

Konstrukční řešení vstřikovací formy pro plastový díl

Jan Bednář

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Bednář**

Osobní číslo: **T11213**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční řešení vstřikovací formy pro plastový díl tiskárny**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhnete vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Ovsík

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Bednář Jan

Obor: Technologická zařízení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 17.5.2014.

..... Bednář Jan

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní díla:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vypracovat konstrukční řešení vstřikovací formy pro plastový díl, kterým je část krytu tonerové kazety. V teoretické části jsou uvedeny základní informace z oblasti polymerů a konstrukce vstřikovacích forem. Praktická část se zabývá tvorbou 3D modelu součásti a konstrukčním návrhem vstřikovací formy, včetně výkresové dokumentace. Konstrukce je provedena v softwaru Catia V5R19 s využitím normálií HASCO.

Klíčová slova: vstřikovací forma, vstřikování, polymer, 3D konstrukce formy

ABSTRACT

The aim of my bachelor thesis is to develop a design solution of injection mold for plastic part, which is part of the cover of the toner cartridge. The theoretical section provides basic information from the field of polymers and construction of injection molds. The practical part deals with creating 3D model and structural design of the injection mold, including the drawings. The construction is implemented in Catia V5R19 software, using HASCO standards.

Keywords: injection mold, injection molding, polymer, 3D design of mold

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Martinovi Ovsíkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 PLASTY	12
1.1.1 Termoplasty.....	12
1.1.2 Reaktoplasty.....	13
1.2 ELASTOMERY	13
1.2.1 Kaučuky	13
1.3 PŘÍSADY ZLEPŠUJÍCÍ ZPRACOVATELNOST TAVENIN	13
1.3.1 Stabilizátory	13
1.3.2 Plastifikátory (změkčovadla)	14
1.3.3 Polymerní modifikátory	14
1.3.4 Koncentráty lubrikantů, nukleačních činidel a antistatik	14
1.3.5 Retardéry hoření.....	14
1.3.6 Barviva, pigmenty, barevné koncentráty, optická zjasňovadla.....	14
1.3.7 Plniva.....	15
1.4 PŘÍPRAVA MATERIÁLU	15
1.4.1 Granulace	15
1.4.2 Příprava granulátu před vstřikováním.....	16
2 VSTŘIKOVÁNÍ	17
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	17
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	18
2.2.1 Vstřikovací jednotka	18
2.2.2 Uzavírací jednotka	19
2.2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje.....	20
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	21
3.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY	21
3.1.1 Studené vtokové systémy (SVS).....	22
3.1.2 Vyhřívané vtokové soustavy (VVS)	26
3.2 VYHAZOVCÍ SYSTÉMY.....	28
3.2.1 Mechanické vyhazování.....	29
3.2.2 Pneumatické vyhazování.....	31
3.2.3 Hydraulické vyhazování.....	31
3.3 TEMPERACE FOREM.....	31
3.3.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů	32
3.4 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	32
3.5 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM	33
3.5.1 Požadované vlastnosti ocelí	34
3.5.2 Používané druhy ocelí	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	36
5 POUŽITÉ PROGRAMY	37

5.1	CATIA V5R19	37
5.2	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW	37
6	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	38
6.1	MATERIÁL VÝSTŘIKU	39
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	40
7.1	NÁSOBNOST FORMY	43
7.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	43
7.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	45
7.4	ŠIKMÉ VÁLCOVÉ KOLÍKY	46
7.5	VTOKOVÝ SYSTÉM	46
7.6	TEMPERACE VSTŘIKOVACÍ FORMY	48
7.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	49
7.8	ODVZDUŠNĚNÍ.....	51
7.9	TRANSPORTNÍ ZAŘÍZENÍ	51
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK.....	57
	SEZNAM PŘÍLOH.....	58

ÚVOD

Polymerní materiály jsou v dnešní době nehraditelnou součástí našeho života. Koncem 20. století umožnily polymery rozvoj řady průmyslových odvětví. Jsou základem plastikářského průmyslu, gumárenství, výroby syntetických vláken, průmyslu fólií a obalů a také polymerních kompozitních materiálů. Využití mají v průmyslu strojírenském, elektrotechnickém, ale také i ve zdravotnictví. V moderní společnosti jen těžko najdeme obor, ve kterém by se polymerní materiály nevyužívaly.

Jednou z nejrozšířenějších technologií zpracování je metoda vstřikování polymerů. Touto metodou se vyrábějí buď polotovary pro další zkompletování celku, nebo výrobky konečného charakteru. Vesměs se jedná o produkty s velkou tvarovou složitostí, které by se jinými technologiemi vyráběly obtížně. Výstřiky mají velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesnost a dobré mechanické a fyzikální vlastnosti. Vstřikovací stroje a formy jsou velmi nákladnými nástroji, a proto mají uplatnění především ve velkosériové výrobě. Samotné formy se vyznačují velkou odolností proti tlaku a vysokým teplotám, musí být navrženy co nejefektivněji tak, aby byl výrobní cyklus co nejkratší.

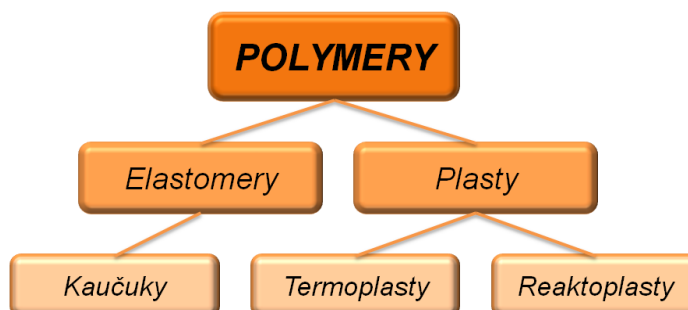
K návrhu a konstrukci forem se v současnosti spolehlivě využívá výpočetní technika. Nejrozšířenější softwarové vybavení umožňuje 3D konstruování, návrh designu, různé analýzy, simulace a tvorbu výkresové dokumentace. V současné době také existuje řada specializovaných výrobců normálních pro vstřikovací formy. Mezi nejznámější patří např. HASCO, DME a STRACK. To vše vede k urychlení, zjednodušení a zkvalitnění výroby a také ke snížení nákladů a zvýšení ekonomičnosti výroby.

Cílem bakalářské práce je návrh a konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymery patří mezi chemické látky, které mají díky svým obrovským molekulám řadu různých vlastností. Základní rozdělení polymerů je na elastomery a plasty viz. obr.1. [4]



Obr. 1. Základní rozdělení polymerů

1.1 Plasty

Plasty jsou přírodní nebo syntetické makromolekulární látky s přísadami (stabilizátory, plniva, maziva, změkčovadla, barviva, nadouvadla atd.) upravené do výchozí podoby pro zpracování - např. prášku, granulátu atd. Působením tepla je možné plast tavit na taveninu a poté například vstříkáním do formy tvarovat na plastový výrobek nebo u reaktoplastů vytvrdit chemickou reakcí a teplem. [4]

1.1.1 Termoplasty

Zahříváním postupně měknou až na taveninu, kterou je možné vstříkovat. Následným ochlazením získáme pevný výrobek, který je možné opětovným zahříváním přeměnit na taveninu a tu opět zpracovat. Tento postup lze opakovat vícekrát. Termoplasty dále dělíme podle nadmolekulární struktury na: [4]

- Amorfní - v těchto polymerech jsou lineární řetězce makromolekul uspořádané náhodně. Příkladem amorfních plastů jsou např. polystyren. Amorfní plasty jsou opticky čiré, křehké a tvrdé.
- Semikrystalické - při tuhnutí amorfní taveniny některých termoplastů vytvářejí makromolekuly polymeru lamely krystalizujícího podílu taveniny, které tvoří tzv. sférolity a polymer má potom strukturu tvořenou směsí krystalické a amorfní složky. Podíl krystalické složky může být za ideálních podmínek až 90%. Semikrystalické jsou např. polyolefiny a polyamidy. Tyto polymery mohou být maximálně průsvitné, ne však čiré. Mají větší smrštění než amorfní.

1.1.2 Reaktoplasty

Tyto plasty se vytvrzují chemickou reakcí a vzniknutým teplem. Na rozdíl od termoplastů není možné reaktoplasty opětovným ohřevem roztavit a přivést do fáze taveniny. Jsou to velmi tvrdé polymery, jelikož vytvářejí velmi husté prostorové struktury monomerů. Jejich recyklace je obtížná. [4]

1.2 Elastomery

Elastomer je vysoce elastický polymer, za běžných podmínek jej lze malou silou deformovat bez porušení. Tato deformace je převážně vratná. Dominantní skupinou elastomerů jsou kaučuky. [9]

1.2.1 Kaučuky

Jsou to polymerní materiály, které také v první fázi ohřevu měknou a je možné je tvářet, ale jen po určitou dobu. Dalším zahříváním dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. [5]

1.3 Přísady zlepšující zpracovatelnost tavenin

Pro bezproblémové zpracování polymerních materiálů přidáváme do polymerů aditiva: [3]

- pro zvýšení stability taveniny po dobu její prodlevy v plastikačním válci, resp. v horkém rozvodu formy - tepelné nebo termooxidační stabilizátory,
- pro zlepšení tokových vlastností taveniny, zaručující její dobrou zatékavost, bezporuchovou plastikaci ve šnekové plastikační komoře, nelepivost taveniny a snadné vyjímání výstřiků z formy - vnitřní maziva aplikovaná do materiálu při jeho výrobě,
- pro dosažení rovnoměrné a jemné krystalické struktury u částečně krystalických materiálů - nukleační činidla.

1.3.1 Stabilizátory

- Termooxidační - zvyšují hranici teploty a doby použití výstřiku na teplotě.
- UV stabilizátory - zvyšují odolnost k atmosférickému stárnutí a tím prodlužují životnost výstřiků. [3]

1.3.2 Plastifikátory (změkčovadla)

Účelem plastifikace je snížení tvrdosti a tuhosti, zvýšení ohebnosti, tažnosti a houževnatosti zchladnutého polymeru. Používají se nejčastěji u PVC. [3]

1.3.3 Polymerní modifikátory

Jsou to polymerní sloučeniny, které vytvářejí se základním polymerem směsí. Jejich účelem je výrazně modifikovat vlastnosti základního polymeru. [3]

1.3.4 Koncentráty lubrikantů, nukleačních činidel a antistatik

- Lubrikanty (maziva) - snižují viskozitu taveniny, zvyšují lesk výstřiků, zlepšují odformování.
- Nukleační činidla - modifikují rychlost krystalizace a tím zkracují výrobní cyklus nebo zvyšují transparentnost (PP a jeho kopolymery).
- Antistatika - snižují elektrostatický náboj, který vniká zejména při tření, díky elektricky nevodivému charakteru většiny termoplastů. [3]

1.3.5 Retardéry hoření

Jejich úkolem je snížit nebo zmenšit hořlavost termoplastů. Účinné jsou až při vyšších koncentracích (5 až 30%), a proto mají vliv jak na zpracovatelské (výdrž taveniny na teplotě), tak i na užité vlastnosti. K retardaci přispívají i plniva anorganického původu. [3]

1.3.6 Barviva, pigmenty, barevné koncentráty, optická zjasňovadla

- Barviva a pigmenty dodávají polymerním materiálům barevný odstín a kryvost. V jsou polymerech nerozpustné, podle původu jsou anorganické, organické a bronze. Mohou působit také jako nukleační činidla a vyvolat různá smrštění výstřiků použitím různých barviv aplikovaných na stejný polymer. Aplikují se buď při výrobě vstřikovacího materiálu u jeho výrobce, nebo přímo na vstřikovacích strojích u zpracovatelů granulátů.
- Základem barevného koncentrátu je tzv. nosič, který obsahuje 20x až 100x více barviv a pigmentů než původní přírodní granulát. Hlavním požadavkem kladených na barevné koncentráty je jejich tepelná stálost. Nosič, pigment i barvivo musí odolávat výrobním podmínkám beze změny i při několikanásobném zpracování. Další

požadavky jsou odolnost vůči UV záření, povětrnostní stálost a zdravotní nezávadnost.

- Opticky zjasňující prostředky zlepšují vzhled u přírodních, bílých a světle pigmentovaných výstřiků. [3]

1.3.7 Plniva

Plniva jsou látky zlepšující mechanické vlastnosti materiálu, chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě.

- Plniva částicová - patří zde celá řada minerálních plniv o různé velikosti a tvaru částic. Tato plniva obecně zvyšují viskozitu taveniny, tuhost, tvrdost a tepelnou odolnost výstřiků a zmenšují jejich smrštění.
- Vyztužující plniva - zvyšují pevnost, tuhost, odolnost k toku za studena a naopak snižují ohebnost, tažnost a kluzné vlastnosti s výjimkou uhlíkových vláken. Nejčastěji se používají skelná vlákna, dále vlákna uhlíková, vlákna z nerezových ocelí, minerální vlna a další.
- Nanoplňiva - představují trend u všech typů plniv. Velikost částic je v nanometrech a jsou schopné zasahovat až do molekulárních vazeb makromolekulárních látek a přinášejí tak nové možnosti úprav plastů. Nanočástice tedy zlepšují mechanické vlastnosti, nepropustnost, odolnost vůči chemikáliím a navlhavost, včetně zvýšení jakosti povrchu a zvýšení lesku výstřiků. Mohou plně nahradit částicová, minerální i vláknitá plniva i retardéry hoření. Vzhledem k ceně se zatím využívají jen pro nejnáročnější aplikace, v budoucnosti se však pravděpodobně stanou běžnou součástí zpracování plastů. [3], [4], [5]

1.4 Příprava materiálu

1.4.1 Granulace

Granulace je pro většinu plastů konečným stupněm zpracování, kdy materiál dostává tvar granulí, který je vhodný pro další zpracování. Granule mají dobrou sypnou hmotnost, lze je dobře směšovat s dalšími materiály, např. barvivy a dobře se dávkuje. Do tvaru granulí se často převádí i recyklát získaný drcením nebo mletím, potom mluvíme o regenerátu. [5]

1.4.2 Příprava granulátu před vstřikováním

Nejčastější technologickou přípravou granulátu před vstřikováním je sušení. Před vstřikováním se musí sušit všechny plasty vyrobené polykondenzací, směsi plastů obsahující polykondenzáty, kompozitní plasty plněné hydrokopickými plnivými a všechny plasty, do kterých se při dopravě, skladování a manipulaci dostala voda. Granulát musí být vysušený na povolený objem vody, jelikož tavenina vznikající v plastikačním válci nesmí obsahovat vodní páry, protože způsobují optické a mechanické vady výstřiků. Granulát se suší při stanovené teplotě po určitou dobu nejčastěji v teplovzdušných sušičkách. [4]

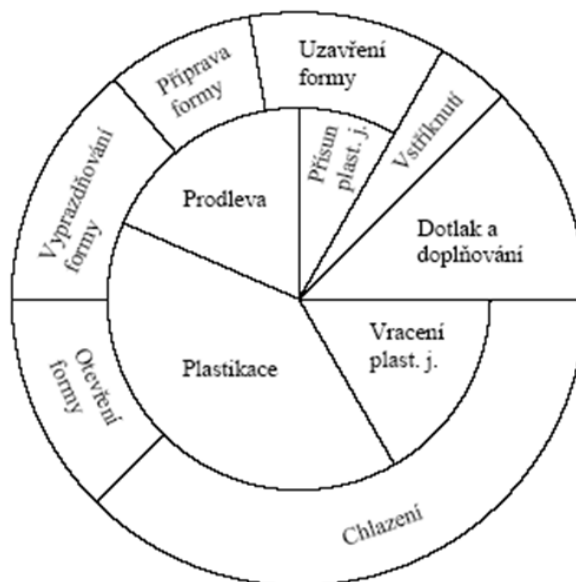
2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů z plastů. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. V průběhu vstřikování je roztavený polymer ve vstřikovacím stroji tlakem dopravován do dutiny formy a tam ochlazen ve tvaru vyráběné součásti. [1]

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku, nebo jsou polotovary pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Díky širokým možnostem využití termoplastů, zejména v automobilovém, elektronickém a v dalších oblastech průmyslu, je tato technologie velmi perspektivní. [3], [5]

2.1 Vstřikovací cyklus

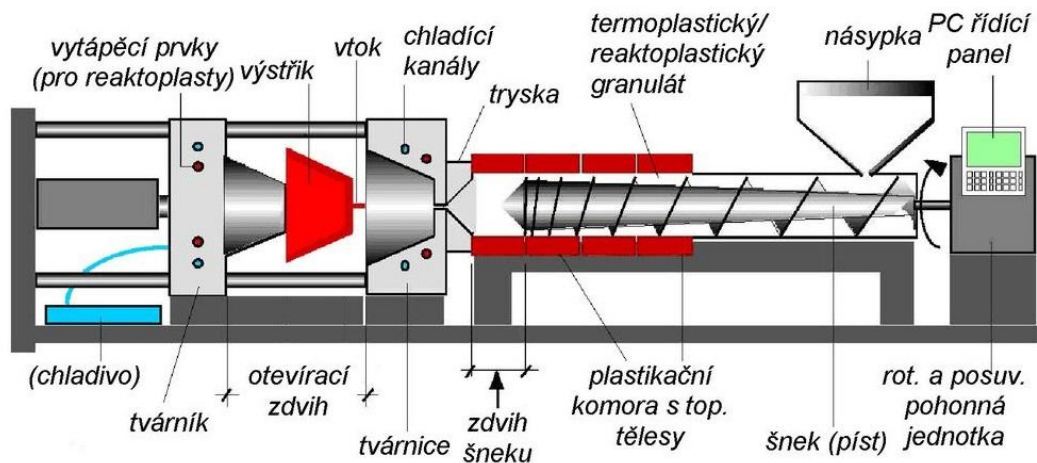
Nejdříve se uzavře vstřikovací forma. Poté dojde k přísunu vstřikovací jednotky a vstřiku taveniny do dutiny formy. Následuje dotlak pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením tuhne, mezitím se vstřikovací jednotka vrací do výchozí polohy. Potom se forma otevře, výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. [1], [5]



Obr. 2. Vstřikovací cyklus [6]

2.2 Vstřikovací stroje

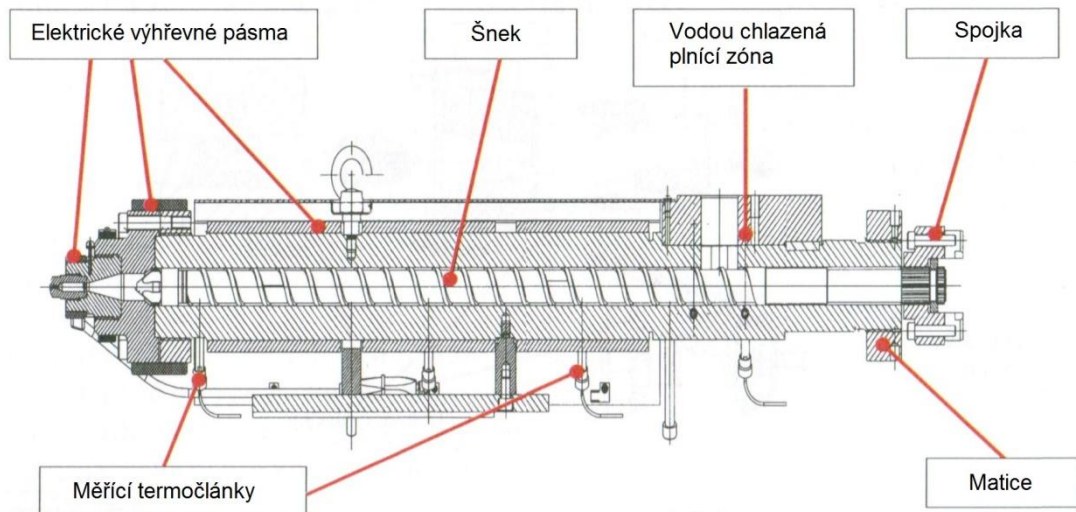
Na moderních strojích probíhá vstřikovací proces plně automaticky, tudíž se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Na vstřikovacích strojích lze vyrábět výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a tyto výrobky mají velmi široké využití v mnoha odvětvích průmyslu. [5], [7]



Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [5]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Jejím úkolem je připravit a dopravit požadované množství roztaveného polymeru s předepsanými parametry do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstřikovaném množství zase setrvává plast ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím hrozí, že dojde k jeho degradaci. Vstřikovací jednotka pracuje tak, že do tavného válce je pohybem šneku dopravován zpracovávaný polymer z násypky. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Současně ho odtláčuje do zadní polohy. Topení tavné komory je nejčastěji rozděleno do tří pásem - vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Část tepelné energie vznikne také disipací v materiálu. Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. Kulové zakončení trysky zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. [1]



Obr. 4. Vstřikovací jednotka [4]

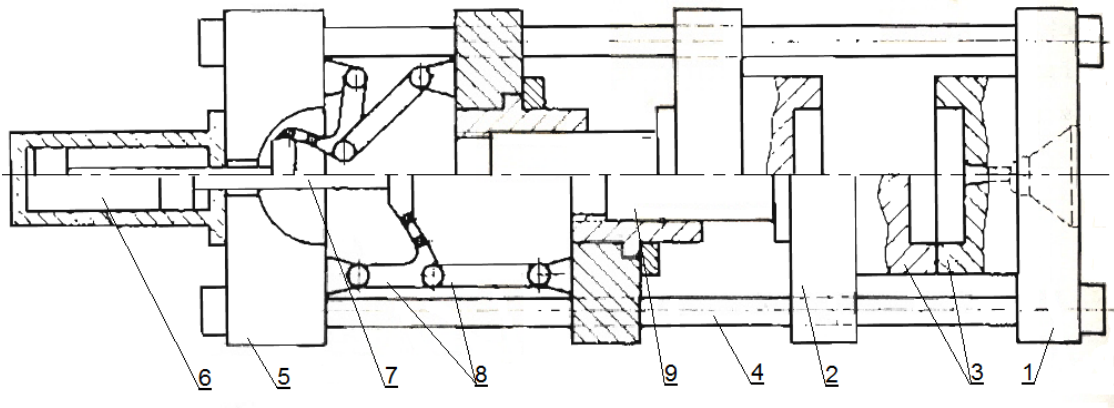
2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je nastavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku a ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. [1]

Hlavní části uzavírací jednotky: [1]

- opěrná deska pevná,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus.

Uzavírací mechanismus má nejrůznější provedení a je ukazatelem kvality uzavírací jednotky. Hydraulické uzavírací jednotky umožňují pootevření nástroje hydraulickým tlakem a vyžadují zajištění závorou. Výhodou je nastavení libovolné hloubky otevření nástroje. Hydraulicko-mechanická jednotka je nejčastěji používána u strojů malých gramáží. Zaručuje vyšší rychlost uzavírání a potřebné zpomalení před uzavřením formy. Je konstruována jako kloubový mechanismus ovládaný hydraulickým válcem. Formu proti pootevření formy při vstřikování zajistí velký hydraulický válec, který je pevně spojen s upínací deskou. [1]



Obr. 5. Hydraulicko-mechanické uzavírání [7]

1 - přední upínací deska, 2 - zadní upínací deska, 3 - vstřikovací forma, 4 - nosné sloupce, 5 - nosný třmen, 6 - hydraulický válec, 7 - pístní tyč, 8 - kloubový mechanismus, 9 - seřizovací šroubový mechanismus

2.2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Jestliže tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se to negativně i na přesnosti a kvalitě výroby výstřiků. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. Novější koncepce vstřikovacích strojů se v současnosti neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Řízení stroje má rozhodující vliv na přesnost a jakost výstřiků, jelikož určuje a dodržuje přesnost: [1]

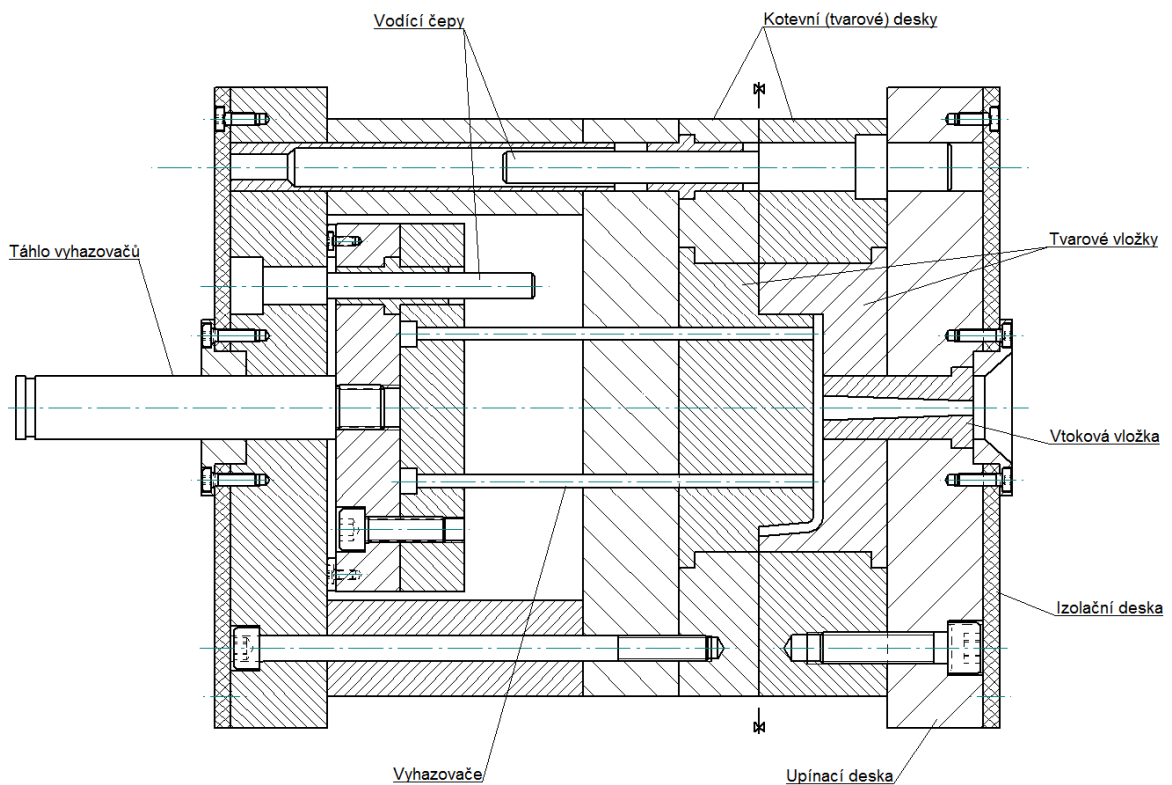
- nastavení výše i doby vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstřikování a chlazení (přesnost a tolerance výstřiků),
- nastavení doby a výšky teploty taveniny (fyzikální a mechanické vlastnosti výstřiků).

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma dodává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností. [1]

Forma musí plnit tyto požadavky: [1]

- **Technické** - zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Měla by také splňovat podmínku snadné manipulace i obsluhy při výrobě.
- **Ekonomické** - vyznačují se nízkou pořizovací cenou, rychlou a snadnou výrobou dílců při vysoké produktivitě práce a vysokým využitím plastu.
- **Společenskoestetické** - vytvářejí vhodné prostředí při bezpečné práci. Vyžadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy.



Obr. 6. Řez vstřikovací formou

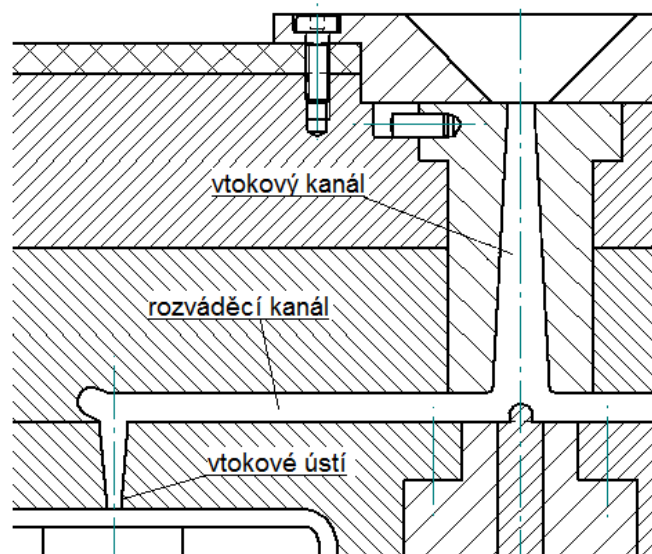
3.1 Vtokové systémy

Vtokový systém zajišťuje při vstřiku vedení proudu taveniny od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Rozdělujeme je na studené a vyhřívané vtokové systémy. [1]

3.1.1 Studené vtokové systémy (SVS)

Vtoková soustava se skládá z vtokové vložky, rozváděcích kanálů a vtokového ústí do dutiny formy. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují: [1]

- vzhled, rozměry a vlastnosti výstřiku,
- spotřebu materiálu plastu,
- náročnost opracování na začištění výstřiku,
- energetickou náročnost.

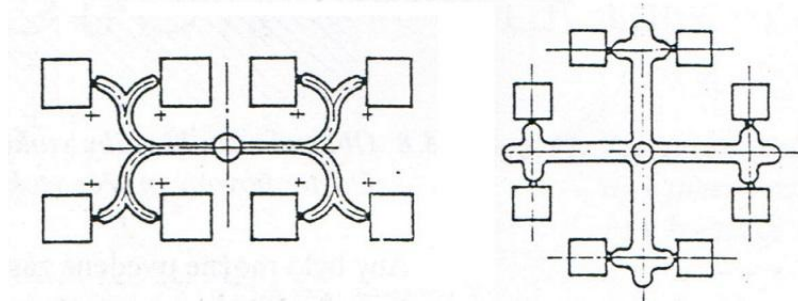


Obr. 7. Příklad studeného vtoku

Zásadní rozdíly v uspořádání vtokového systému jsou dány zejména konstrukcí formy a její násobností. Tavenina se vstřikuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste a uprostřed je nejnižší. Díky vysoké viskozitě se vyžadují vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). [1]

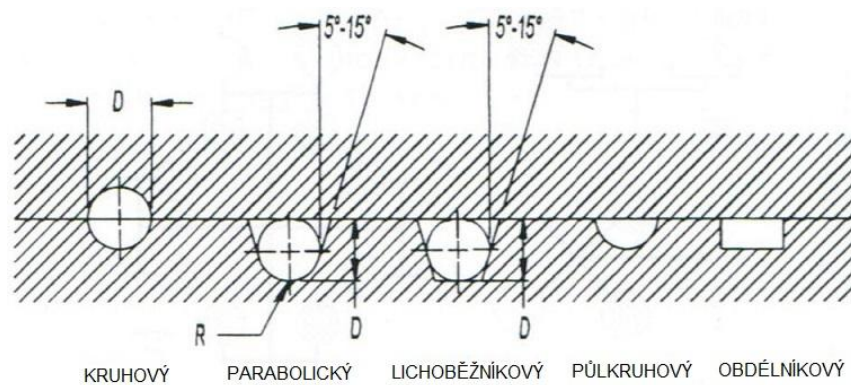
Obecné zásady řešení studených vtokových systémů: [1]

- Dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy by měla být co nejkratší, pokud možno bez tlakových a časových ztrát.
- Dráha toku má být stejně dlouhá ke všem tvářecím dutinám a tím se zajistilo rovnoměrné plnění. (Obr. 8)



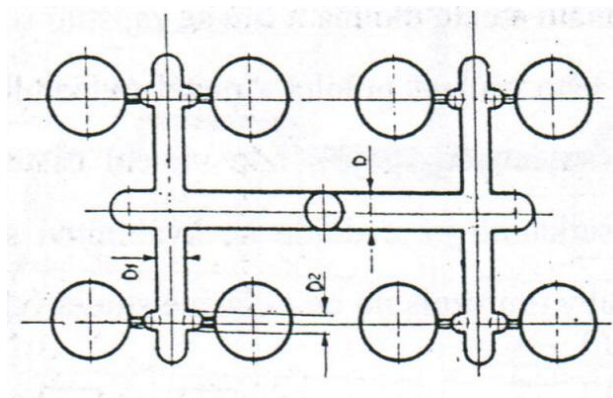
Obr. 8. Stejně dlouhá délka vtokových kanálů ke všem dutinám formy. [1]

- Průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký, aby po vyplnění tvářecí dutiny bylo jádro ještě v plastickém stavu a mohl působit dotlak. Vtokový kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez. Této podmínce odpovídá kruhový průřez, ale z výrobních důvodu se volí i jiné tvary. (Obr. 9)



Obr. 9. Průřezy vtokových kanálů [8]

- Aby byla u vícenásobných forem zachována stejná rychlost taveniny, je vhodné odstupňovat průřezy kanálů. (Obr. 10)



Obr. 10. Odstupňovaný průřez vtoku [1]

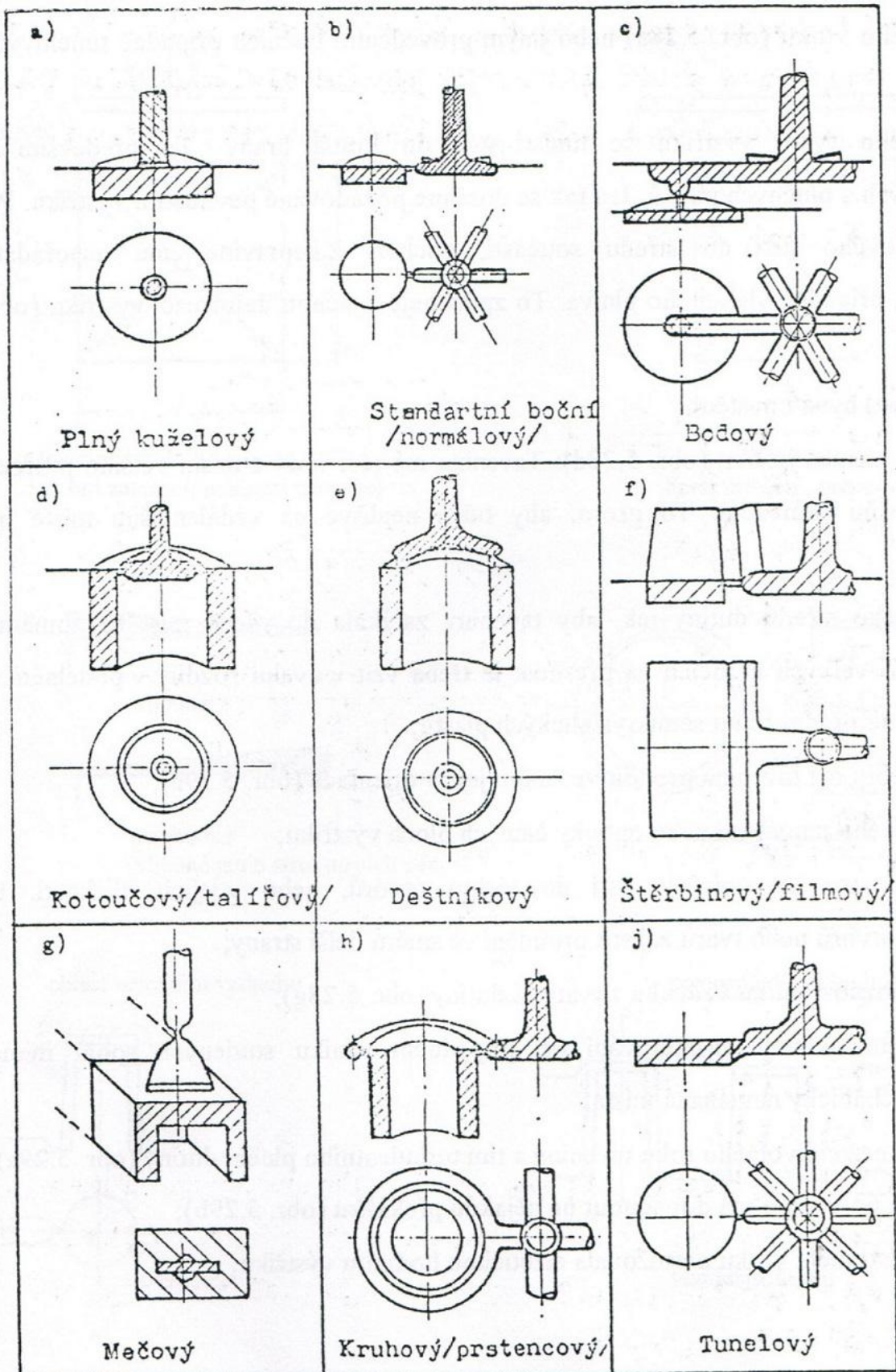
Pro splnění uvedených zásad je potřebné: [1]

- Zaoblit všechny ostré hrany vtokových kanálů min. $R = 1 \text{ mm}$.
- Stanovit úkosovost všech vtoků, aby bylo možné snadné odformování. Minimální úkosy jsou $1,5^\circ$. Podkosy volíme jen u komůrky přidržovače vtoku.
- Leštit povrch vtokového systému orientovaného ve směru vyjmutí. Drsnost nemá klesnout pod $0,2 \text{ Ra}$. Tím se usnadní vyhazování.
- Zabránit proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny prodloužením rozváděcího kanálu a to vede ke snížení povrchových vad výstřiku.
- Ve vtokovém systému vyloučit místa s velkým nahromaděním materiálu.

Vtokové ústí

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Plný nezúžený vtok se používá jen ve výjimečných případech. Díky vtokovému ústí se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku a tím i vytváření povrchových defektů. [1]

Průřez vtokového ústí volíme co nejmenší v závislosti na charakteru výstřiku, plastu a technologii vstřikování. Délka zúženého ústí se volí co nejkratší. Tloušťka, nebo celý průřez se určí podle objemu výstřiku. Při konstrukci se doporučuje volit menší vtokové ústí, které můžeme při zkouškách případně upravit. Důležité je také vhodné umístění na výstřiku. Doporučuje se umístit ústí vtoku do místa s největší tloušťkou stěny. [1], [3]



Obr. 11. Základní typy vtokových ústí. [1]

3.1.2 Vyhřívání vtokové soustavy (VVS)

Snaha uspořit více materiálu i práce vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku pomocí vyhřívání vtokových soustav (VVS). Dnešní vtokové soustavy mají vyhřívání trysky, které jsou charakteristické minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. Od forem s běžnými studenými soustavami se liší především tím, že současné typy VVS se nakupují od specializovaných výrobců např. HASCO. [1], [6]

Používání VVS stále roste, protože: [1]

- umožňuje automatizaci výroby,
- zkracuje výrobní cyklus,
- snižuje spotřebu materiálu - vstřikuje se bez vtokových zbytků,
- snižuje náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků,
- odpadá manipulace a regenerace zbytků.

Technologie vstřikování s použitím VVS spočívá v tom, že tavenina po naplnění dutiny formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. Díky tomu je možné použít bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast výstřiků. I přes malý průřez vtoku je možné pracovat s dotlakem. [1]

Isolované vtokové soustavy (IVS)

Jsou nejjednodušší a dnes již málo využívané. Pracují na principu vlastní termoplastické izolace. U toho to systému nemá tryska vlastní vytápění. Její teplotu udržuje buď větší vrstva taveniny svou tepelně izolační vlastností, nebo je ohřívána nepřímou. Můžeme je rozdělit na dva systémy: [1]

- IVS se zesílenými vtoky,
- IVS s vtokovou předkomůrkou.

Vyhřívání trysky

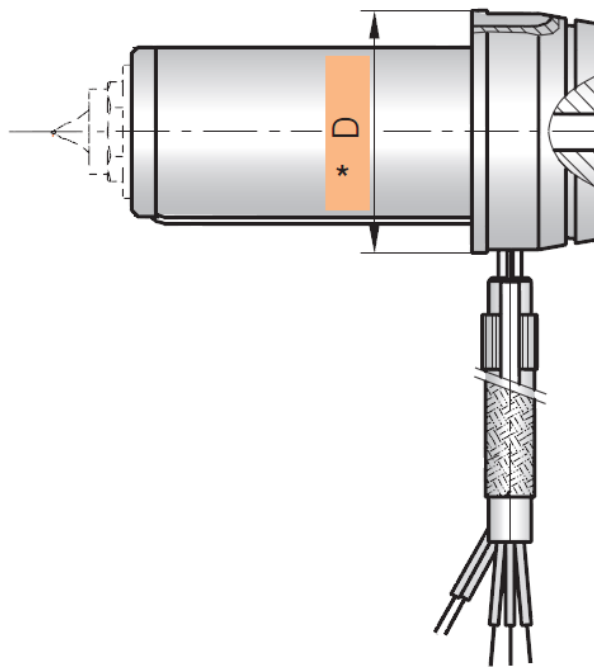
Konstrukce vyhřívání trysky umožňuje propojení vstřikovacího stroje a dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Trysky jsou opatřeny vlastním topným článkem s regulací, nebo jsou ohřívány jiným zdrojem vtokové soustavy. Výrazně umožňuje zlepšit technologické podmínky vstřikování. [1]

Nepřímo ohřívané trysky se vyznačují dvěma provedeními: [1]

- Dotápěné vyústění izolovaného rozvodu vtoku. Miniaturní topné těleso je zabudováno do ocelového pouzdra, jehož špička zasahuje do vyústění vtoku. Vyžaduje poměrně rychlý pracovní cyklus.
- Tryska dotápěná rozvodovým blokem. Je dokonalejší oproti předešlým systémům. Používá se pro vícenásobné formy.

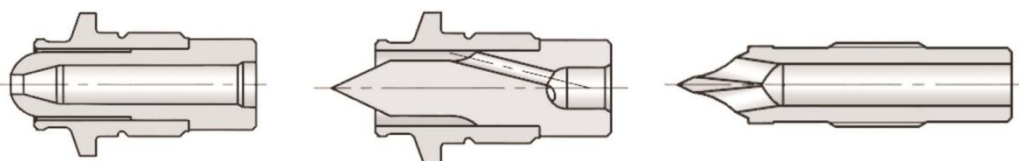
Přímo ohřívané trysky jsou charakterizovány dvěma principy: [1]

- Tryska s vnějším topením - tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je vyrobeno z tepelně vodivého materiálu a z vnějšku je kolem tělesa trysky umístěno topení.
- Tryska s vnitřním topením - tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku, která je také zhotovena z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí.



Obr. 12. Vyhřívaná tryska [10]

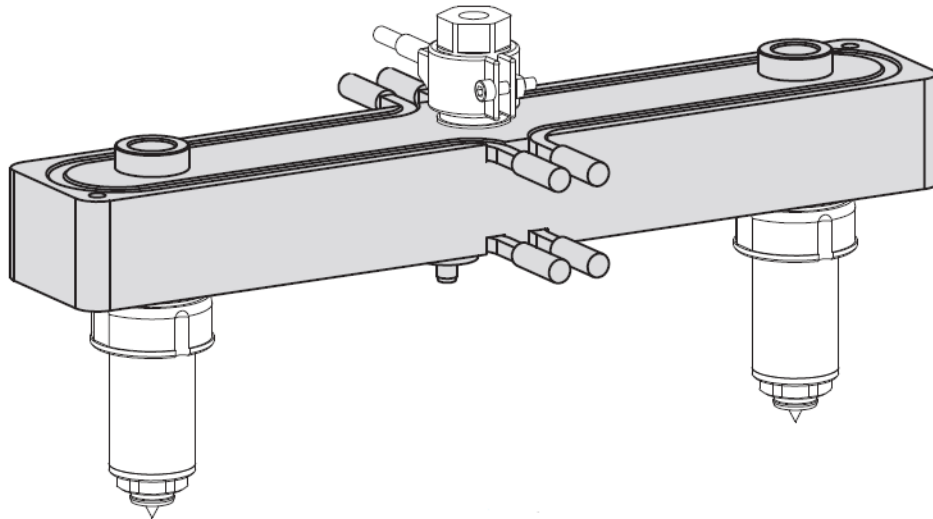
Vyústění vtoku do dutiny formy může být provedeno jedním nebo více otvory. [1]



Obr. 13. Různé typy ústí trysek [10]

Vytápěné rozvodové bloky

Vstřikovací formy s rozvodným blokem se využívají v kombinaci s vyhřívanými nebo i izolovanými tryskami s předkomůrkami. Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Správná funkce je podmíněna rovnoměrným vytápěním, v opačném případě ovlivní tokové chování taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách. [1]



Obr. 14. Vytápěný rozvodový blok [10]

Rozváděcí blok je ocelový a je uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části formy. Musí být tepelně izolován od dalších částí formy, obvykle vzduchovou mezerou. Nejčastěji je vytápěn zvenku elektrickým odporovým topením pomocí topných hadů zalitých mědí nebo topnými patronami a vytápěním zevnitř. [1]

3.2 Vyhazovací systémy

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, při které se z dutiny nebo z tvárníku formy vysune nebo vytlačí zhotovený výrobek. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus. [2]

Má dvě fáze: [2]

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování,
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy.

Základní podmínkou dobrého vyhazování je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení a tím ke vzniku deformací, nebo jinému poškození. Vhodný vyhazovací sys-

tém musí vyvodit potřebnou vyhazovací sílu pro vyhození výstřiku z formy. Potřebná velikost vyhazovací síly závisí na: [2]

- velikosti smrštění výstřiku ve formě,
- členitosti výstřiku a jakosti povrchu funkčních částí tvárníku (dutiny) formy,
- technologických podmínkách vstřikování,
- pružných deformací formy.

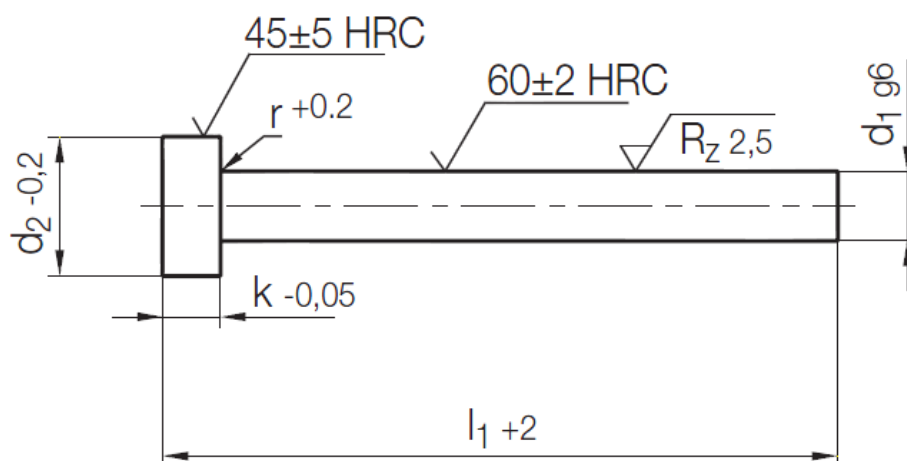
3.2.1 Mechanické vyhazování

Tento vyhazovací systém je nejrozšířenější. Používá se všude, kde je to jen možné. Jeho konstrukce má různá provedení: [2]

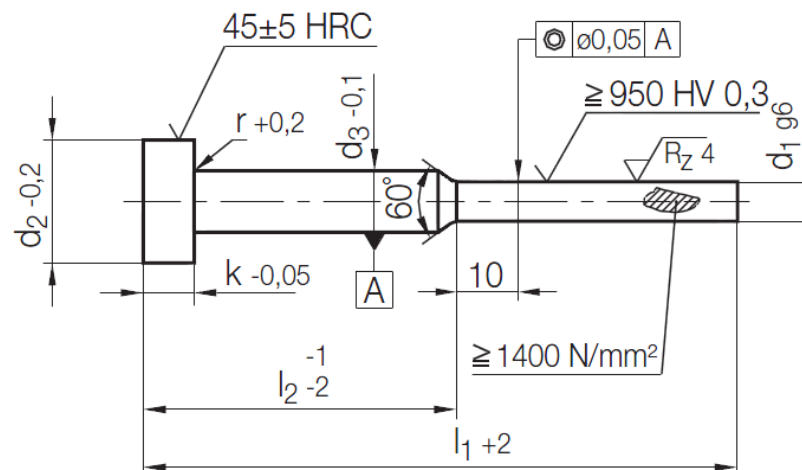
- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů,
- šikmé vyhazování,
- speciální vyhazování.

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Je to nejčastější a nejlevnější způsob vyhazování výstřiků. Lze jej použít tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Je výrobně jednoduchý a funkčně zaručený. Vyhazovací kolík by se měl opírat o nepohledovou stěnu nebo žebro výstřiku a nesmí ho při vyhazování bortit. [2]



Obr. 15. Válcový vyhazovací kolík [10]



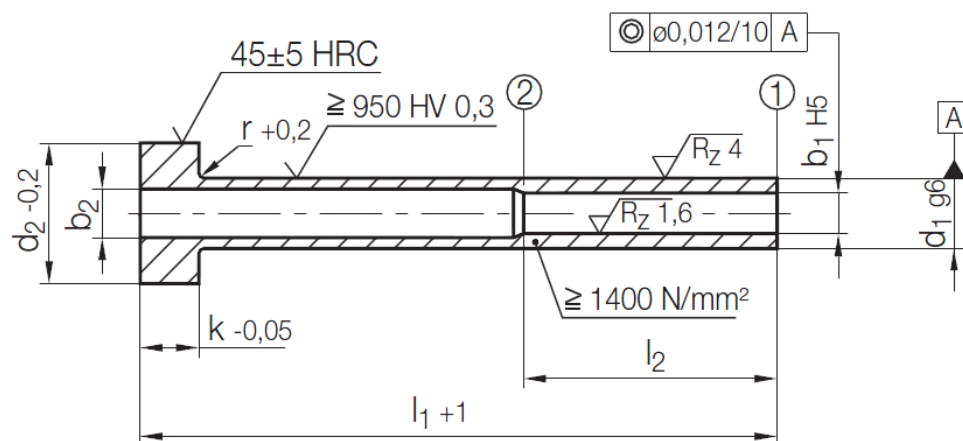
Obr. 16. Prizmatický vyhazovací kolík [10]

Vyhazování stírací deskou

Představuje stahování výstřiku z tvárniku po celém jeho obvodu. Díky velké styčné ploše nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen v případě, dosedá-li výstřik na stírací desku v rovině, nebo je plocha výstřiku mírně zakřivena. Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu. Působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou. Síla může být také vyvozena pomocí pružin, či hydraulickým nebo pneumatickým zařízením. [2]

Vyhazování trubkovým vyhazovačem

Funkce trubkového vyhazovače je speciálním případem stírání tlakem. Vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Zatím co vlastní vyhazovací kolík je upevněn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro vyhazovače. [2]



Obr. 17. Trubkový vyhazovač [10]

Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

Je speciálním případem mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou k ní uloženy pod úhlem. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Tím se odstraní použití náročných čelistových mechanismů. [2]

3.2.2 Pneumatické vyhazování

Tento systém je vhodný pro vyhazování slabostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které je nutné při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování větších výstřiků vyžaduje velký zdvih vyhazovacího systému, bez záruky dobré funkce. Stlačený vzduch se zavádí mezi výstřik a líc formy, a tím umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku. [2]

3.2.3 Hydraulické vyhazování

Používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. V dnešní době se s přímo zabudovanými hydraulickými jednotkami ve formě setkáváme méně. Hydraulická jednotka se vybírá z katalogů specializovaných výrobců pro každou aplikaci zvlášť. [2], [6]

3.3 Temperace forem

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního pole formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Toho lze dosáhnout ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části. Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyhození výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí polymeru. Při každém vstřiku se forma ohřívá, a proto je nutné odvést toto přebytečné teplo temperační soustavou, aby bylo možné vyrobít další výstřik při stejné teplotě. Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách, tudíž jsou tepelné ztráty formy větší, než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívát. Také před zahájením výroby se formy musí vyhřát na pracovní teplotu. [2], [6]

Úkolem temperace je: [2]

- Zajistit rovnoměrnou teplotu formy po celém povrchu její dutiny v závislosti na druhu zpracovávaného polymeru.

- Odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby měl celý vstřikovací cyklus ekonomickou délku.

Jestliže má forma dostatečnou hmotnost a správně řešený temperační systém, zvýší se její tepelná i rozměrová stabilita a sníží nebezpečí deformace, při vysokých vstřikovacích tlacích. Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. [2]

3.3.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů

- Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin, se volí s ohledem na celkové řešení formy.
- Vzdálenost kanálů od tvarové dutiny má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny dutiny.
- Je vhodné použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi než naopak.
- Kanály se rozmisťují rovnoměrně kolem dutiny formy a všude ve stejné vzdálenosti.
- V oblasti tlustší stěny výstřiku nebo jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přiblíží k dutině formy.
- Průřez kanálu se volí podle velikosti výstřiku, druhu polymeru a jeho způsobu zaformování. Nejběžnější průřez je kruhový.
- Průřez kanálu se nemá zbytečně zvětšovat, protože se intenzita výměny tepla zvýší jen nepatrně. [2]

3.4 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k hlavním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje. Nedostatečné odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku, nebo jeho nízkých mechanických vlastností. Někdy lze odvzdušnění zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné. Vzduch z dutiny formy stačí často uniknout dělicí rovinou, vůlí mezi pohyblivými částmi apod. V ostatních případech je nutné formu opatřit odvzdušňovacími kanálky, které musí účinně odvádět vzduch, ale zároveň nesmí docházet k zatékání polymeru. [2]

Neodvedený vzduch z dutiny formy, může vyvolat tyto technologické problémy: [3]

- nedostřiky - zamrznutí postupu čela taveniny,
- spálená místa na výstřiku vyvolaná tzv. Dieselovým efektem,
- tvorba bublin ve stěnách výstřiků s větší tloušťkou stěn,
- zvýšení nebezpečí výskytu studených spojů,
- vnesení vnitřního pnutí do výstřiků,
- zvýšení anizotropie vlastností výstřiků,
- nutnost zvýšení vstřikovacího tlaku,
- velké tlakové spády v dutině formy.

Problémy s odvodem vzduchu z tvarových dutin vstřikovacích forem je možné řešit již při jejich konstrukci, a to buď využitím znalostí a zkušeností příslušného konstruktéra nebo pomocí počítačových analýz plnění dutin formy (programy Cadmould, Mould Flow, Moldex 3D atd.). Pokud není ani jedna z možností k dispozici, přenáší se řešení problému do fáze zkoušení nové formy, kdy jeho řešení může být jednoduché nebo také velmi obtížné a nákladné. [3]

3.5 Materiály používané při výrobě forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při vstřikování se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Významný činitel pro splnění těchto požadavků je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené: [2]

- druhem vstřikovaného polymeru,
- přesností a jakostí výstřiku,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem.

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Přednost se dává materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitečných vlastností: [2]

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé).

Oceli jsou nejvýznačnějším druhem materiálů používaných na výrobu forem. Díky své pevnosti a mechanickým vlastnostem se dají jen obtížně nahradit. Ostatním materiálům je však také třeba věnovat pozornost. [2]

3.5.1 Požadované vlastnosti ocelí

Jednotlivé díly forem mají různou funkci. Proto vyžadují i specifickou volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Vlastnosti materiálu by měly odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. [2]

Od použitých materiálů se vyžaduje především: [2]

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobitelnost.

Materiál funkčních dílů má z hlediska technologie výroby výstřiků zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána: [2]

- dobrou leštitelností a obrusitelností,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- odolností proti korozi a chemickým vlivům polymerů,
- vyhovující kalitelností a prokalitelností,
- stálostí rozměrů a minimální deformacemi při kalení.

3.5.2 Používané druhy ocelí

Současně se pro výrobu forem používají následující skupiny ocelí: [2]

- oceli konstrukční k použití v přírodním i zušlechtěném stavu,
- oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování,
- oceli uhlíkové k zušlechtování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru,
- oceli k nitridování,
- oceli antikorozi, používané při zpracování plastů, které chemicky ovlivňují ocel,
- oceli martenziticky vytvrditelné s malou deformací při tepelném zpracování a velkou stálostí rozměrů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo:

- zpracovat literární studii na zadané téma
- provést 3D konstrukci vybraného plastového dílu
- navrhnout vstřikovací formu pro zadaný díl
- nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku

Teoretická část na základě prostudování dostupné literatury popisuje polymerní materiály, jejich rozdělení a složení, zabývá se teorií vstřikování a obecným popisem a konstrukcí formy.

V praktické části bylo cílem provést konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu a navrhnout vstřikovací formu pro zadaný díl za použití programu Catia V5R19 s využitím normálií HASCO. Dalším úkolem bylo nakreslení 2D řezu vstřikovací formou včetně výkresové dokumentace.

5 POUŽITÉ PROGRAMY

5.1 Catia V5R19

Pro konstrukci modelu, sestavy formy a tvorbu příslušných výkresů byl použit program Catia V5R19. Počítačový produkt CATIA vyvíjený francouzskou společností Dassault systemes je v současné době špičkou mezi softwary pro 3D počítačové konstruování v oblastech CAD/CAM/CAE. Tento systém umožňuje pokrýt kompletní životní cyklus výrobku, tzn. od koncepčního návrhu designu přes vlastní konstrukci, různé analýzy, simulace a optimalizace až po tvorbu dokumentace a NC programů pro vlastní výrobu. Systém se vyznačuje značnou úrovní průmyslové univerzality, tzn., že může být nasazen do zcela rozdílných oblastí strojírenství. Široké spektrum modulů, kterými Catia V5 disponuje, umožňuje vytvářet softwarové řešení sladěné s konkrétními podmínkami a požadavky uživatelů. Může to být např. automobilový či letecký průmysl, výroba spotřebního zboží a stejně tak i výroba obráběcích strojů nebo investičních celků těžkého strojírenství. Tento program je také díky modulu Mold Tooling Design a využití normálií HASCO velmi vhodný pro tvorbu vstříkovacích forem. [11]

5.2 Autodesk Simulation Moldflow

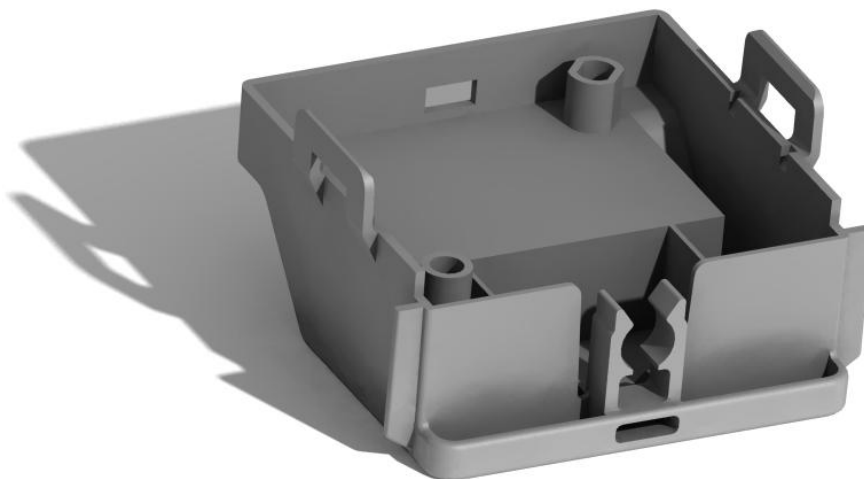
K analýze vhodného umístění vtoku byl použit program Autodesk Simulation Moldflow. Tento software poskytuje simulační nástroje pro navrhování plastových dílů, vstříkovací formy a postup vstříkování plastů, které umožňují předpokládat a ověřovat chování plastového dílu nebo formy ještě před zahájením výroby. [12]

6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je část krytu tonerové kazety. Výrobek byl zvětšen o smrštění, které odpovídá materiálu PS HI (0,4%) a také byly přidány úkosy pro snadné odformování. Hlavní rozměry výrobku jsou 66 x 66 x 29 mm a tloušťka stěny je 1,5 mm. Model byl vypracován v softwaru Catia V5R19.



Obr. 18. Fotografie výrobku



Obr. 19. Model výrobku

6.1 Materiál výstřiku

Materiálem výstřiku je houževnatý polystyren PS HI s velmi dobrou tekutostí taveniny - zpracovatelností. Je to termoplastický materiál, který se zpracovává vstřikováním. Materiál má formu čochkového granulátu o průměru 2,5 až 4 mm.

Vlastnosti a zpracování PS HI vybrané z materiálového listu:

Tab. 1. Mechanické vlastnosti

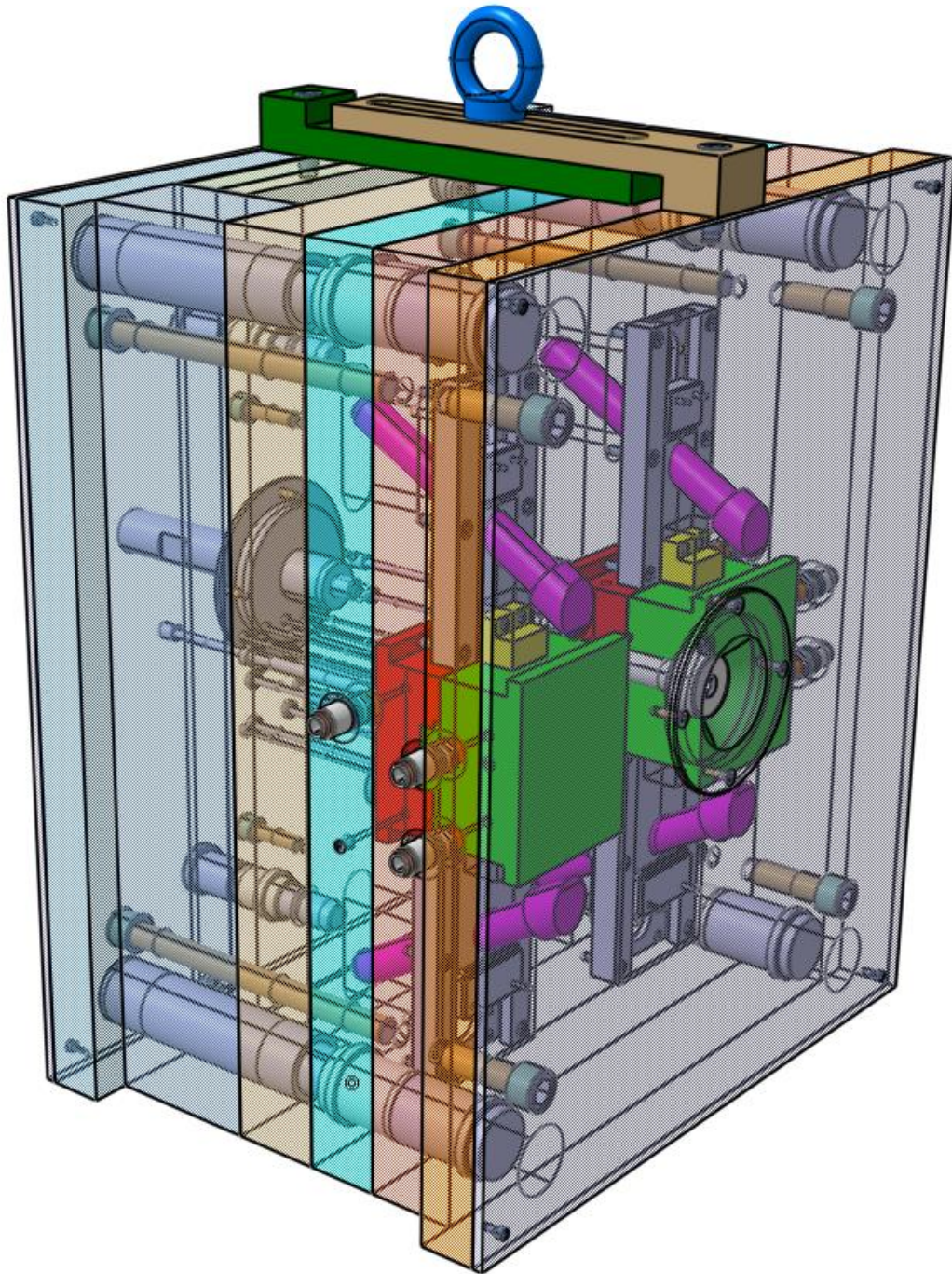
Modul pružnosti, 1. hlavní směr (E1)	2200 [Mpa]
Modul pružnosti, 2. hlavní směr (E2)	2200 [Mpa]
Poissonovo číslo (v12)	0.35
Poissonovo číslo (v23)	0.35
Modul pružnosti ve smyku	820 [Mpa]
Koeficient tepelné roztažnosti ve směru toku	0.0001 [1/°C]
Koeficient tepelné roztažnosti ve směru příčném na směr toku	0.0001 [1/°C]

Tab. 2. Doporučené zpracování

Teplota povrchu formy	40 [°C]
Teplota taveniny	220 [°C]
Rozsah teplot formy (doporučený)	
Minimum	10 [°C]
Maximum	60 [°C]
Rozsah teplot taveniny (doporučený)	
Minimum	180 [°C]
Maximum	260 [°C]
Absolutní maximum teploty taveniny	280 [°C]
Teplota vyhození	81 [°C]
Maximální smykové napětí	0.3 [Mpa]
Maximální smyková hodnota	40000 [1/s]

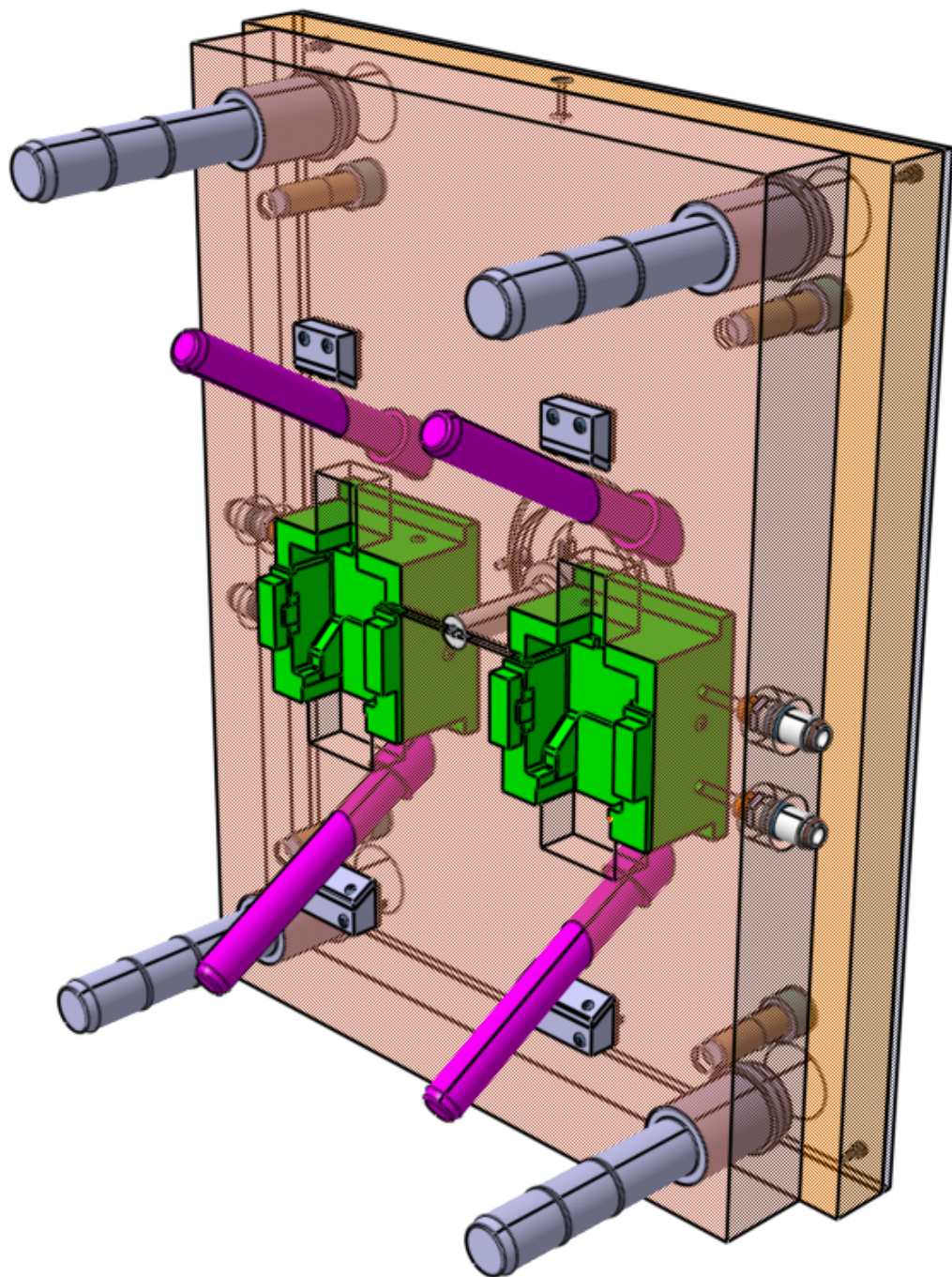
7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce formy by měla být co nejjednodušší a zároveň nejpřesnější s ohledem na tvarovou složitost výrobku. Při konstrukci vstřikovací formy bylo snahou využít co nejvíce normálií HASCO.



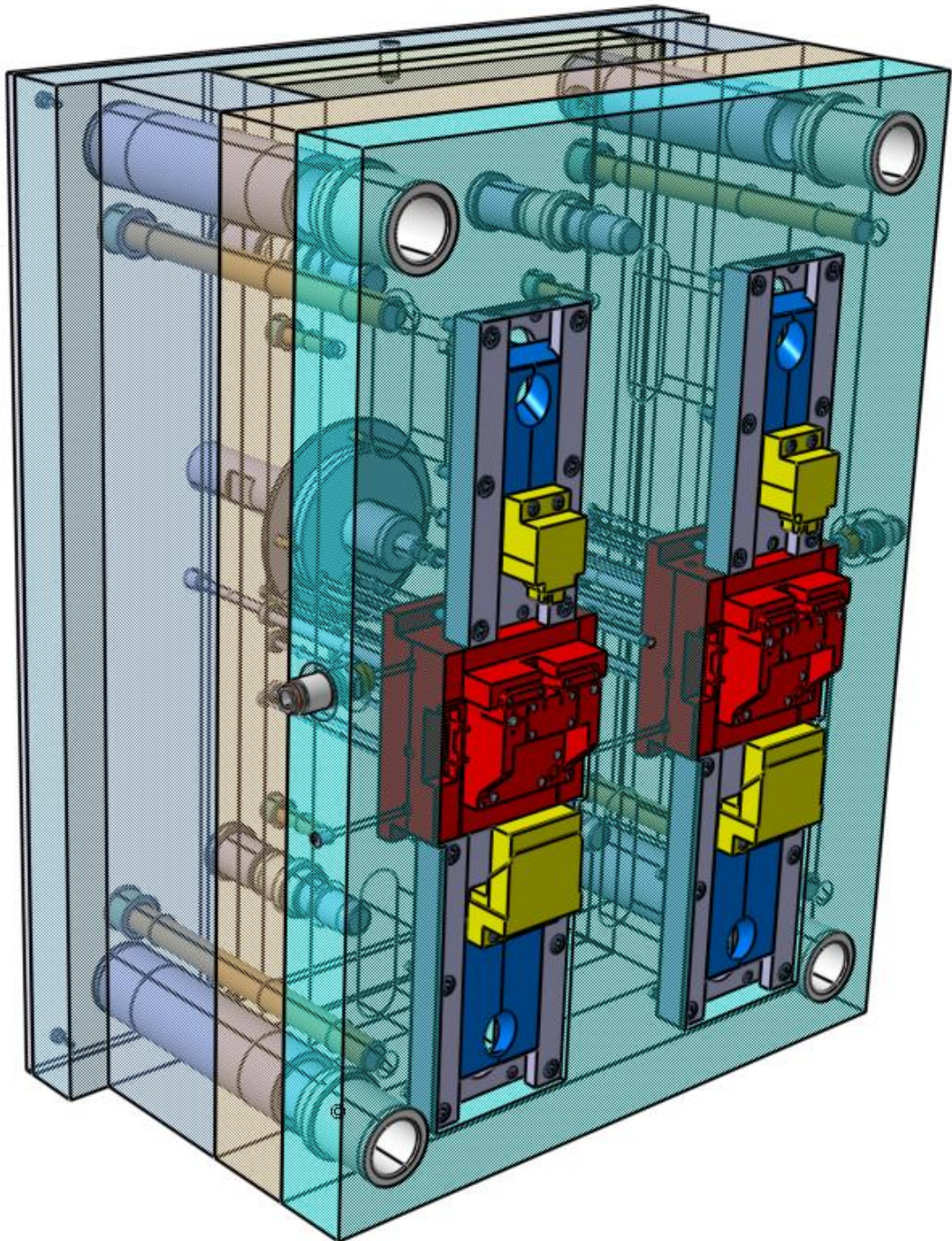
Obr. 20. Vstřikovací forma

Pravá strana vstřikovací formy se skládá z kotevní, upínací a izolační desky. V kotevní desce jsou umístěny tvárnice, vodící čepy a šikmé čepy, které slouží k odsunutí čelistí na levé straně formy. Uzavřenou polohu formy zajišťují zámky nacházející se nad šikmými čepy. Spojení mezi formou a plastikační jednotkou je vystředěno pomocí středícího kroužku a tavenina je dopravena do dutiny formy díky vtokové vložce. Desky jsou sešroubovány šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem.



Obr. 21. Pravá (vstřikovací) strana formy

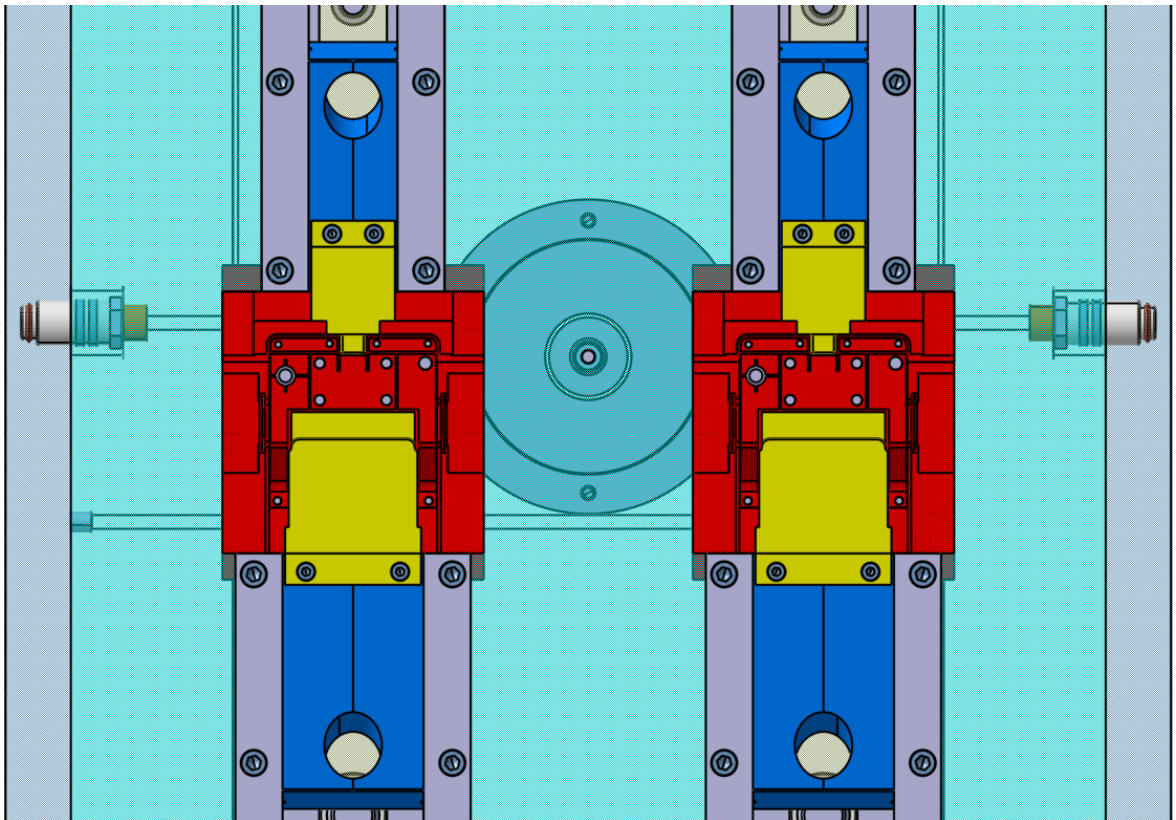
Levá část vstřikovací formy se skládá z kotevní, opěrné, upínací, izolační a dvou rozpěrných desek. Součástí levé strany je také vyhazovací systém. V kotevní desce jsou umístěny vodící pouzdra a tvárníky spolu s mechanismem bočních posuvných čelistí. Upínací deska obsahuje vodící čepy vyhazovacího systému, středící kroužek a jádra trubkových vyhazovačů. Desky jsou propojeny středícími trubkami a sešroubovány dlouhými šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem.



Obr. 22. Levá (vyhazovací) strana formy

7.1 Násobnost formy

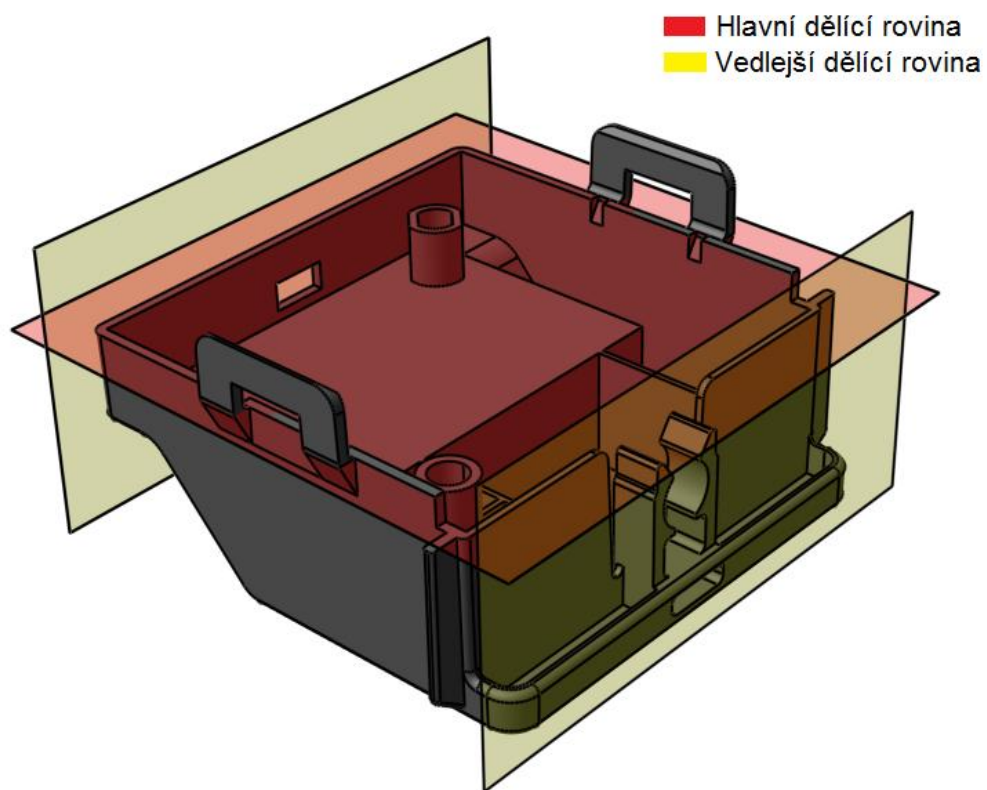
Násobnost formy závisí na charakteru a přesnosti výstřiku, požadovaném množství a kapacitě vstřikovacího stroje. Z hlediska kvality a přesnosti je vhodné volit co nejmenší násobnost, protože vysoká násobnost sebou přináší také vyšší nepřesnost a nižší kvalitu výstřiku. Pro daný případ byla zvolena dvojnásobná forma.



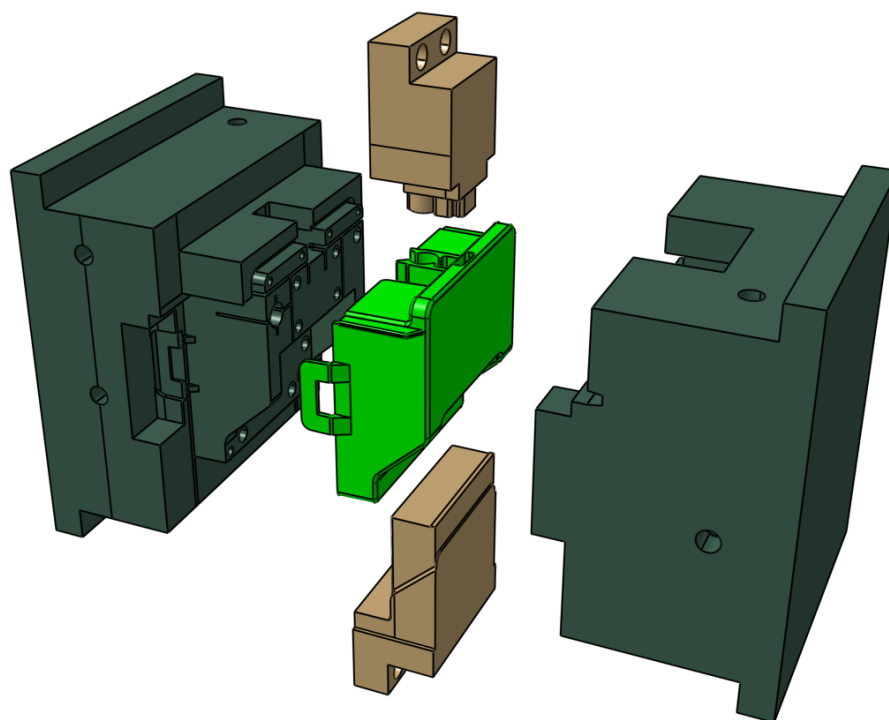
Obr. 23. Násobnost formy

7.2 Zaformování výstřiku

Výstřik je vzhledem k jeho geometrii zaformován pomocí více dělicích rovin. Hlavní dělicí rovina byla určena tak, aby výstřik zůstal po otevření formy na tvárníku a bylo možné jej snadno vyhodit. Vedlejší roviny jsou umístěny po stranách výstřiku, kde jsou umístěny boční posuvné čelisti, které zajišťují zaformování otvorů. Celkové zaformování výrobku můžeme vidět na obrázku č. 25.



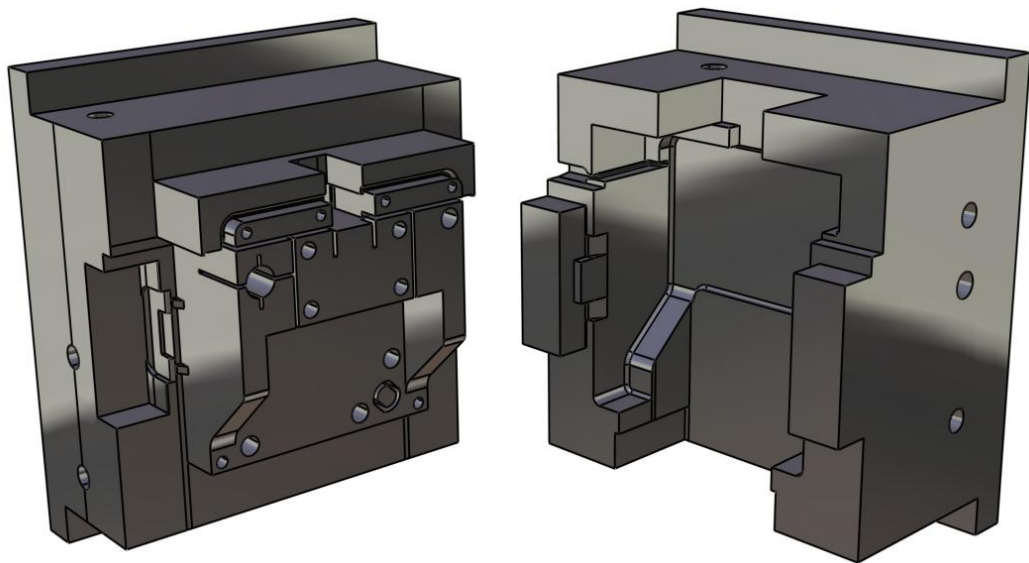
Obr. 24. Dělicí roviny



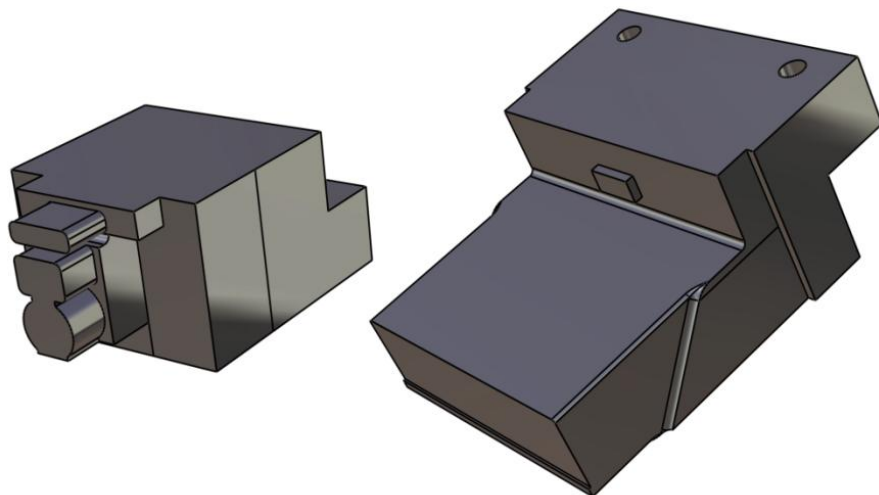
Obr. 25. Zaformování výstřiku

7.3 Tvarové části formy

Tvárník a tvárnice tvoří spolu s dvěma posuvnými čelistmi dutinu formy, která udává výsledný tvar výrobku. Dutina formy je zvětšená o hodnotu smrštění daného polymeru. V našem případě je to 0,4%. Tvárnice jsou umístěny v pravé části formy a tvárníky v levé části. Tvárník i tvárnice jsou vrtané z důvodu temperace a jejich poloha je zabezpečena tvarovým stykem. Boční posuvné čelisti se nachází na levé straně formy a formují tvarové části výstříku, které nelze jinak zaformovat.



Obr. 26. Tvárník a tvárnice



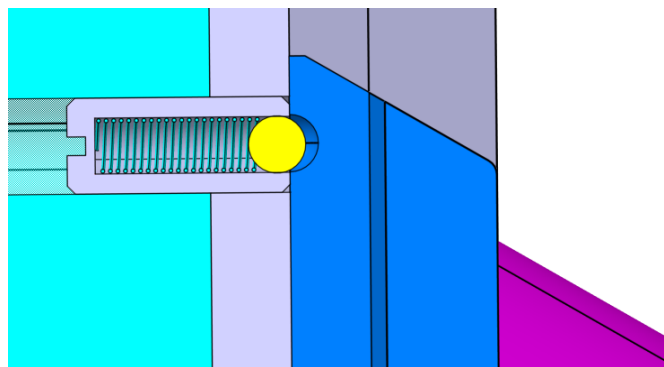
Obr. 27 Posuvné čelisti

7.4 Šikmé válcové kolíky

Pohyb posuvných čelistí při otevírání a zavírání formy umožňují šikmé válcové kolíky. Sklon šikmých válcových kolíků bývá 15 - 25°, výjimečně 30°. Pro tento případ byl použit sklon 30° z důvodu velkého zdvihu spodní posuvné čelisti. Pro správnou funkci mechanismu musí být zajištěna poloha posuvných čelistí. Otevřenou polohu posuvné čelisti zajišťuje kulička (Obr.29) a uzavřenou polohu zámek.



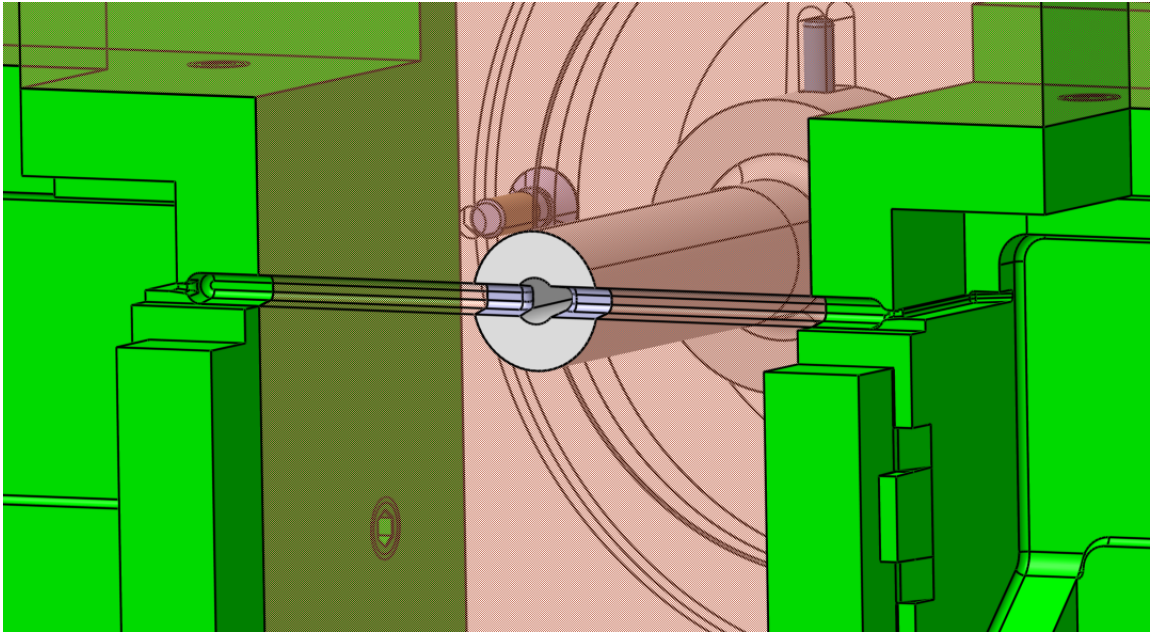
Obr. 28. Uzavřená a otevřená poloha formy



Obr. 29. Otevřená poloha formy zajištěná kuličkou

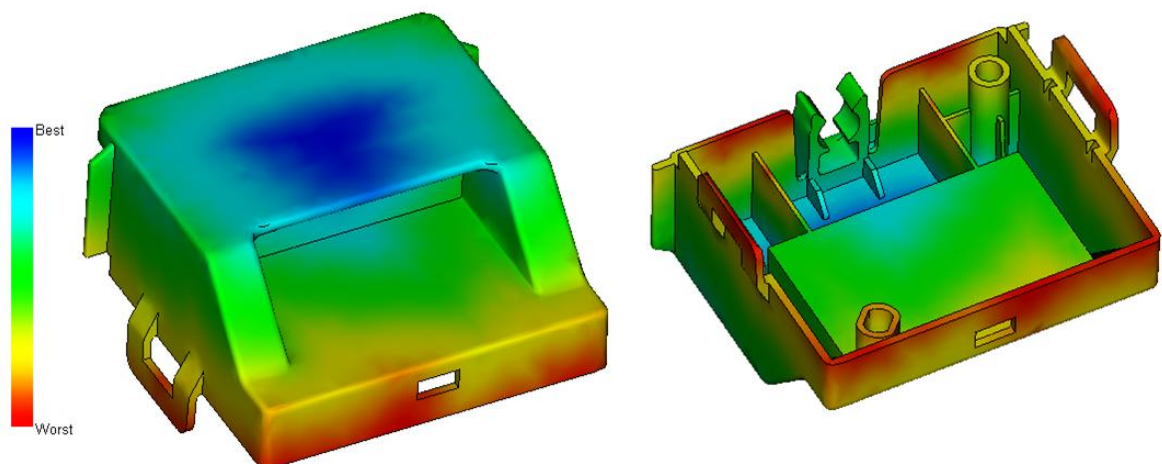
7.5 Vtokový systém

Byl použit studený vtokový systém, který umožňuje při vstřiku vedení proudu taveniny z plastikační jednotky do dutiny formy. Naplnění tvarových dutin musí proběhnout v co nejkratším čase s minimálním odporem. Průřez vtokových kanálů byl zvolen lichoběžníkový o šířce 4 mm a zaoblení R1.

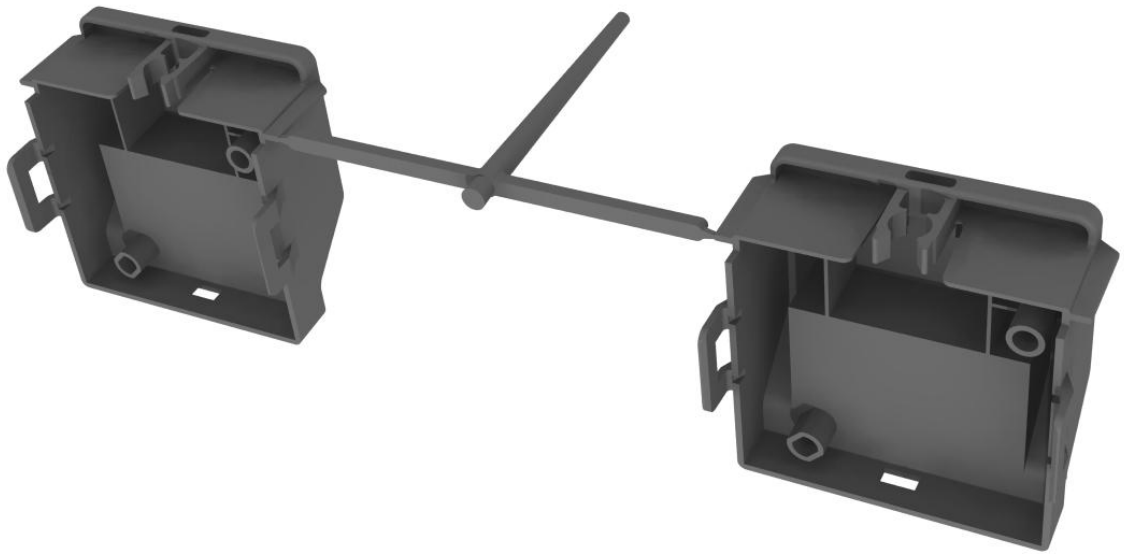


Obr. 30. Vtokový systém

Podle analýzy umístění vtoku je nejvhodnější místo pro vtokové ústí uprostřed výstřiku (modrá barva). Toto řešení však nebylo možné použít, jelikož forma je dvojnásobná a také se jedná o pohledovou část výrobku. Vtok byl proto umístěn do žebra na boční stěně výstřiku (žlutá barva).



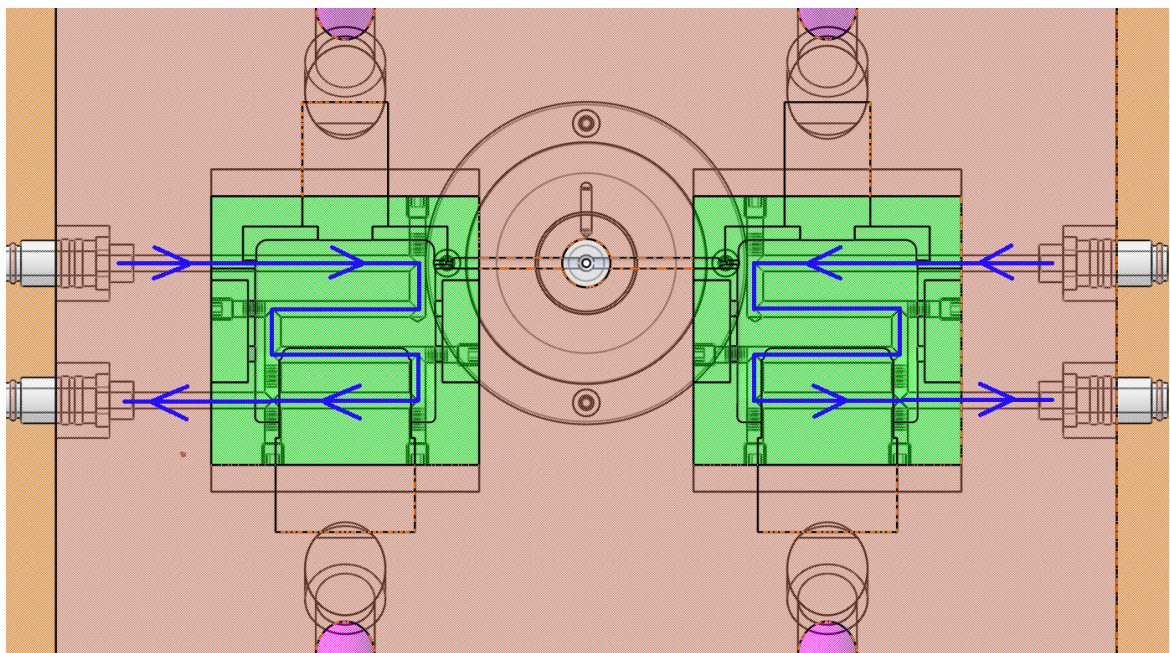
Obr. 31. Analýza umístění vtoku



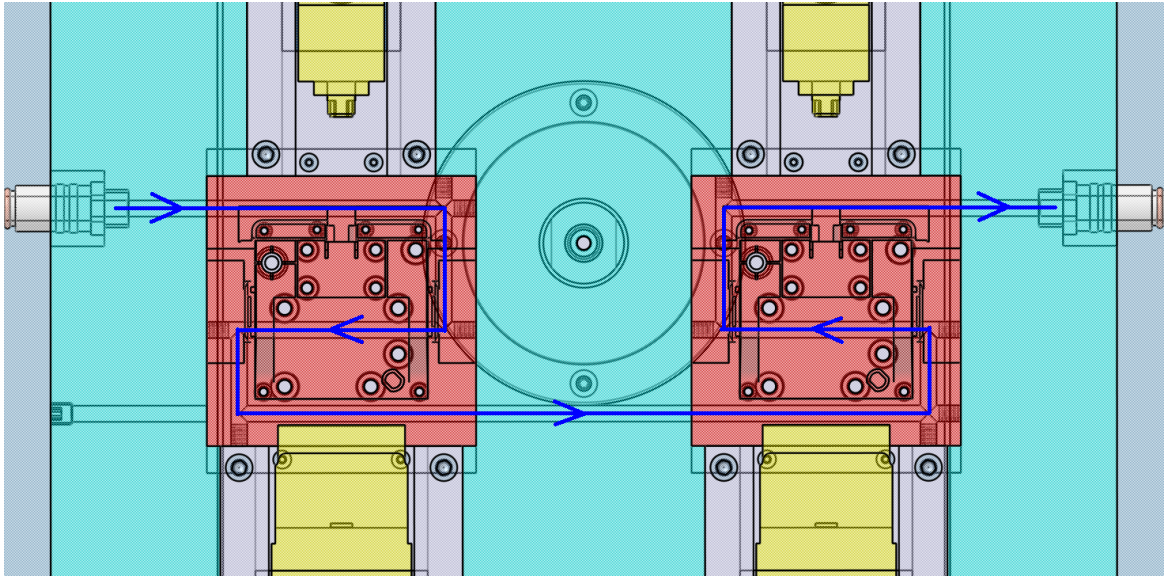
Obr. 32. Výstříky s vtokovým zbytkem po vyhození

7.6 Temperace vstřikovací formy

Temperaci umožňují vrtané kanály o průměru 6 mm na straně tvárnice i tvárníku. K vymezení dráhy toku temperačního média jsou kanály utěsněny ucpávkami tak, aby tvořili temperační okruh. Každá tvárnice má svůj samostatný okruh a tvárníky jsou temperovány jedním okruhem. Temperačním médiem je voda.



Obr. 33. Temperační okruhy tvárnice



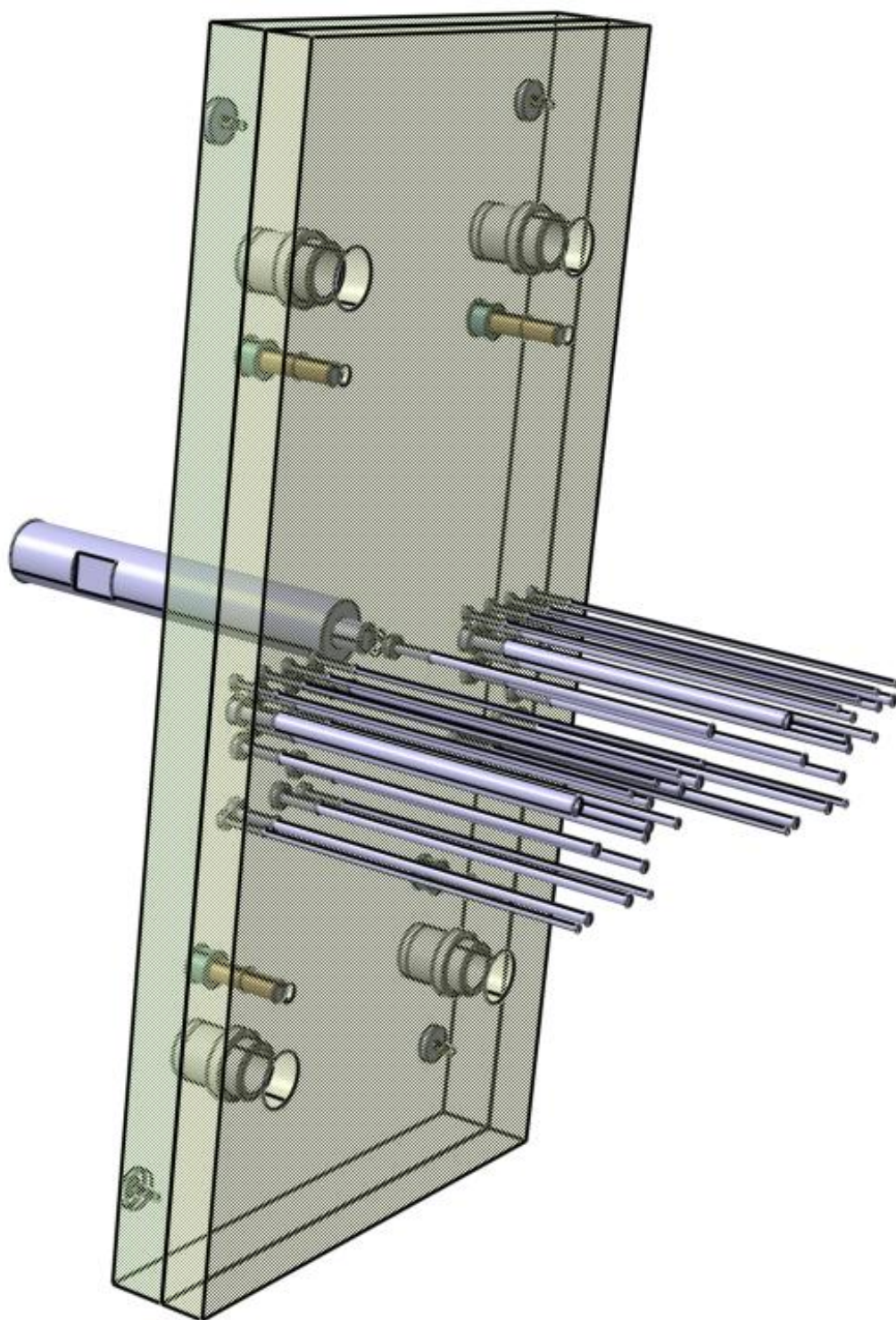
Obr. 34. Temperační okruh tvárníků

7.7 Vyhazovací systém

Pro správnou funkci vyhazovacího systému je nutné, aby výstřík zůstal na levé straně formy a bylo možné jej bezpečně vyhodit. K vyhození dochází po úplném otevření formy a dostatečném odsunutí bočních čelistí. Vyhození výstříku z formy je realizováno pomocí šestnácti válcových vyhazovacích kolíků a jednoho trubkového vyhazovače. Jeden válcový kolík tvoří přídržovač vtoku. Umístění, počet a velikost vyhazovačů je stejné jako na původním výrobku. Vyhazovače jsou dodávány v normovaných řadách a jejich délka je následně upravena na požadovaný rozměr. K bezpečnému vyhození výrobků postačí zdvih 35 mm.

Pro vyhození jednoho výstříku jsou použity tyto vyhazovače:

- válcový vyhazovač Z40/5x200 6 ks,
- válcový vyhazovač Z40/4x200 4 ks,
- válcový vyhazovač Z40/3x200 2 ks,
- válcový vyhazovač Z40/2.5x200 4 ks,
- trubkový vyhazovač 1 ks.



Obr. 35. Vyhazovací systém

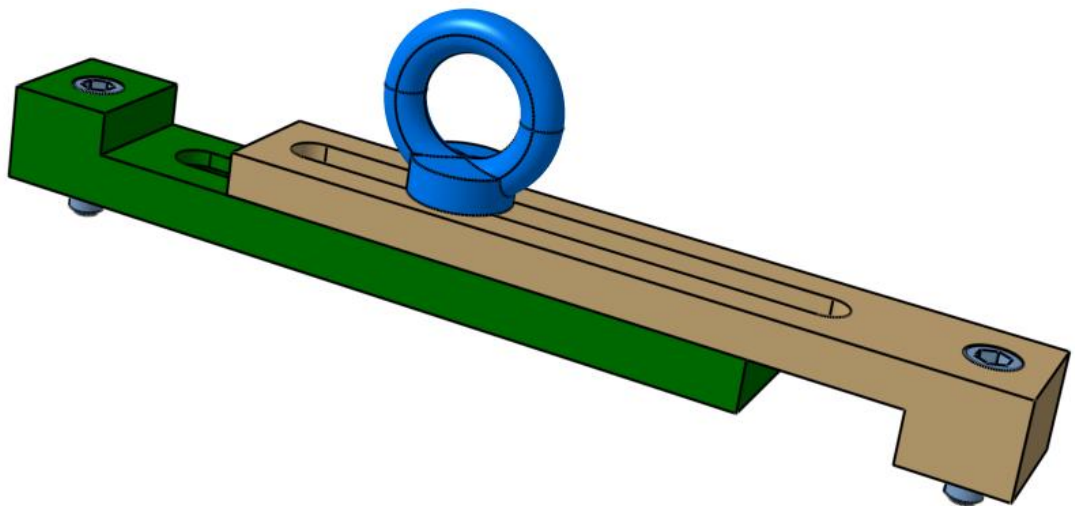
7.8 Odvzdušnění

Dutina formy je po uzavření naplněna vzduchem. Vzduch je při vstřikování stlačován a tím se zvyšuje jeho teplota. Pokud není zajištěn dostatečný odvod vzduchu a případných zplodin, mohou být na povrchu výstřiku spálená místa.

Pro tento případ se předpokládá, že vzduch stačí uniknout vůlemi v dělicích rovinách a kolem vyhazovačů. Pokud by toto odvzdušnění nebylo dostatečné, musely by se dodělat odvzdušňovací kanály.

7.9 Transportní zařízení

Pro snadnou manipulaci je forma vybavena nosičem se závěsným okem.



Obr. 36. Transportní zařízení

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční řešení vstřikovací formy pro plastovou část krytu tonerové kazety.

Materiálem výstřiku, stejně jako u originálního výrobku, je houževnatý polystyren PS HI s velmi dobrou tekutostí a zpracovatelností taveniny.

Pro konstrukci vstřikovaného výrobku i vstřikovací formy včetně výkresové dokumentace byl zvolen software Catia V5R19. Tento program je vhodný pro konstrukci vstřikovacích forem díky knihovně normalizovaných součástí HASCO, které byly při konstruování využity.

Koncepční návrh formy vycházel z geometrie výrobku, musel zde být použit systém posuvných bočních čelistí pomocí šikmých čepů, aby bylo možné snadné zaformování i odformování otvorů po stranách výstřiku. Násobnost formy byla zvolena dvojnásobná. Vyhození výstřiků je realizováno pomocí válcových a trubkových vyhazovačů. Jejich rozmístění bylo zachováno podle původního výrobku. Byl použit studený vtokový systém. Po analýze umístění vtoku byl vtok - s ohledem na dvojnásobnou konstrukci formy a protože se jednalo o pohledovou část výrobku, umístěn do žebra na boční stěně výstřiku. Forma byla opatřena temperací, která zajistí udržení konstantního teplotního pole, jako temperační médium postačí voda. Forma je vybavena transportním zařízením, které zaručuje snadnou manipulaci.

Jednotlivé konstrukční řešení je popsáno v příslušných kapitolách, součástí bakalářské práce je i výkresová dokumentace v samostatné příloze.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů I.díl - Vstřikování termoplastů*. 2. opravené vyd. Brno: Uniplast Brno, 1999. 134 s.
- [2] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů II.díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: Uniplast Brno, 1999. 214 s.
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [4] MÉZL, Milan. *Základy technológie vstrikovania plastov* Mapro spol.s.r.o., Olomouc: 2012. 301 s. ISBN 978-80-970749-7-5
- [5] LENFELD, Petr. *Technologie II. - Vstřikování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec. [cit. 2013-12-28]. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [6] STAŇEK, Michal. přednášky T5KF
- [7] MAŇAS, Miroslav. HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení. Gumárenské a plastikářské stroje II*. Vysoké učení technické v Brně, 1990. 199 s.
- [8] BEAUMONT, John P., NAGEL, Robert, SHERMAN, Robert. *Successful injection molding: process, desing, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9
- [9] ŠVORČÍK, Václav. *Polymery* [online]. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [cit. 2013-12-29]. Dostupný z WWW:
<http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [10] Firemní katalog normálií HASCO® 2013.
- [11] TECHNODAT, 2014. *CATIA 3D CAD software pro návrh výrobku*. [online]. TECHNODAT, CAE - systémy, s.r.o. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z WWW:
<http://www.technodat.cz/catia>
- [12] AUTODESKCLUB, 2014. *Autodesk Simulation Moldflow*. [online]. Autodesk s.r.o. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z WWW:
<http://www.autodeskclub.cz/produkt/30-autodesk-simulation-moldflow>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	Chemický prvek - hliník
CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CAE	Computer Aided Engineering - počítačem podporované konstruování
CAM	Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba
CATIA	Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application - Počítačově-graficky podporovaná tří rozměrná interaktivní aplikace
Cu	Chemický prvek - měď
HRC	Zkouška tvrdost podle Rockwella
HV	Zkouška tvrdosti podle Vickerse
IVS	Isolovaná vtoková soustava
Ks	Počet kusů
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
NC	Numerical Control - číslicové řízení
PP	Polypropylen
PS HI	Polystyren High Impact
PVC	Polyvinylchlorid
R	Radius
Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu
Rz	Největší výška profilu
SVS	Studený vtokový systém
UV	Ultrafialové záření (z anglického ultraviolet)
VVS	Vyhřívaná vtoková soustava

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Základní rozdělení polymerů</i>	12
<i>Obr. 2. Vstřikovací cyklus [6]</i>	17
<i>Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [5]</i>	18
<i>Obr. 4. Vstřikovací jednotka [4]</i>	19
<i>Obr. 5. Hydraulicko-mechanické uzavírání [7]</i>	20
<i>Obr. 6. Řez vstřikovací formou</i>	21
<i>Obr. 7. Příklad studeného vtoku</i>	22
<i>Obr. 8. Stejně dlouhá délka vtokových kanálů ke všem dutinám formy. [1]</i>	23
<i>Obr. 9. Průřezy vtokových kanálů [8]</i>	23
<i>Obr. 10. Odstupňovaný průřez vtoku [1]</i>	23
<i>Obr. 11. Základní typy vtokových ústí. [1]</i>	25
<i>Obr. 12. Vyhřívaná tryska [10]</i>	27
<i>Obr. 13. Různé typy ústí trysek [10]</i>	27
<i>Obr. 14. Vytápěný rozvodový blok [10]</i>	28
<i>Obr. 15. Válcový vyhadzovací kolík [10]</i>	29
<i>Obr. 16. Prizmatický vyhadzovací kolík [10]</i>	30
<i>Obr. 17. Trubkový vyhadzovač [10]</i>	30
<i>Obr. 18. Fotografie výrobku</i>	38
<i>Obr. 19. Model výrobku</i>	38
<i>Obr. 20. Vstřikovací forma</i>	40
<i>Obr. 21. Pravá (vstřikovací) strana formy</i>	41
<i>Obr. 22. Levá (vyhadzovací) strana formy</i>	42
<i>Obr. 23. Násobnost formy</i>	43
<i>Obr. 24. Dělicí roviny</i>	44
<i>Obr. 25. Zaformování výstřiku</i>	44
<i>Obr. 26. Tvárník a tvárnice</i>	45
<i>Obr. 27. Posuvné čelisti</i>	45
<i>Obr. 28. Uzavřená a otevřená poloha formy</i>	46
<i>Obr. 29. Otevřená poloha formy zajištěná kuličkou</i>	46
<i>Obr. 30. Vtokový systém</i>	47
<i>Obr. 31. Analýza umístění vtoku</i>	47
<i>Obr. 32. Výstřiky s vtokovým zbytkem po vyhození</i>	48

<i>Obr. 33. Temperační okruhy tvárnic</i>	48
<i>Obr. 34. Temperační okruh tvárnků</i>	49
<i>Obr. 35. Vyhazovací systém</i>	50
<i>Obr. 36. Transportní zařízení</i>	51

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Mechanické vlastnosti.....</i>	39
<i>Tab. 2. Doporučené zpracování.....</i>	39

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Sestava formy
- P II Pohled na levou a pravou stranu formy
- P III Kusovník
- P IV CD Disk