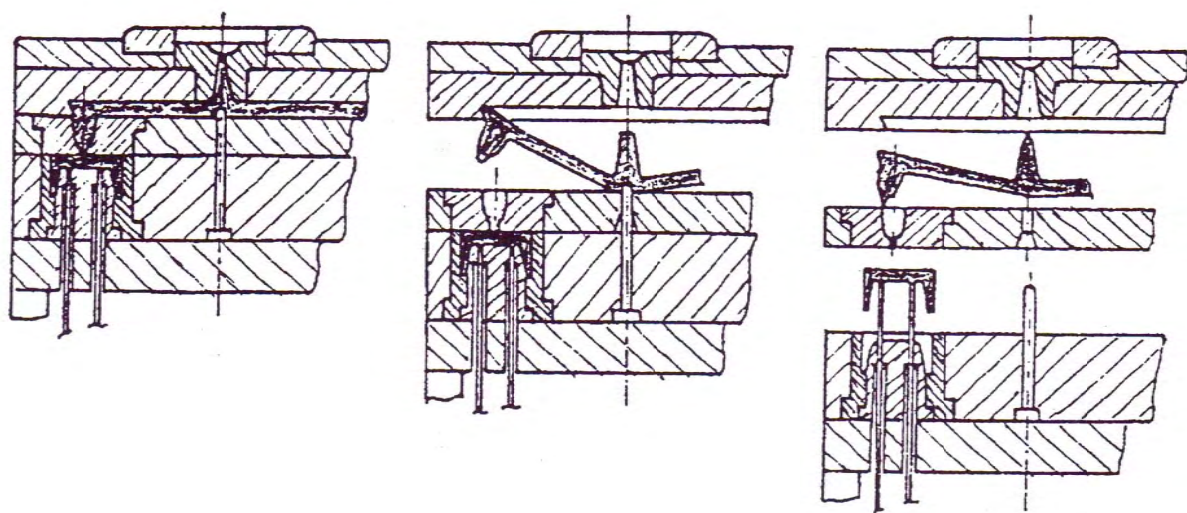
a) plný kuželový vtok, b) čočkovité vybrání v dutině formy

D – průměr vtokového kanálu, s – tloušťka stěny výstříku, R_x – poloměr sedla trysky formy, r_x – poloměr sedla trysky stroje



Obr. 5.16 Bodové vtokové ústí (1)

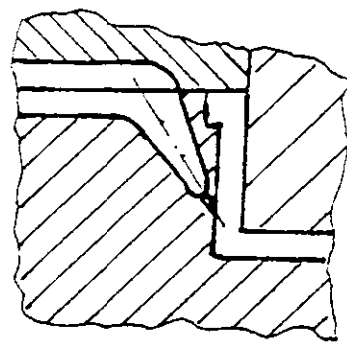
D – průměr komůrky, R_1 – poloměr zakončení komůrky, R_2 – poloměr zakončení ústí, d – průměr ústí, H – tloušťka výstříku



Obr. 5.17 Třidesková koncepce formy (1)

Tunelový vtok (Obr. 5.18)

Je to zvláštní případ bodového vtoku. Jeho výhodou je v tom, že vtokový zbytek může ležet v jedné rovině s výstřikem, čímž se ušetří za nákladnou a složitou třídeskovou formu. K oddělení vtokového zbytku dojde otevřením formy nebo při vyhazování výstřiků. Pro správnou funkci tunelového vtoku je třeba vytvořit ostrou hranu, která oddělí vtokový zbytek od výstřiku. Oproti bodovému vtoku je mnohem náročnější na výrobu. Tento vtok se používá zejména u vzhledově náročných výstřiků.



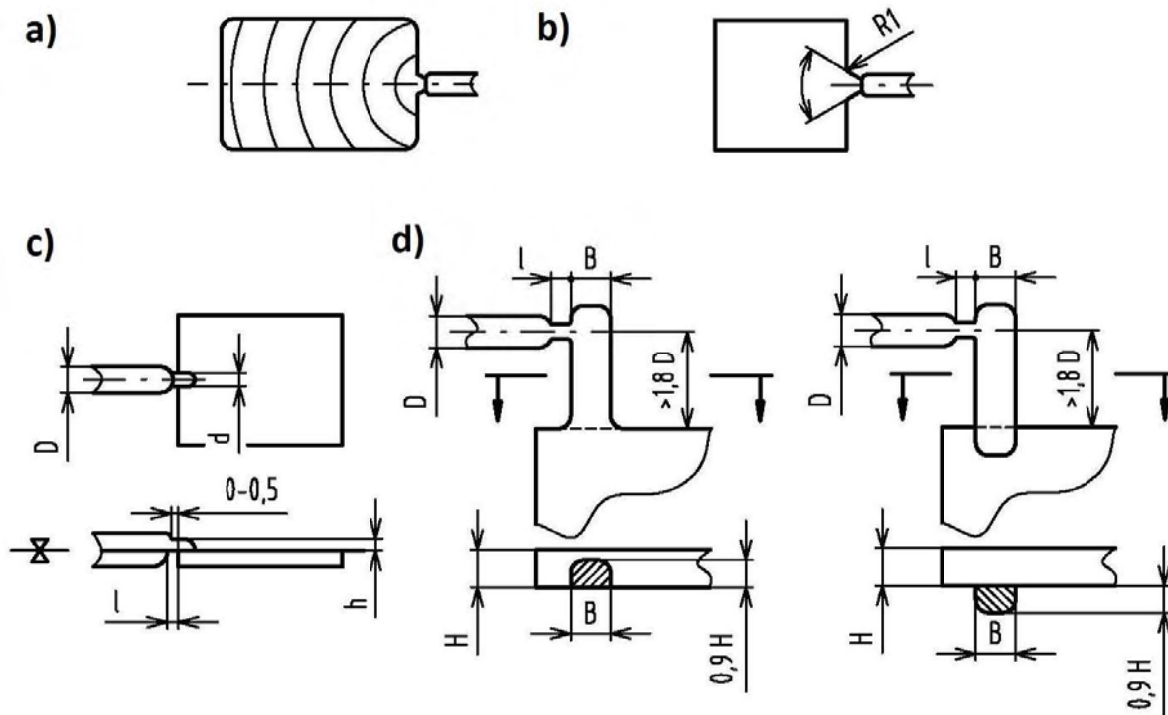
Obr. 5.18 Tunelový vtok (1)

Boční vtok

Tento vtok má tu zvláštnost, že při odformování zůstává vtokový zbytek spojen s výstřikem. Jeho oddělení se při automatickém cyklu provádí zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. V běžné praxi se odděluje ručně ulamováním. Vtokové ústí se často upravuje kvůli zamezení volného vstříkování taveniny do dutiny. Upravuje se buď do tvaru vějíře nebo se řeší jako boční vtok s překrytím, které zamezuje poškození tvárnice. Po oddělení vtokového zbytku zůstává stopa na spodní části výstřiku. Při výrobě např. optických prvků se používá nepřímý boční vtok, který zamezí vzniku velkých vnitřních pnutí. Vtokové ústí je v nálitku, který se dodatečně odstraní obráběním.

Prstencový, deštníkový, diskový a filmový boční vtok se používá v těch případech, pokud jsou na výstřiky kladeny vyšší nároky z hlediska kvality. Jejich odstraňování je však mnohem složitější a proto se jejich tloušťka volí co nejmenší (0,3 mm).

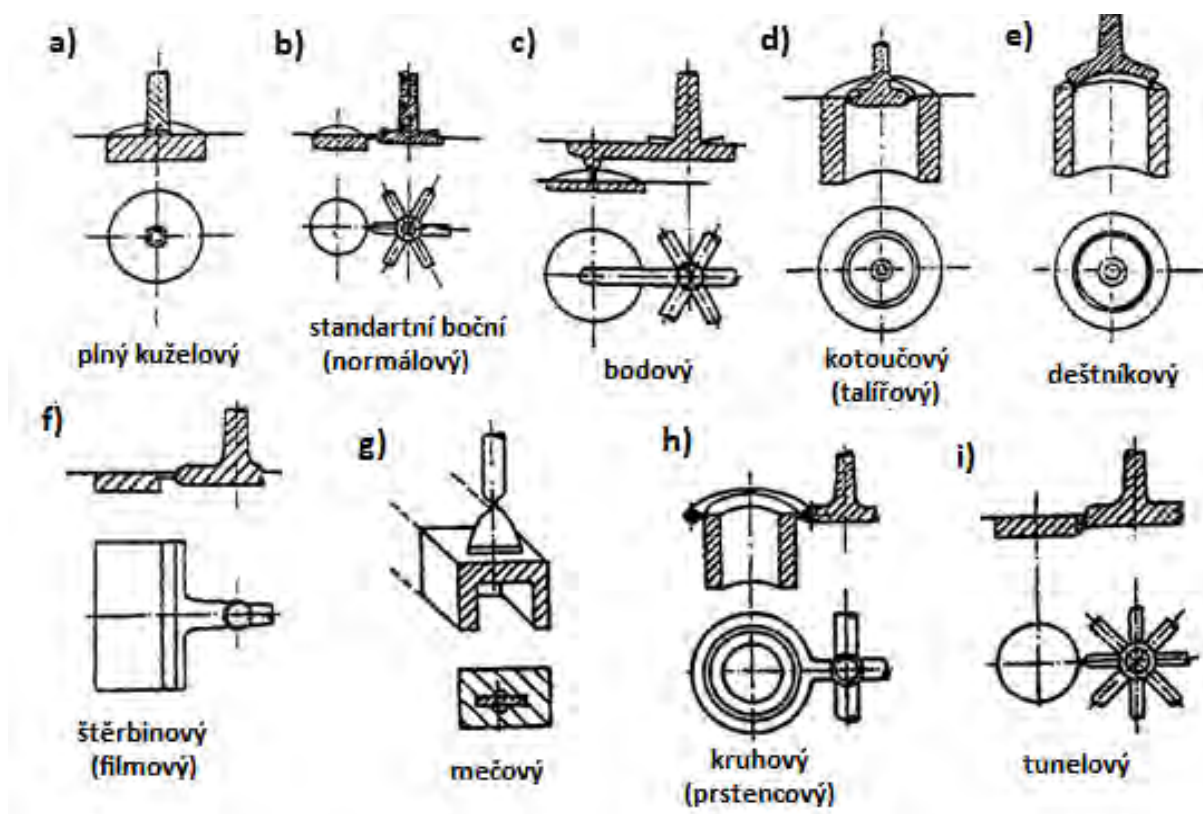
Použití jednotlivých druhů vtoků je na Obr. 5.19.



Obr. 5.19 Boční vtok (1)

a) běžný, b) vějířový, c) s překrytím, d) nepřímé vtoky

Shrnutí příkladů použití jednotlivých druhů vtoků jsou na Obr. 5.20.

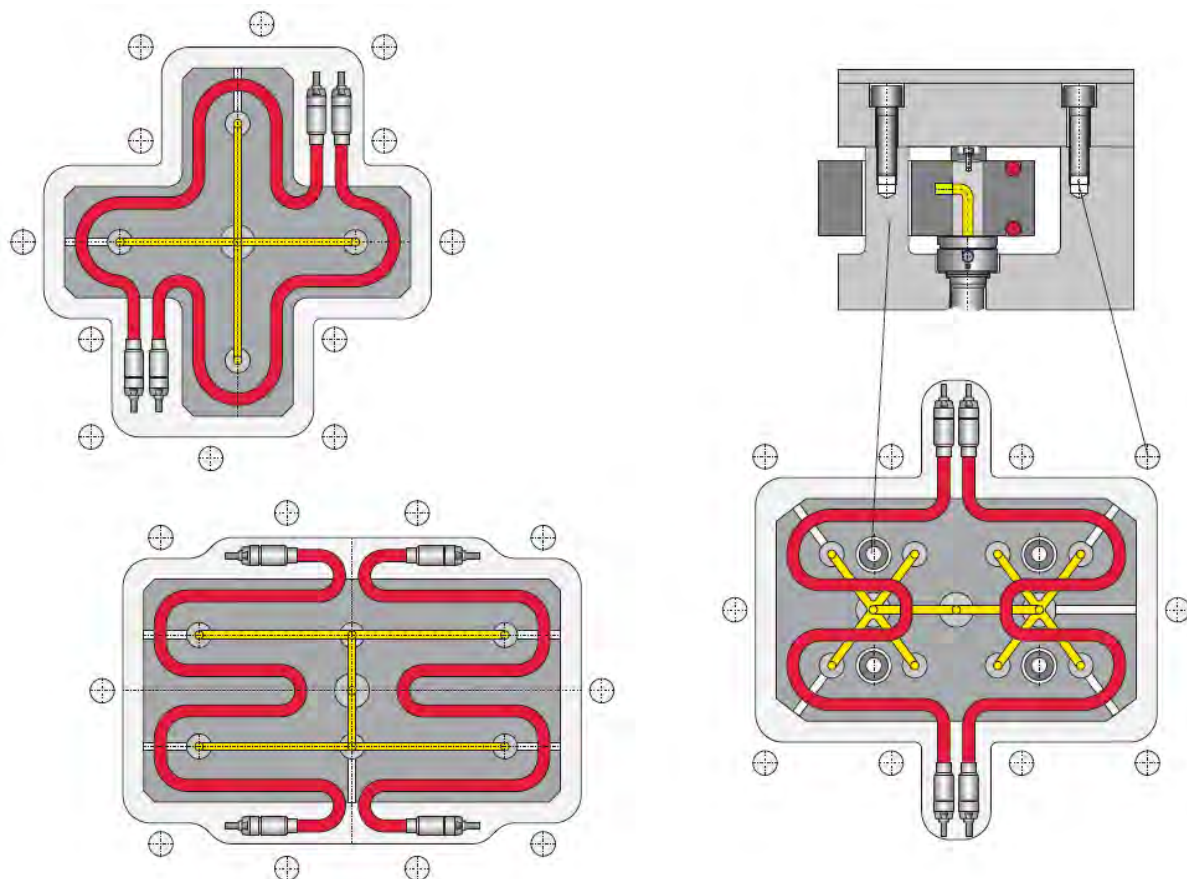


Obr. 5.20 Použití jednotlivých vtoků (1)

Vícenásobné vtoky

Používají se v případech, kdy by naplnění dutiny formy jedním vtokem bylo velmi obtížné. Při jejich použití se musí věnovat zvýšená pozornost odvzdušnění formy a tvorbě studených spojů při stékání taveniny z jednotlivých vtoků. Příklad vícenásobného vstřikovacího systému je na Obr. 5.21 a sled použití jednotlivých trysek je na Obr. 5.22.

Kvůli případným výměnám a usnadnění výroby se používají skládané vstřikovací soustavy složené podle požadavků daných tvarem výstřiku. Takto připravená soustava se vloží do vytvořené dutiny v tělese formy. Příklad koncepce vícenásobné vstřikovací soustavy je na Obr. 5.23.



Obr. 5.28 Vyhříváný rozváděcí blok (7)

Vyhříváné vtokové soustavy se používají především u forem pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jelikož je soustava rozvodu taveniny značně tepelně i mechanicky namáhána, vyžaduje větší tuhost formy a tedy i větší přesnost jejich výroby. Tím se zvýší také výsledná cena formy. Proto nejsou tyto formy ekonomicky vhodné pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz.

U jednonásobné formy je vstřikovací tryska napojena přímo na ústí do dutiny formy. U vícenásobných forem je součástí vyhříváné vtokové soustavy vyhříváný rozváděcí blok s tryskami, který pak ústí přímo do dutiny formy nebo do pomocných kanálů.

Správná teplota taveniny je řízena regulátorem ovládaným snímači. U náročnějších a větších forem se používá více nezávislých topných okruhů.

5.4 Vyhazovací systém (1), (4)

Protože výstřiky při chladnutí ulpívají na tvarových částech formy je třeba vyhazovací systém, který zajistí vyhození nebo vysunutí výstřiku z dutiny nebo tvárníku otevřené formy.

Pracuje ve dvou fázích:

- pohyb vpřed (vlastní vyhazování),
- pohyb vzad (návrat vyhazovacího systému do původní polohy).

Pro správnou činnost vyhazovacího systému je třeba, aby měl výstřik hladký povrch a stěny měly úkopy minimálně $0^{\circ}30'$. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby se zamezilo přičení výstřiku a tím vzniku trvalých deformací nebo dokonce k poškození. Tvar, rozložení a umístění vyhazovačů je velmi rozmanitý a záleží na tvaru výstřiku.

V některých případech lze vyhazovače využít i k výrobě funkčních dutin nebo jako části tvárníku. U hlubokých tvarů umožňují odvzdušnění.

Ve většině případů zanechávají vyhazovače stopu na výstřiku. V takových případech, pokud je tato stopa na závadu, se výstřík buď dodatečně opraví nebo se vyhazovače umístí na stranu, kde stopa po jejich činnosti nebude vadit.

Kromě vyhazování výstřiků se vyhazují také vtokové zbytky. V některých případech uspořádání je dokonce možné oddělit vtokový zbytek od výstřiku.

Mechanismus pohybu vyhazovacího systému bývá aktivován:

- při otevření formy narážecím kolíkem upevněným na traverzu vstřikovacího stroje,
- hydraulickým nebo pneumatickým zařízením, které bývá obvykle příslušenstvím vstřikovacího stroje (umožňuje tzv. měkké vyhazování),
- ruční vyhazování nejrůznějšími mechanismy (vhodné pro jednoduché a zkušební formy).

Zpětný pohyb je zajišťován:

- vratnými kolíky,
- pružinami (vždy v kombinaci s jiným systémem),
- speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením.

Vyhazovací síla

Vyhazovací systém musí vyvodit dostatečně velkou vyhazovací sílu. Velikost této síly závisí na:

- velikosti smrštění a jakosti povrchu funkčních ploch tvárníku formy,
- technologických podmínkách vstřikování (tlaku, teplotě plastu a formy, době chlazení),
- pružných deformacích formy.

Její velikost se stanoví z podmínky, že tlak mezi výstřikem a formou způsobený smrštěním vyvolá tření, které je nutné touto silou překonat.

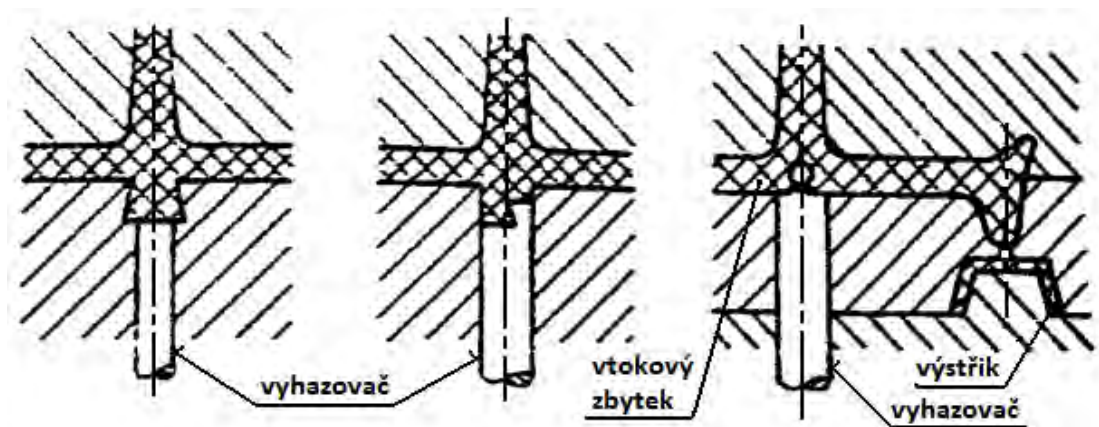
Faktorů, které ovlivňují velikost vyhazovací síly je velké množství a jejich určení bývá mnohdy obtížné. Proto se v praxi nezjišťují. Jsou to například:

- modul pružnosti v tahu při teplotě vyhazování,
- velikost smrštění při teplotě vyhazování,
- opracování tvarových ploch.

Jelikož bývá vyhazovací síla, především při mechanickém vyhazování, předimenzovaná není výpočet nutný. Tlaky vyvozené hydraulicky a pneumaticky se pro správnou funkci díky jejich snadné seřiditelnosti odzkouší.

Vyhazování vtokového zbytku

Při rozevírání formy je třeba zajistit, aby byl vtokový zbytek přidržen na vyhazovací straně dokud není bezpečně vytažen vtok z vtokové vložky. Potom je teprve vyhazovacím kolíkem vyhozen výstřík s vtokovým zbytkem. Jednotlivé způsoby jsou znázorněny na Obr. 5.29. Použití daného způsobu se odvíjí od koncepce formy a funkcí vtokového zbytku.



Obr. 5.29 Způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku (1)

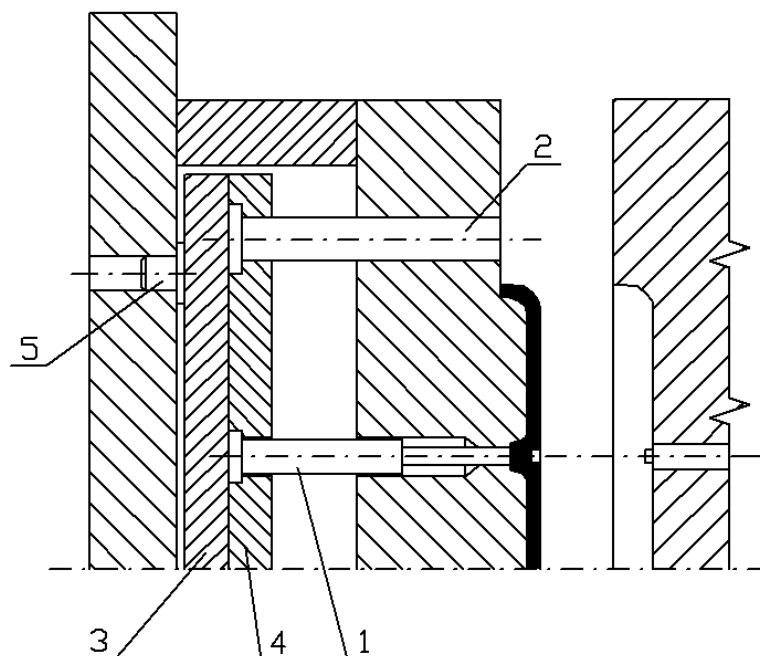
5.4.1 Mechanické vyhazování

Nejčastější způsob vyhazování výstřiků je mechanický princip buď pomocí vyhazovacích kolíků nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků apod. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují.

Vyhazovací kolíky (Obr. 5.30)

Je to nejčastější a nejlevnější způsob díky své výrobní jednoduchosti a to se zaručenou funkčností. Používá se všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození.

Vyhazovací kolíky jsou obvykle válcové. Jejich uložení ve formě bývá nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle požadované funkce a tekutosti plastu. Tímto uložním se získá dostatečná vůle, která zajistí od vzdušnění formy.

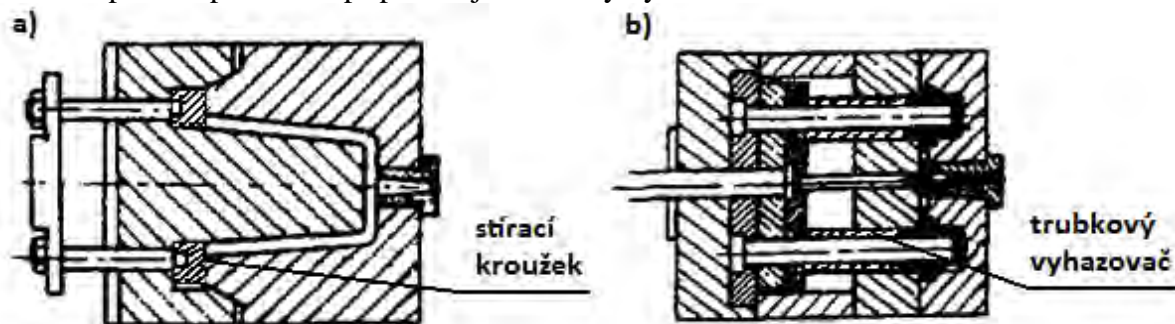


Obr. 5.30 Vyhazovací kolíky (1)

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

Stírací deska (Obr. 5.31)

Tento způsob vyhazování funguje na principu stírání výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Tento způsob vyhazování je vhodný u výstřiků, na kterých by stopa po vyhazovači vadila. Díky velké stykové ploše stopu nezanechá. Velká styková plocha způsobuje také minimální deformace výstřiku. Používá se zejména u tenkostěnných výstřiků, kde by hrozila velká deformace díky vyhazovači a tam, kde vyžadujeme velkou vyhazovací sílu. Jediné omezení pro použití je, aby výstřik na stírací desku dosedal v rovině případně v mírně zakřivené ploše. Speciálním případem je trubkový vyhazovač.



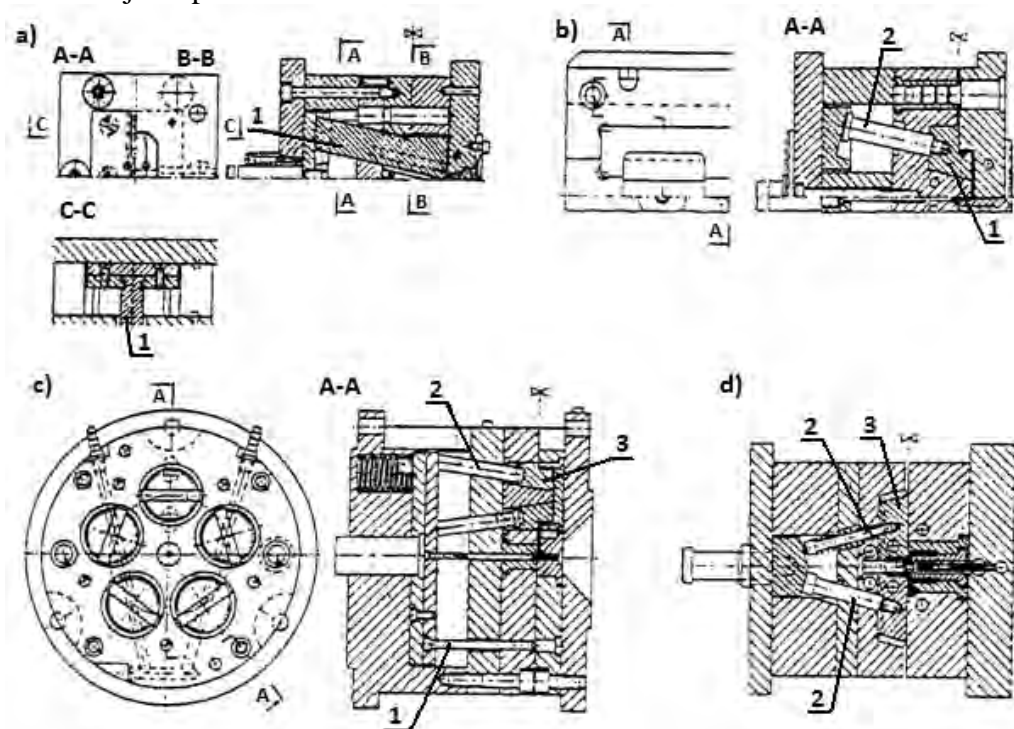
Obr. 5.31 Vyhazování stírací deskou (1)

a) stírací kroužek, b) trubkový vyhazovač

Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovacího systému nebo může být vázán na pohyb pevné desky při otevírání formy.

Šikmé vyhazování (Obr. 5.32)

Je to speciální způsob mechanického vyhazování, který využívá kolíky umístěné vůči dělicí rovině pod různými úhly. Využívají se u malých a středních výstřiků, které mají mělký vnitřní nebo vnější zápich.

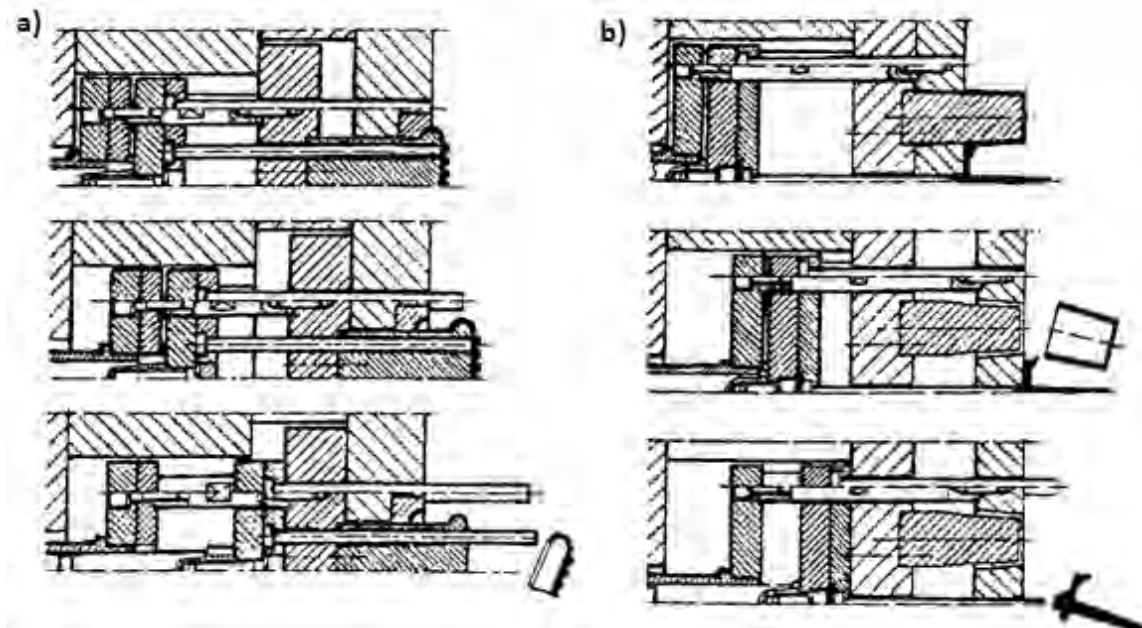


Obr. 5.32 Formy s šikmým vyhazovačem (1)

1- vyhazovač, 2- vyhazovací čep, 3- stírací vložka

Dvoustupňové vyhazování (Obr. 5.33)

Je to kombinace dvou navzájem se ovlivňujících systémů. Tento způsob umožňuje vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho délky. Využívá se například při šikmém vyhazování výstřiků se zápichem apod.



Obr. 5.33 Dvoustupňové vyhazování (1)

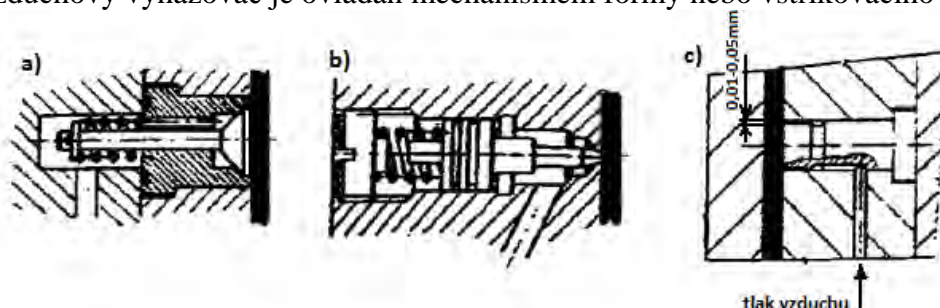
5.4.2 Vzduchové vyhazování

Vzduchový systém vyhazování je nejvhodnější pro tenkostěnné výstřiky větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování odvdušnit, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování používané u větších výstřiků vyžaduje velký zdvih vyhazovače a tím také větší délku formy.

Pneumatické vyhazování přivádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím je dosaženo rovnoměrného oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se tím místní přetížení a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Použití tohoto způsobu je omezeno pouze na některé tvary výstřiků.

Přívod vzduchu do formy je přes ventily a to talířové, jehlové nebo různé kolíky (Obr. 5.34). Otevření ventilu je řízeno tlakem a zavření pomocí pružiny. Pro automatické formy je třeba volit dva nezávislé systémy tak, aby oba dokázaly zabezpečit vyhození výstřiku. Používá se kombinace s mechanickým vyhazováním.

Vzduchový vyhazovač je ovládán mechanismem formy nebo vstřikovacím stroje.



Obr. 5.34 Vzduchové ventily (1)

a) talířový ventil, b) jehlový ventil, c) zavzdušňovací kolík

5.4.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulický vyhazovač se vyrábí jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. Používá se hlavně k ovládání mechanických vyhazovačů jako jsou kolíky, stírací desky apod. Umožňuje pružnější pohyb a větší flexibilitu.

Charakteristickým znakem je velká vyhazovací síla a kratší a pomalejší zdvih.

5.5 Temperační systém (1), (3), (4)

Účelem temperace je udržet konstantní teplotní režim formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při dodržení všech technologických požadavků na výrobu. Toho se dosahuje ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části.

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený plast, který v její dutině chladne až na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace ovlivňuje zaplnění formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Opakovaným vstřikováním plastu do dutiny se forma stále více ohřívá. Proto je třeba přebytečné teplo odvést temperačním systémem.

Naopak je tomu při zpracování některých plastů vyžadující vyšší teplotu formy (PC až 120°C). V takových případech jsou tepelné ztráty vyšší než je ohřátí formy od vstřikované taveniny a forma se musí naopak ohřívát. Stejně tak při zahájení výroby je třeba formy nejprve nahřát na provozní teplotu.

Odlíšnou teplotou jednotlivých částí formy se zvyšují rozměrové a zejména tvarové úchytky výstřiku. V některých případech se však záměrně temperují různé části formy odlišně, čímž se eliminují tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění plastu. Zpracovatelské teploty formy a taveniny některých plastů jsou uvedeny v Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Požadované teploty formy a taveniny (1)

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	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

Úkolem temperace je:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu dutiny,
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku.

Dobře řešený temperační systém spolu s dostatečnou hmotností formy zajistí dobrou tepelnou stabilitu a malé nebezpečí deformace formy při vysokých vstřikovacích tlacích.

5.5.1 Charakteristika temperačního systému

Ohřívání, případně ochlazování formy na požadovanou teplotu závisí na celkové energetické bilanci formy i okolního prostředí. Největší část tepla odvádí z formy právě temperační systém. Zbytek tepla se odvádí upínacími plochami stroje, okolním vzduchem a vyzářením do okolí.

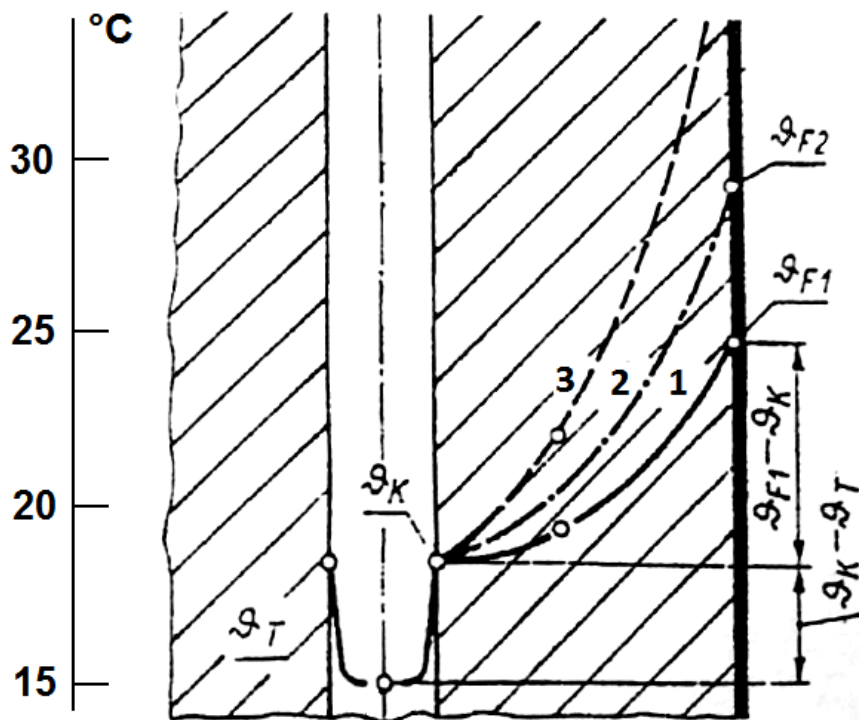
Aby na jednotlivých částech formy nebyl příliš velký rozdíl teplot, je třeba správně zvolit velikost a rozmístění temperačních kanálů, ale také rychlost a teplotu temperačního média.

Temperační systém je soustava kanálů a dutin jimiž proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu jednotlivých částí formy na požadované hodnotě.

Při zpracování plastů vyžadující vyšší teplotu se používá ohřev prostřednictvím elektrického proudu.

Temperační systém může být umístěn buď v pevné nebo v pohyblivé části formy. Každý z okruhů je možné řešit samostatně podle způsobu zaformování výstřiků a ostatních technologických podmínek.

Množství tepla, které projde stěnou formy do/z temperačního kanálu je závislé zejména na tepelné vodivosti materiálu λ , tloušťce stěny a rozdílu teplot. Průběh teploty v kanálu a ve stěně je znázorněn na Obr. 5.35. Jelikož největší vliv má teplotní vodivost, využívají se pro tvarové části formy vložky ze slitin Cu, CuBe, které mají λ mnohem vyšší než běžně používaná ocel. Příklady materiálů s jejich teplotními vodivostmi jsou v Tab. 5.3.



Obr. 5.35 Průběh teplot v kanále s médiem a ve stěně formy (1)

ϑ_K – teplota stěny kanálu, ϑ_T – teplota chladiva, $\vartheta_{F1, F2, F3}$ – teplota stěny dutiny

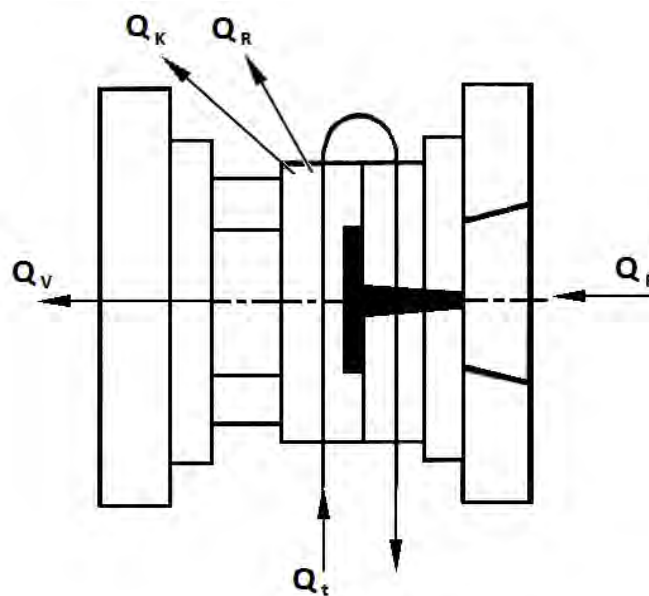
1- beryliový bronz, 2- konstrukční ocel, 3- chromová ocel

Tab. 5.3 Součinitelé teplotní vodivosti materiálů (1)

Materiál	λ [W/mK]
Stříbro	410
Hliník	204
Měď	395
CuBe ₂	113
Ocel měkká	44
Ocel chromová	40
Ocel niklová	26
Plasty	0,2 – 1,2
Vzduch	0,04
Voda	0,19
Olej	0,16

5.5.2 Tepelná bilance formy

Během pracovního cyklu platí zásada: Teplo přivedené taveninou plasty do formy = teplo odvedenému z formy temperací a ostatními ztrátami.



Obr. 5.36 Tepelná bilance formy (1)

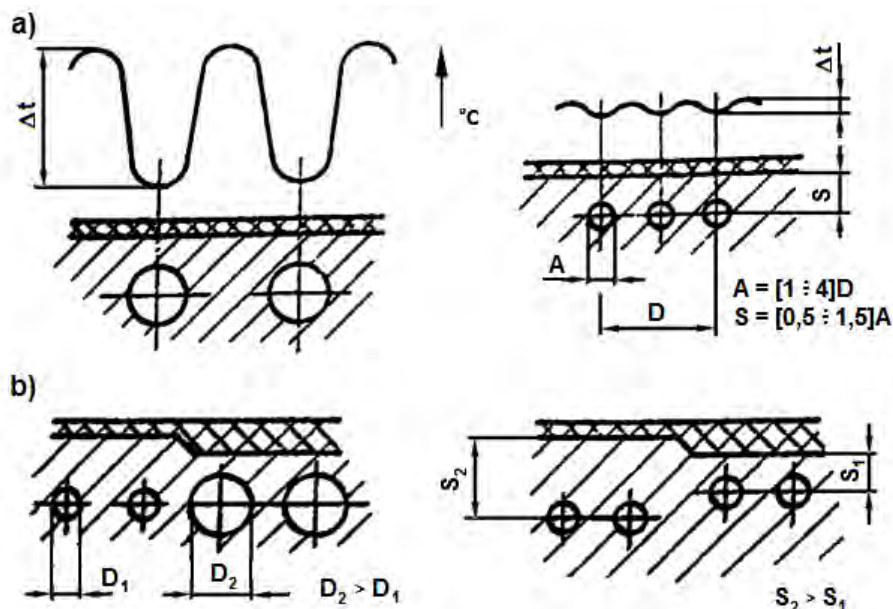
Q_P – teplo přivedené polymerem, Q_t – teplo odvedené temperací, Q_K – teplo odvedené do okolí, Q_R – teplo odvedené zářením, Q_V – teplo odvedené do upínacích ploch stroje

Tepelné ztráty zahrnující odvod tepla do upínacích ploch stroje, odvedením do okolí a vyzářením se velmi obtížně zjišťují. Přesnější hodnoty lze získat výpočtem, který je však velmi složitý.

Pro omezení tepelných ztrát formy se upravuje povrch formy leštěním, případně se forma pokryje izolační fólií. Aby se omezilo úbytkům tepla přes upínací plochu formy do stroje vkládá se mezi stroj a formu izolační deska z materiálu na bázi vyztužených reaktoplastů, nekovových organických látek apod. (sklotextil ARU, sklotextil SI, ...).

5.5.3 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Rozměry a rozmístění temperačních kanálů se volí tak, aby vzdálenost kanálů od funkční dutiny příliš nesnížila tuhost a pevnost stěn dutiny formy. Povrch temperačních kanálů slouží jako plocha pro přestup tepla z povrchu dutiny formy do temperačního média, případně naopak. Je proto vhodnější používat spíše více kanálů s menším průřezem a menší roztečí než kanály s větším průřezem a roztečí. Toto řešení zajistí menší kolísání teploty jak je naznačeno na Obr. 5.37.



Obr. 5.37 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy (1)

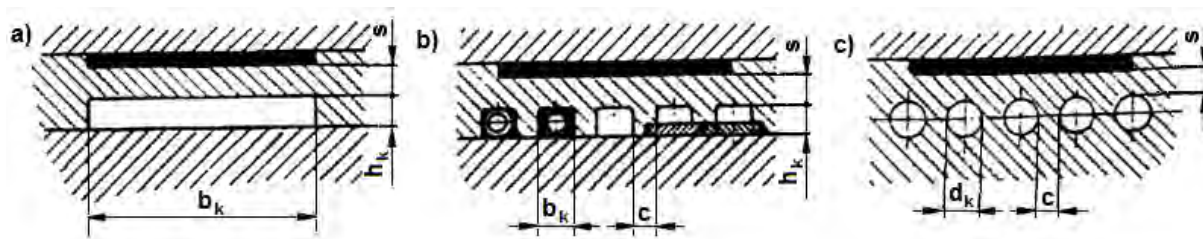
a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku

Velikost průřezu kanálu se volí v závislosti na velikosti výstřiku, druhu plastu a rozměru rámu formy. Nejčastěji se používá kruhový průřez kanálů. Doporučené hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.4. Jejich zvětšování je zbytečné, jelikož intenzita výměny tepla se zvýší jen o zanedbatelnou hodnotu a naopak vzroste spotřeba temperačního média a sníží se tuhost formy.

Tab. 5.4 Orientační hodnoty volby průměru kanálů v závislosti na výstřiku a rámu formy (1)

výstřik [g] rám [mm]	1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800	
	1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800	1000
160x160	6	6	6	6	6										
160x230		6	8	8	8	8	8	8	8						
230x230		8	8	8	8	8	8	8	8	8					
230x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10				
300x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10	10			
300x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10		
370x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	
370x440					8	8	8	8	8	8	10	10	10	12	12
440x440					8	8	8	8	8	10	10	12	12	12	12
440x510						8	8	8	10	10	10	12	12	12	12
510x510						8	8	8	10	10	10	12	12	12	12
510x650							8	8	10	10	12	12	12	12	12

Kromě kruhových kanálů se používají také obdélníkové průřezy, které se vodotěsně překryjí nebo se do nich vkládají tenkostěnné měděné trubky (Obr. 5.38). Pro zvýšení tepelného styku se navíc zalijí nízkotavitelným kovem (Sn, Zn, ...).



Obr. 5.38 Průřezy chladících kanálů (1)

a) obdélníkový, b) čtvercový překrytý a s vloženými chladícími trubkami, c) kruhový

Pro volbu temperačního systému je třeba dodržet tyto pravidla:

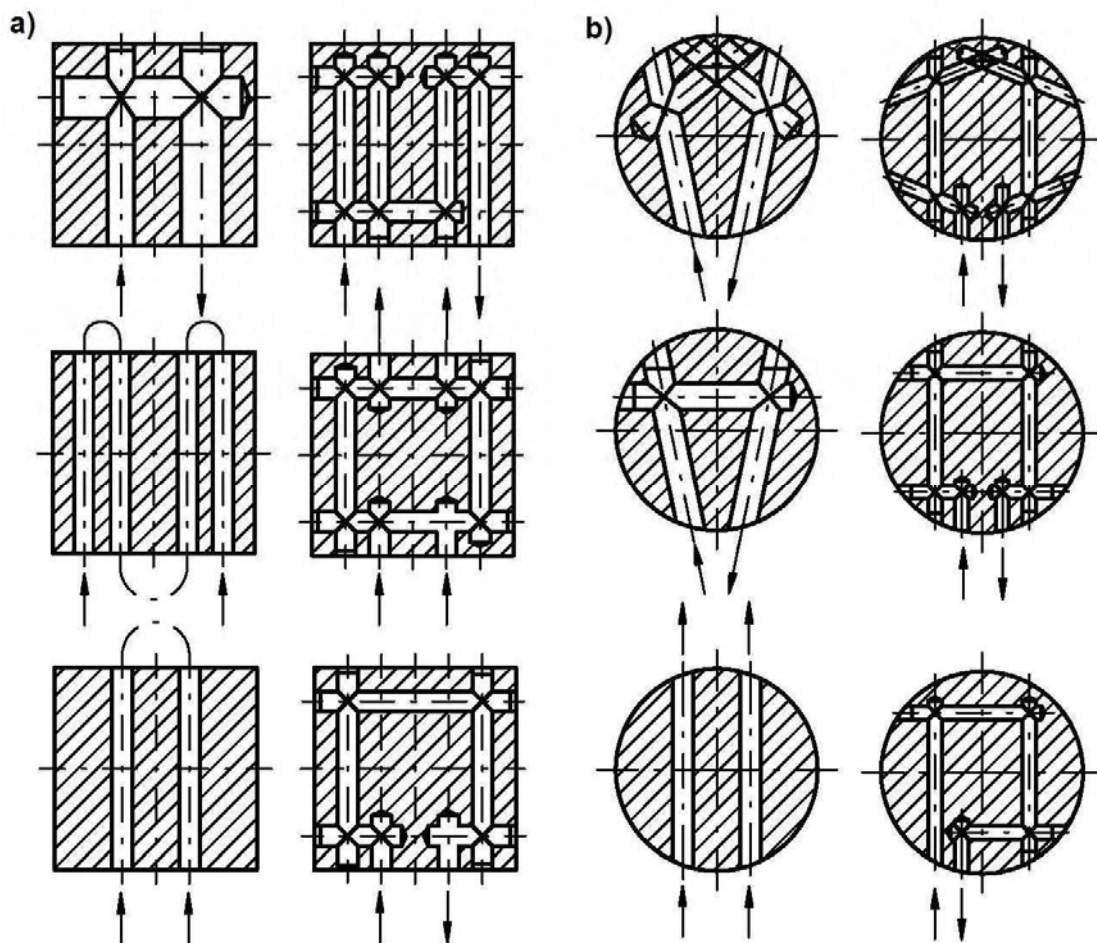
- kanály umístit tak blízko k tvarové dutině, aby byla zajištěna její dostatečná tuhost,
- kanály umístit a dimenzovat tak, aby intenzivně odváděly teplo v okolí vtoku taveniny do dutiny,
- průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby proudila od nejteplejšího místa formy k nejchladnějšímu,
- průřez kanálů volit kvůli výrobním důvodům kruhový,
- rozmístění kanálů volit s ohledem na tvar výstřiku,
- kanály musí procházet celistvým materiálem formy s dobře utěsněnými spoji. V případě, že není možné zaručit dobré utěsnění, nahradí se temperační kanál drážkou, do které se umístí tenkostěnná měděná trubka.
- zamezit vzniku mrtvých koutů (usazují se v nich nečistoty a jsou to ohniska koroze, která způsobí ucpání kanálů),
- neumisťovat kanály v blízkosti hran výstřiků,
- průměr kanálů volit minimálně 6mm z důvodu vzrůstajícího nebezpečí ucpání nečistotami, vodním kamenem apod. (vyžadují použití upravené vody a čistitelných filtrů),
- kanály konstrukčně řešit tak, aby se daly jednotlivé větve variabilně propojit hadicemi.

Kvůli dobré účinnosti temperačních kanálů je třeba je udržovat bez rzi a usazenin (na kvalitě povrchu kanálů závisí součinitel přestupu tepla).

Výkon temperačního systému lze zvýšit zvětšením rozdílu teploty formy a temperačního média. Je třeba dbát na to, aby nevznikl příliš velký rozdíl teplot mezi jednotlivými částmi formy. Součinitel přestupu tepla je možné navýšit úpravou vzdálenosti kanálů od dutiny formy, vznikem turbulentního proudění, použitím materiálu s větší tepelnou vodivostí apod. Pokud by tyto úpravy byly nedostatečné je možné rozdělit temperační okruh na více samostatných okruhů.

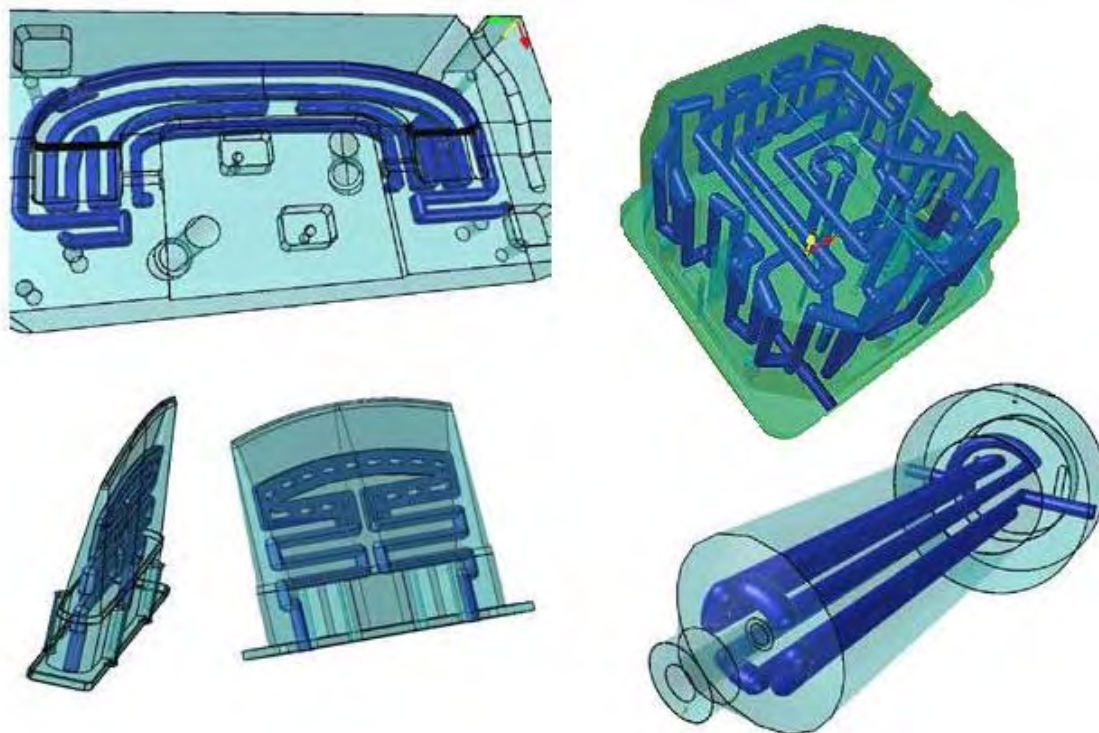
Protože volba všech těchto parametrů je velmi složitá a při špatném návrhu oprava velmi náročná a nákladná ne-li nemožná, používají se v praxi simulační programy, které umožňují sledovat tepelné děje ve formách.

Příklady konstrukčního řešení temperačních kanálů je na Obr. 5.39 a ukázky temperačních systémů na Obr. 5.40.



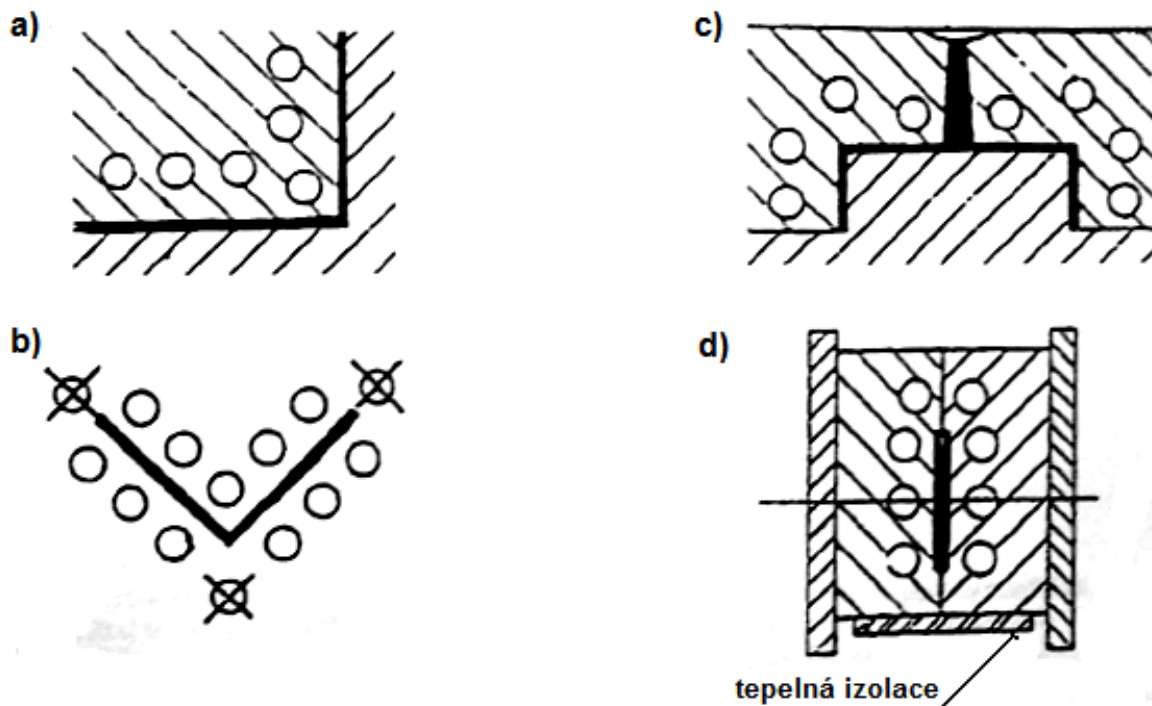
Obr. 5.39 Příklady konstrukčního řešení temperačního okruhu (1)

a) hranaté desky, b) kruhové desky



Obr. 5.40 Příklady temperačních systémů formy (4)

Umístění temperačních kanálů u tvárníku a tvárnice je zobrazeno na Obr. 5.41. Minimální vzdálenost od dutiny formy je dána tuhostí a pevností formy vůči vstřikovacímu tlaku. Minimální vzdálenosti u ocelové formy a vstřikovacím tlaku 100MPa jsou uvedeny v Tab. 5.5.



Obr. 5.41 Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran (1)
a) tvárník; b) tvárnice; c,d) u zaformovaných tvarů

Tab. 5.5 Vzdálenosti temperačních kanálů od dutiny formy (ocel, vstř. tlak 100MPa) (1)

$\varnothing d$ [mm]	6	8	10	12	14	16	18	20
s [mm]	4	6	8	12	15	20	25	30
t [mm]	10	14	17	20	24	27	30	34
b [mm]	4	5	7	8	10	11	12	14

Protože u malých tvárníků by byla temperace pomocí kanálů nemožná aniž by se zajistila dostatečná tuhost a pevnost, je možné temperaci zajistit pomocí temperačních trubíc nebo temperačními vložkami, které se vyrábějí z materiálů s velkou tepelnou vodivostí (Cu, BeCu, Al, ...). Principy a jednotlivé způsoby jsou znázorněny na Obr. 5.42.

Nejčastějším aktivním médiem je voda, která proudí v temperačních kanálech uvnitř formy. Účinnost přestupu tepla je dána velikostí a kvalitou styčné plochy kanálu, způsobem proudění a také teplotním rozdílem média. Proudění by mělo být turbulentní ($Re \gg 2300$) a rozdíl teploty média na vstupu a výstupu 3 až 5°C.

Tab. 5.6 Aktivní temperační prostředky (1)

Typ	Výhody	Nevýhody
voda	dobrá přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	použitelné do 90 °C *), vznik koroze**), usazování kamene
olej	možnost temperace i nad 100 °C	zhoršený přestup tepla
glykoly ⁵	omezení koroze a ucpání systému	stárnutí, znečišťování prostředí

Vysvětlivky: *) v tlakových okruzích možno vodu používat i při vyšších teplotách

**) lze potlačit upravením vody

Použití vzduchu jako chladícího média je velmi omezené díky malé účinnosti. Hodí se pouze pro ochlazování povrchu formy a vnitřku dutiny při jejím otevření (volným prouděním), případně při chlazení tenkých tvárnků, jader nebo vyhazovačů (nucené proudění přetlakem/podtlakem). Používá se jen tehdy, je-li díky nedostatku místa použití kapaliny nemožné.

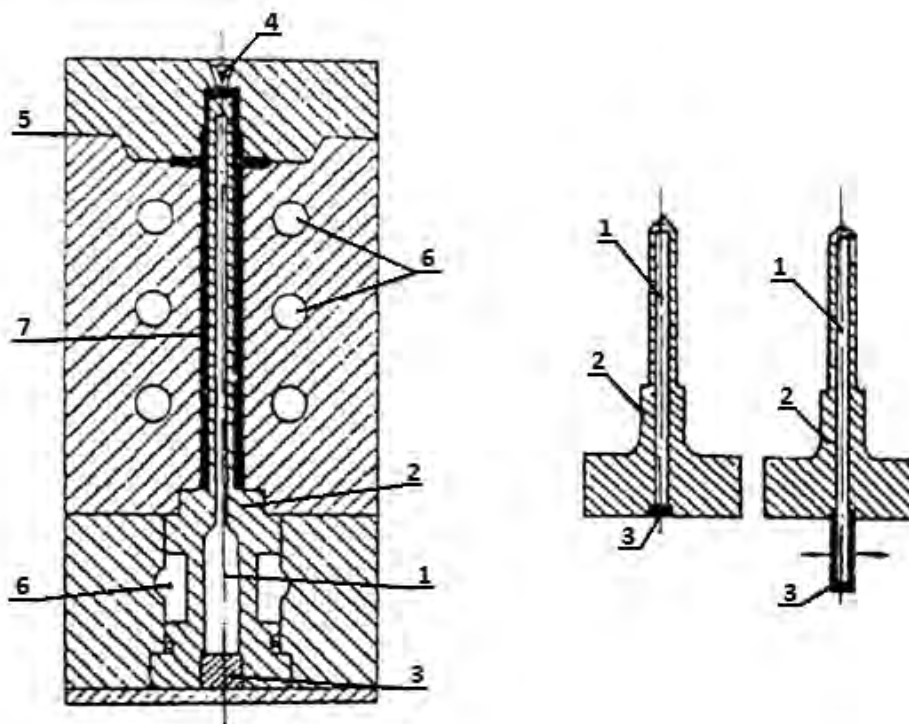
Temperace elektrickými články se používá zejména při nutnosti temperovat formu na vyšší teplotu, kdy ztráty do okolí jsou větší než teplo dodané vstřikovaným plastem. Vyrábí se v různém provedení jako pevné patrony, ohebné nebo prstencové topné tělesa.

Jako pasivní temperační média se velmi často používají tepelně izolační materiály. Používají se jako izolační vrstvy mezi formou a upínací deskou stroje. Nejběžnější jsou materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, nekovových organických látek apod. (sklotextil ARU, sklotextil SI, ...). Pokud má forma příliš vysokou teplotu rostou i ztráty vyzařováním. V takovém případě se doporučuje povrch leštit nebo pokrýt hliníkovou fólií.

K odvodu tepla z částí formy obtížně temperovatelných (vtokové trysky, tenké tvárnky, ...) nebo z tvarových částí formy, kde je třeba urychlit temperaci a zároveň zachovat pevnost, korozní odolnost, rozměrovou stabilitu apod. se s výhodou používají materiály s velkou tepelnou vodivostí jako jsou slitiny Cu, Be, Al a pod.

Dalším způsobem temperace, který spadá do kategorie pasivních prvků, je temperace pomocí tepelných trubíc (Obr. 5.43). Její princip je následující. Uzavřená trubice je částečně naplněná vhodnou teplotonosnou látkou. Ohřevem jedné části trubice se teplotonosné médium vypařuje a při tom odebírá značné množství tepla z oteplujícího se zdroje (u vody až $2,45 \cdot 10^6$ J/kg). Vzniklé páry proudí do opačné části trubice, která je ochlazována. Páry kondenzují a přitom předávají výparné teplo chladícímu prostředí. Trubice dokážou pracovat i při malém teplotním rozdílu.

⁵ Glykoly jsou (obecně řečeno) polyfunkční alkoholy. Jsou, bezbarvými, viskózními kapalinami rozpustnými v alkoholu a vodě. Mají vysoký bod varu a nízký bod tuhnutí. (11)



Obr. 5.44 Použití tepelných trub (1)

1- tepelná trubice, 2- tvárník, 3- chladítko, 4- tryska formy, 5- dělicí rovina formy, 6- chladící médium, 7- výstřík

Pro zjištění aktuální teploty v dutině formy se používají čidla umístěná ve středu mezi tvarovou dutinou a temperačním prostředkem (kanály, topné patrony). Musí být v dokonalém tepelném kontaktu s tělesem formy, ale pouze v měřeném místě. Jinde se musí tepelně izolovat.

5.6 Odvzdušnění forem (1), (3), (4)

V dutině formy je před vstříknutím plastu vzduch. Při jejím plnění je vzduch v dutině stlačován a jeho tlak narůstá. Tento nárůst tlaku může vyústit až k zažehnutí vzduchu a ke spálení plastu. Tomuto jevu se říká Dieselův efekt (Obr. 5.45). Vzduch v dutině formy také negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti výstřiku tvořením bublin, které zůstávají uzavřené ve stěnách výstřiku. Z těchto důvodů je třeba zajistit dobré odvzdušnění formy.

V průběhu vstřikování roste tlak taveniny. Velikost protitlaku stlačeného vzduchu je závislý na odvzdušnění. Je-li nutné zvýšit vstřikovací tlak díky nedokonalému odvzdušnění, bude to mít za následek vnesení zbytečných vnitřních pnutí do výstřiku.

U výstřiků s tenkými stěnami díky nižší teplotě taveniny a nedostatečnému tlaku a rychlosti plnění se soustřeďuje vzduch na protilehlé straně od vtoku. Není-li umožněné vzduchu uniknout vzniká nedotečený výstřík. K této vadě může dojít i při nízké teplotě formy nebo malé dávce plastu.

Při určitých technologických parametrech a větších tloušťkách stěn výstřiků vzduch, který nemohl uniknout, vnikne do taveniny a při zchladnutí vytvoří bubliny. Bubliny vzniklé neostatečným odvzdušněním od bublin vzniklých jiným způsobem lze rozeznat tak, že jsou rozloženy na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé například z důvodu vlhkosti polymeru nebo přehřátím (rozkladem) jsou naopak téměř rovnoměrně rozptýleny v celém objemu výstřiku.



Obr. 5.45 Dieselův efekt (4)

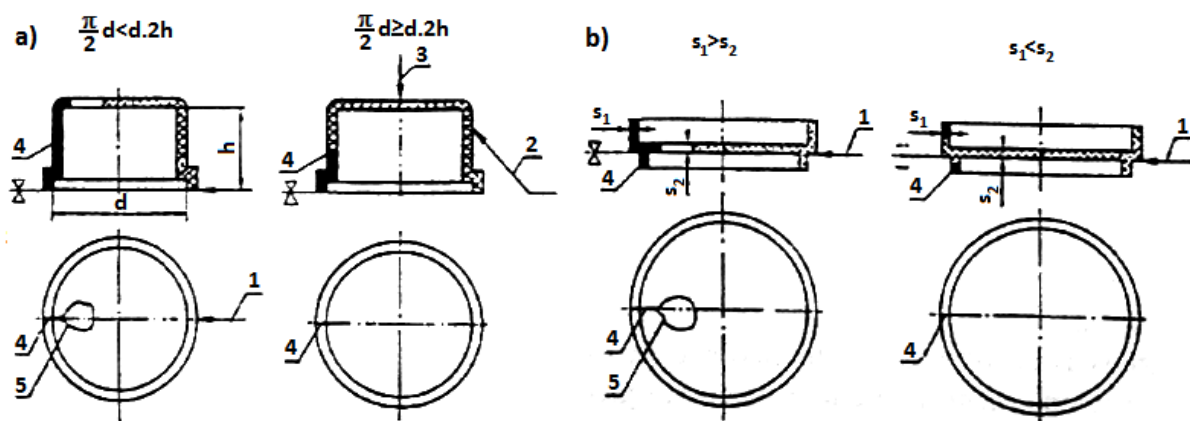
5.6.1 Určení místa pro odvzdušnění

Určit místo pro odvzdušnění formy je někdy zřejmé z tvaru výstříku, jindy může být jeho určení obtížnější. Je třeba brát v úvahu směr a způsob zaplnění dutiny taveninou. V nejpozději naplněném místě bude třeba zajistit dostatečné odvzdušnění.

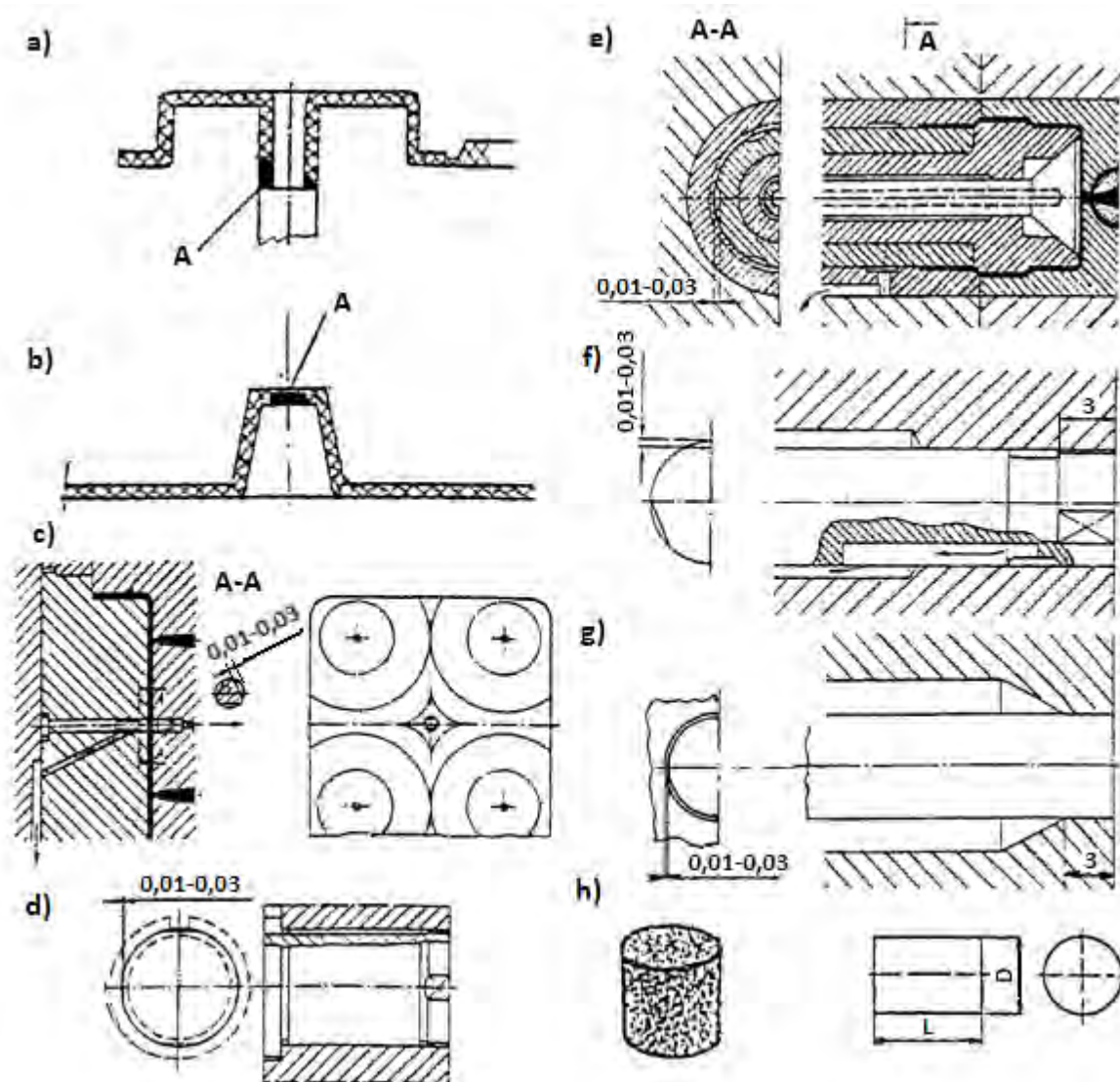
Pokud je určení místa natolik obtížné, že nejde stoprocentně určit úvahou, musí se udělat taková opatření, aby bylo možné odvzdušnění dodatečně snadno realizovat. Poté následují praktické zkoušky formy, při kterých se snadno identifikují místa pro odvzdušnění (nedotečený výstřík, spálené místo, ...).

V některých případech, kdy bylo nutné větší odvzdušnění, mohou vzniknout na výstříku stopy. Pokud vznikne tato stopa na místě, kde jsou vzhledové vady nepřijatelné musí se zajistit, aby k defektu nedošlo. Toho se dá docílit především vhodnou volbou vtoku, jeho umístění nebo nastavením technologických parametrů.

Vady vzniklé špatným odvzdušněním jsou na Obr. 5.46. Způsoby odvzdušnění jsou na Obr. 5.47 a na Obr. 5.48.

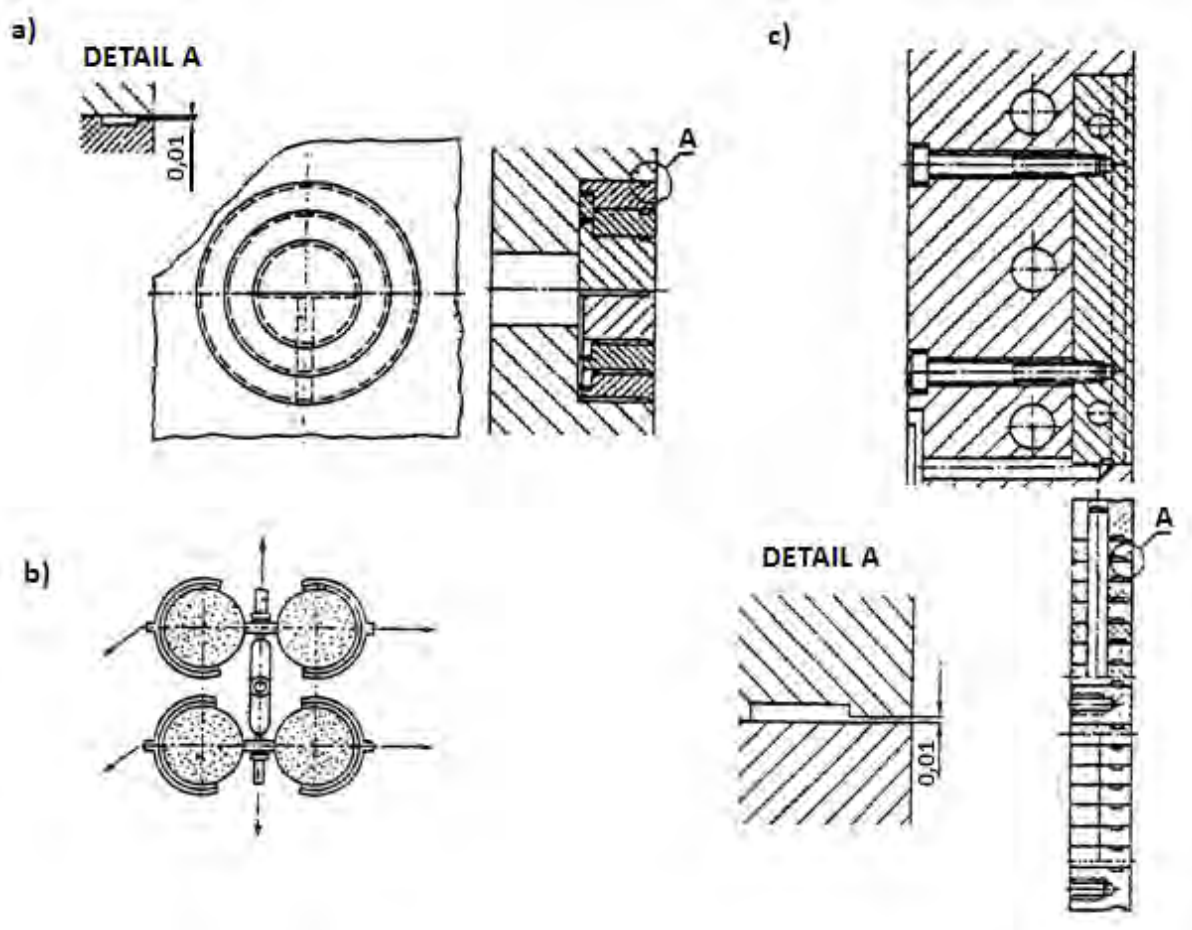


Obr. 5.46 Místa uzavření vzduchu při plnění dutiny taveninou (1)
1,2,3- umístění vtoku, 4- uzavřený vzduch, 5- vzduchová bublina



Obr. 5.47 Způsoby odvzdušnění (1)

a) A – uzavřený vzduch, odvzdušnění středním trnem, b) A – uzavřený vzduch v zesílených průrazných otvorech, c) odvzdušnění dutiny při vstřikování čtyřmi otvory, d) jednoduchá odvzdušňovací vložka, e) odvzdušnění z miskovitého výstřiku, f) odvzdušnění na vyhazovači, g) odvzdušnění vyhazovačem, h) porézní odvzdušňovací vložka



Obr. 5.48 Další způsoby odvzdušnění (1)

a) odvzdušnění dělenými válcovými vložkami, b) odvzdušňování dutin a kanálů při vstřikování optických dílů z PMMA, c) odvzdušnění svazkem kanálů

Seznam použité literatury

1. **Krebs, Josef; Sova, Miloš.** *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů.* 5. aktualizované vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7
2. **Kolouch, Jan.** *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním.* 1. vydání. Praha : SNTL, 1986. str. 229
3. **Gabriel, Jiří; Novák, Jaroslav; Jurnečková, Jindřiška.** *Kurs optimalizace vstřikování plastů - doprovodné texty.* Brno : Kompozity Brno s.r.o., 2000
4. **Lenfeld, Petr.** Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů.* [Online] Technická univerzita Liberec - Fakulta strojní - Katedra stojírenské technologie - Oddělení tváření kovů a plastů, 2008.
http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
5. Advanced Plastics s.r.o. [Online] 2008. www.advplast.cz
6. ENGEL. [Online] 2008. <http://www.engelglobal.com>
7. EWIKON. [Online] 2008. <http://www.ewikon.com>
8. Fortell s.r.o. [Online] 2008. <http://www.fortell.cz>
9. GÜNTHER Hot Runner Technology. [Online] 2008. <http://www.guenther-hotrunner.com>
10. Visteon Corporation. [Online] 2008. <http://www.visteon.com/>
11. Wikipedie. [Online] 2008. <http://cs.wikipedia.org>

4.4 Násobnost forem

je třeba posuzovat z několika hledisek:

a) Podle požadovaného termínu dodávek výstřiků

$$\text{Násobnost formy} \dots n_1 = \frac{N \cdot t_c}{t_p \cdot k \cdot 3600}$$

N ... celková požadovaná produkce (ks)

t_c ... doba cyklu (s)

t_p ... doba produkce (h)

k ... koeficient využití vyr. času; bývá 0,7 + 0,9

b) Podle vstřikovací kapacity lisu

$$\text{Násobnost formy} \dots n_2 = \frac{0,8 \cdot M}{A \cdot m}$$

M ... vstřikovací objem lisu (g)

m ... hmotnost výstřiku (g)

A ... koeficient vtokového zbytku (bez vtoku = 1, jinak se pohybuje v rozmezí 1,05 - 2, větší hodnota pro malé výstřiky).

c) Podle plastifikačního výkonu

$$\text{Násobnost formy} \dots n_3 = \frac{0,8 \cdot M_p \cdot t_c \cdot 1000}{A \cdot m \cdot 3600}$$

M_p ... plastifikační výkon (kg.h⁻¹)

t_c ... doba cyklu (s)

A ... koeficient vtok. zbytku (dle odst. b)

m ... hmotnost výstřiku (g)

Plastifikační výkon je využit max. na 80 %.

d) Podle uzavírací síly

$$\text{Násobnost formy} \dots n_4 = \frac{0,8 \cdot P}{S \cdot p_v}$$

P ... uzavírací síla (N)

S ... přímět ploch dutin a kanálků dc děl. roviny (m²)

p_v ... vstřikovací tlak (Pa)

Pro spolehlivost uzavření formy se využívá uzavírací síla jen na 80 %.

Při dlouhých cyklech bývá plast dlouho vystaven vysoké teplotě. Tím může dojít k barevným změnám nebo k degradaci materiálu. Proto je třeba výpočet násobnosti formy kontrolovat empirickým vzorcem $n_3 \leq 4n_2$.

Optimální násobnost je nejnižší hodnota ze vztahu n_2 až n_4 . Pokud je stanovená násobnost větší než hodnota z n_1 , je třeba volit jiný vstřikovací lis.

e) Z ekonomického hlediska

$$\text{optimální násobnost formy } n_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N}{3600 \cdot k_f}}$$

K_p ... provozní náklady (mzdy, režie) (Kčs)

N ... celková produkce během životnosti formy

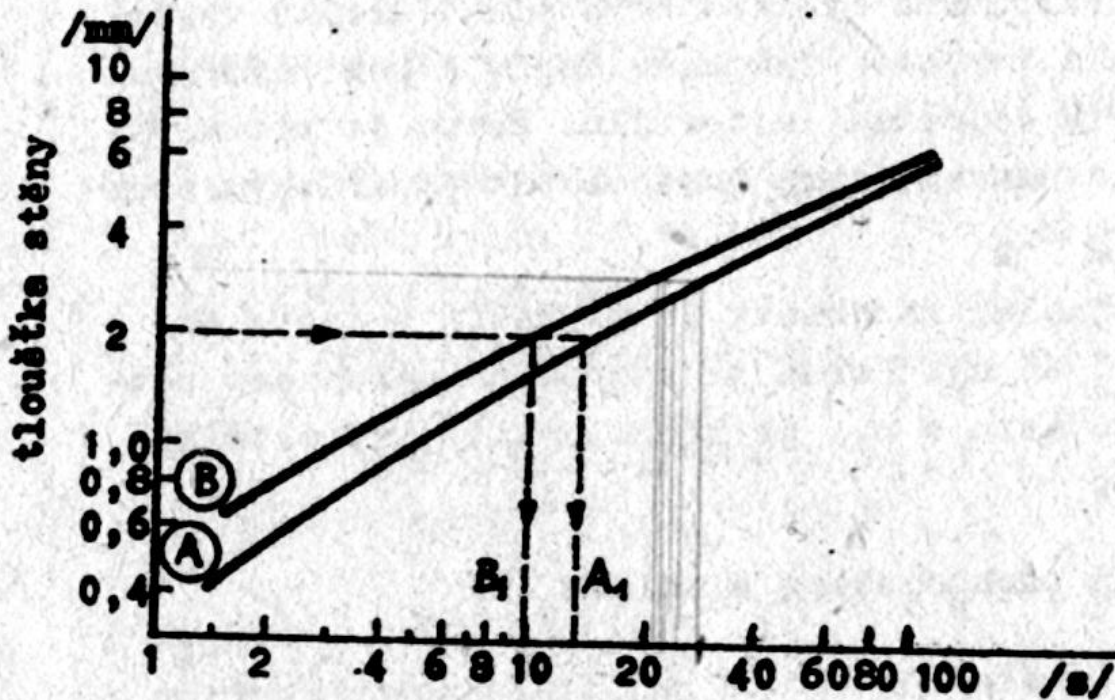
t_c ... doba cyklu (s)

k_f ... konstanta úměrnosti: $-\frac{k_f}{N}$... míra amortizace formy

Doba cyklu je ze značné části určena dobou chlazení výstřiku. Dobu chlazení můžeme vypočítat podle vzorce $t_K = \frac{d^2}{\lambda^2 \cdot a} \cdot \ln \left[\frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \right]$, kde d = průměr chladicího kanálu, a = tepelná vodivost ($10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$), T_M = teplota taveniny, T_W = teplota stěn tvarové dutiny formy a T_E = teplota výstřiku při odformování, nebo podle obr. 4.4.1.

$$t_K = A - B/F + B$$

F :	PS, ABS	= 0
	PVC	= 0,25
	LPE	= 0,4
	PA	= 0,58
	PP, rPE	= 1



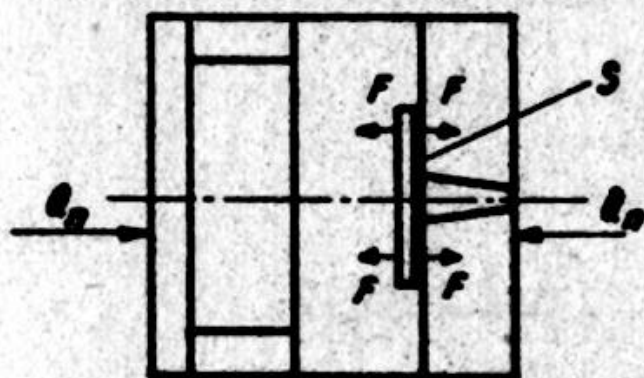
obr. 4.4.1 Doba chlazení výstřiku

Z ekonomického hlediska je výhodný co největší počet tvarových dutin. Z hlediska výroby rozměrově přesných součástí však zvyšování násobnosti forem znamená, že se zavádí do produkce řada dalších možných chyb:

- výrobní nepřesnosti tvarových dutin,
- nerovnoměrné plnění tvarových dutin (nestejná dráha toku),
- rozdíly v technologických podmínkách zpracování (teplota formy, hmoty, tlak...),
- rozptyl smrštění jednotlivých výstřiků až 100 %.

4.5 Výpočty forem

4.5.1 Výpočet max. průmětné plochy výstřiku



(obr. 4.5.1)

proto rovnice:

$$F = S \cdot p_v \leq 0,80 Q_n$$

Používané jednotky

	staré	SI
F ... otevírací síla plastu v děl. rovině	/kg/	(N)
Qn... uzavírací síla lisu	/kg/	(N)
S ... průmět plochy do děl. roviny včetně rozdávěcích kanálků	/cm ² /	(m ²)
p _v ... tlak plastu ve formě pro kompaktní plasty	/500÷800 kp/cm ² /	(5 · 10 ⁷ ÷ 8 · 10 ⁷ N/m ²)
pro strukturní pěny	/30÷50 kp/cm ² /	(3 · 10 ⁶ ÷ 5 · 10 ⁶ N/m ²)

Aby forma byla spolehlivě uzavřena, počítá se jen s 80 % uzavírací síly Q_n.

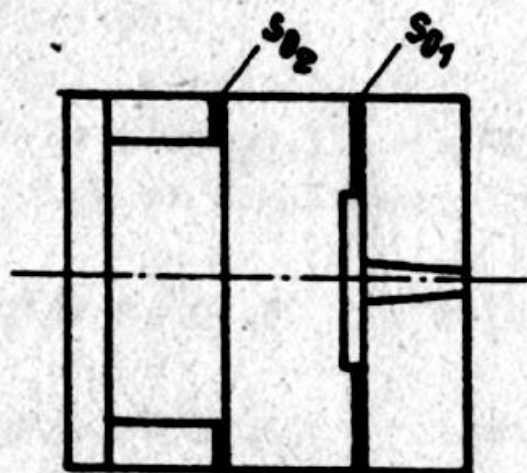
4.5.2 Výpočet dovoleného namáhání na otláčení

Forma je zatížena uzavíracím tlakem lisu Q_n . Styčné plochy jednotlivých součástí formy v exponovaných místech (dělicí rovina, dosedací plochy rozpěrek, vyhazovače,...) je vhodné kontrolovat na otláčení dle vzorce

$$\sigma_0 = \frac{Q_n}{S_0} \leq \sigma_{dov_0}$$

Používané jednotky
staré SI

σ_0 ...	zjištěné namáhání na otláčení	/kg/cm ² /	(Pa)
σ_{dov_0} ...	dovolené namáhání na otláčení pro nekalené materiály do	/600 kg/cm ² /	(6.10 ⁷ N/m ²)
	pro kalené materiály do	/2,4.10 ³ kg/cm ² /	(2,4.10 ⁸ N/m ²)
Q_n ...	uzavírací síla vstřík. lisu	/kg/	(N)
S_0 ...	zjišťovaná styčná plocha dílu	/cm ² /	(m ²)



Pro kontrolu se bere zjišťovaná plocha, která je nejmenší.

(obr. 4.5.2)

4.5.3 Množství plastu ve vstřikovacím lisu

Udávaný objem (udávaná hmotnost) vystříknuté hmoty lisem se vztahuje na polystyrén. Hmotnost jiného plastu vystříknutého lisem se stanoví podle vzorce $G_x = G_p \cdot \frac{\alpha_x}{\alpha_p}$ /g/, kde G_p = hmotnost vystříknutého PS /g/, α_p = poměrová hodnota PS, α_x = poměrová hodnota jiného plastu.

Poměrové hodnoty udává tab. 4.5.1.

Plast	α_x
Polystyrén rázuvzdorný	105
Kopolymer ABS	103
Kopolymer AS	108
Polymetylmetakrylát	118
Polyetylén nízkotlaký	92
Polyetylén vysokotlaký	96
Polypropylén	91
Acetát celulózy	130 - 118
Polyamid	110
Polyformaldehyd	136
PVC tvrdý	140
měkký	125
Polystyrén	$\alpha_p = 100$

tab. 4.5.1 Poměrové hodnoty plastů