

Tvorba 3D modelu vstřikovací formy

Jan Vykydal

Bakalářská práce
2015

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Vykydal**
Osobní číslo: **T12095**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Tvorba 3D modelu vstřikovací formy**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární řešení na zadané téma**
- 2. Zkonstruujte vstřikovací formu dle zadaného výrobku**
- 3. Vytvořte výkresovou dokumentaci**
- 4. Vyhodnoťte vytvořené řešení**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. REES, H. **Mold engineering**
2. BEAUMONT, J. P., NAGEL, R. L., SHERMAN, R. **Successful injection molding: process, design, and simulation**
3. BOBČÍK, L. **Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 1 a 2**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Navrátil
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

22. května 2015

Ve Zlíně dne 9. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



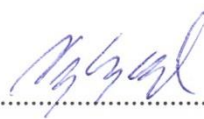

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

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 obhajoby ¹⁾;
- 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. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít 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 22.5.2015



.....

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 nevdělečně 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 vzdělávacího 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 dílo:

(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

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí 3D modelu vstřikovací formy pro vybraný plastový díl, kterým je podvozek modelu auta na dálkové ovládání.

V teoretické části je popsána technologie vstřikování, volba vhodného materiálu pro vstřikovaný výrobek, funkce vstřikovacího stroje, konstrukce forem a vstřikovaných výrobků.

Praktická část je zaměřena na řešení konstrukce formy. Pro tvorbu modelů a výkresové dokumentace je použit program Creo Parametric a normálie firmy Meusburger.

Klíčová slova: vstřikování, konstrukce, vstřikovací forma

ABSTRACT

This thesis deals with the design of 3D model of injection mold for the specified product, which is plastic chassis for radio-controlled car.

Theoretical part describes injection molding technology, choice of suitable material for the injection molded product, function of an injection molding machine, design of an injection mold and injection molded products. Practical part is focused on solving construction of the injection mold. For the modeling is used software Creo Parametric and standardized parts from Meusburger Company.

Keywords: Injection molding, Construction, Injection mold

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Navrátilovi za vedení, odborné rady a věnovaný čas v průběhu vypracování práce.

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

OBSAH

ÚVOD	5
I TEORETICKÁ ČÁST	6
1 PLASTY PRO VSTŘIKOVÁNÍ A JEJICH ROZDĚLENÍ	7
1.1 TERMOPLASTY	7
1.2 ÚPRAVA VLASTNOSTÍ TERMOPLASTŮ	9
1.3 REAKTOPLASTY.....	9
1.4 ELASTOMERY	9
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	10
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	10
3 VSTŘIKOVACÍ STROJ	11
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	11
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	12
3.3 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE	13
4 VÝSTŘIK A JEHO KONSTRUKCE	14
4.1 VLIVY NA JAKOST PLASTOVÝCH SOUČÁSTÍ	14
4.2 ROZMĚROVÁ A TVAROVÁ PŘESNOST SOUČÁSTÍ Z PLASTŮ	15
4.3 JAKOST POVRCHU SOUČÁSTÍ.....	16
4.4 KONSTRUKCE SOUČÁSTI.....	16
4.4.1 Tloušťka stěn.....	16
4.4.2 Žebra	17
4.4.3 Zaoblení rohů a hran	17
4.4.4 Konstrukce spojovacích sloupků.....	17
4.4.5 Úkosity a podkosity	18
4.4.6 Otvory a drážky.....	18
4.4.7 Rýhování	18
4.4.8 Závity	18
4.4.9 Zástřiky a zálisky	19
4.4.10 Nápis a značky	19
4.5 DODATEČNÁ ÚPRAVA SOUČÁSTÍ	19
4.5.1 Temperování	19
4.5.2 Kondicionování	19
4.5.3 Obrábění plastů	19
4.5.4 Natírání a lakování	19
4.6 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	20
4.6.1 Vady a základní příčiny:	20
5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	22
5.1 POSTUP PŘI NÁVRHU FORMY	22
5.1.1 Výkres výrobku.....	23
5.1.2 Násobnost formy	23
5.1.3 Volba vstřikovacího stroje	23
5.2 ZAFORMOVÁNÍ SOUČÁSTI.....	24
5.2.1 Dimenzování tvarové dutiny	24

5.3	V TOKOVÝ SYSTÉM	24
5.3.1	Studený vtokový systém	24
5.3.2	Vtoková ústí	26
5.3.3	Vyhřívané vtokové systémy	27
5.3.4	Vyhřívané trysky	27
5.3.5	Vyhřívané rozvodné bloky	28
5.4	TEMPEROVÁNÍ FOREM	29
5.4.1	Obecné zásady volby temperačních kanálů	29
5.5	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	30
5.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	30
5.6.1	Mechanické vyhazování	31
	Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků	31
	Vyhazování stírací deskou	32
	Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů	32
	Dvoustupňové vyhazování	33
5.6.2	Vzduchové vyhazování	33
5.6.3	Hydraulické vyhazování	33
5.7	RÁMY FOREM	33
5.8	MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO VÝROBU FOREM	34
6	ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST	36
7	STANOVENÍ CÍLŮ BAKLÁŘSKÉ PRÁCE	37
8	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	38
8.1	MATERIÁL VÝROBKU	39
8.2	NÁSOBNOST FORMY	39
8.3	VÝPOČTY PRO VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE	39
8.4	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	40
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	41
9.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	41
9.2	TVAROVÁ DUTINA FORMY	42
9.3	V TOKOVÝ SYSTÉM	43
9.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	43
9.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	44
9.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	46
9.7	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	46
10	DISKUZE VÝSLEDKŮ	49
	ZÁVĚR	50
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
	SEZNAM TABULEK	55
	SEZNAM PŘÍLOH	56

ÚVOD

Stále častěji se dnes setkáváme s nahrazováním konvenčních materiálů, jakými jsou dřevo a kovy za plastové. Nejčastějším typem používané technologie je beze sporu vstřikování. K největšímu rozvoji tohoto způsobu výroby došlo ve druhé polovině 20. století hlavně díky automobilovému a elektrotechnickému průmyslu.

Vývoj nových materiálů pro vstřikování se v posledních několika desetiletích výrazně zpomalil a nyní je novým trendem zkoumání polymerních směsí a kompozitů. V mnohých případech je základním kritériem pro výběr materiálu cena, ale při použití levných materiálů mohou vznikat komplikace při zpracování a výstupem by mohl být nekvalitní výrobek. Je tedy nutné vždy uvážlivě volit v poměru ceny a kvality materiálu.

Snaha o efektivní vývoj a výrobu výrobků z plastů přivádí výrobce k využití tzv. CAx počítačových programů. Koncepty výrobků, ale i nástrojů pro jejich zpracování jsou nejprve vymodelovány pomocí těchto programů a teprve po finální validaci vyrobeny. Při tvorbě modelů nástrojů pro zpracování plastů vstřikováním, neboli vstřikovacích forem, je možné pro usnadnění využít volně dostupných knihoven normalizovaných součástí od různých světových výrobců. Použití těchto normálí umožňuje snížení nákladů na následnou výrobu vstřikovací formy.

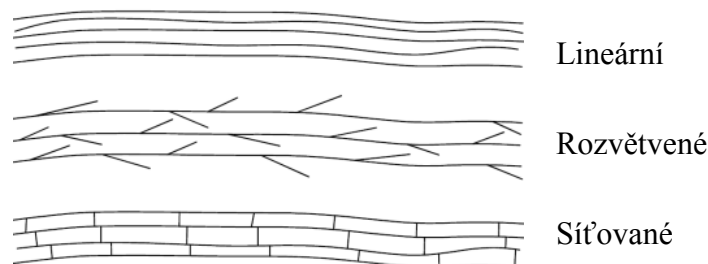
Vstřikovací forma je velmi složitý a nákladný nástroj, který zásadním způsobem ovlivňuje vzhled, vlastnosti a cenu výrobku. Je tedy důležité, v co největší možné míře, formu ve fázi tvorby modelů odladit a pomocí simulačních programů otestovat před zahájením vlastní výroby formy a následným provozem na vstřikovacím stroji.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PLASTY PRO VSTŘIKOVÁNÍ A JEJICH ROZDĚLENÍ

Složité tepelně-mechanický proces tváření plastů jakým je vstřikování vyžaduje součinnost faktorů, které ovlivňují výsledný vzhled a vlastnosti výrobku. Je to hlavně výchozí materiál a výrobní zařízení, kterým je vstřikovací stroj a v neposlední řadě vstřikovací forma jako tvářecí nástroj, který dává tavenině výsledný tvar součásti. [1]

Struktura polymerních materiálů je tvořena makromolekulárními řetězci vznikajícími spojováním jednoduché základní jednotky – meru. Makromolekulární řetězce mají různý tvar a podle toho se dělí na: [2]



Obr. 1 Rozdělení polymerů podle tvaru řetězců [5]

Chemické složení meru a délka řetězce neboli polymerační stupeň udávají základní vlastnosti polymerního materiálu. [2]

Polymery se podle chování při působení teploty dělí na: [5]

- Termoplasty
- Reaktoplasty
- Elastomery

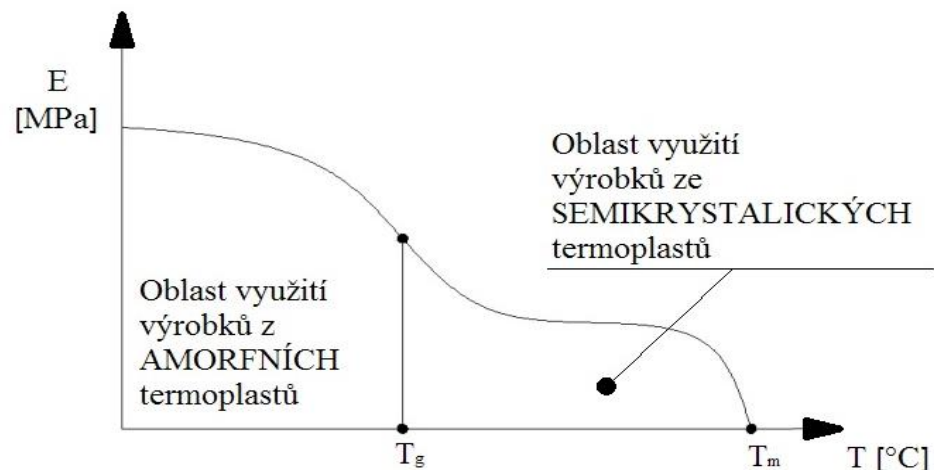
1.1 Termoplasty

Materiály, které je možné působením tepla a tlaku tvářet. Po opakovaném ohřevu je možné je opět převést do taveniny. Nejrozšířenější z jednotlivých skupin plastů jsou termoplasty s lineárními nebo rozvětvenými řetězci. Podle struktury se dělí na: [1]

- *Amorfni* – řetězce mají prostorově nepravidelně uspořádány. Výrobky z amorfních plastů jsou použitelné pod hranicí teploty skelného přechodu (T_g). Pod touto teplotou jsou termoplasty v pevném stavu. Se zvyšující se teplotou nad T_g oslabují kohezní síly mezi makromolekulami. Plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, při kterém se zpracovává. S nárůstem teploty současně roste i objem

polymeru. Amorfnní plasty jsou tvrdé, křehké, transparentní, mají vysokou pevnost a jsou dobře rozpustné v organických rozpouštědlech. Vyznačují se nízkou hodnotou smrštění a jsou tedy vhodné pro rozměrově přesné výstřiky (např. PS, PMMA, PC, SAN). [1]

- *Semikrystalické* – mají řetězce z velké části prostorově pravidelně a těsně uspořádané a tvoří krystalickou strukturu. Zbytek je amorfnní. U semikrystalických materiálů jsou silné mezimolekulární vazby a části makromolekul jsou uspořádány v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. K uvolnění sil dochází při zvyšování teploty. Nejdříve se uvolňují makromolekuly amorfnní fáze a poté se začne rozpadat pravidelná struktura krystalické fáze doprovázená velkým nárůstem objemu. Plasty tohoto typu jsou použitelné v oblasti nad T_g , kde mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti. Semikrystalické plasty jsou houževnaté, neprůhledné, jejich pevnost se zvyšuje s krystalinitou a v organických rozpouštědlech se rozpouštějí špatně nebo vůbec. Jejich vlastnosti jsou závislé na obsahu krystalického podílu, a proto je silně ovlivňuje fáze ochlazování. Významná je pro tyto polymery teplota T_m , kdy dochází k tání krystalického podílu. (např. PE, PP, PA, POM, PBT a další) [1,2]



Obr. 2 Oblasti využití výrobků z amorfnních a semikrystalických plastů [1]

1.2 Úprava vlastností termoplastů

Přidáním nejrůznějších přísad je možné měnit základní vlastnosti polymerů dle požadavků na výsledný výrobek. Jako přísady se používají: [1,2]

- Vlákenná plniva – vyztužují materiál a zvyšují tak jeho pevnost (skelná vlákna)
- Prášková plniva – zvyšují tuhost, tvrdost a tepelnou odolnost výstřiků (grafit, mas-tek)
- Změkčovadla – pro získání měkkosti a ohebnosti
- Barviva
- Stabilizátory – působí jako ochrana před vnějšími vlivy (teplota, UV záření, apod.)
- Nadouvadla – k tvorbě lehčené struktury
- Opticky zjasňující látky
- Maziva – umožňují snadnější zpracování polymerů
- Separační činidla – látky usnadňující vyjímání výrobků z forem

1.3 Reaktoplasty

Tyto materiály lze tvářet působením tepla pouze po omezenou dobu. Dalším zahříváním dochází k zesíťování neboli vytvrzování plastu. Pomocí chemických vazeb je vytvořena trojrozměrná prostorová síť. Vytvrzené reaktoplasty nelze znovu rozpustit nebo roztavit. Při ohřevu takového plastu dojde pouze k rozkladu hmoty. [5]

1.4 Elastomery

Elastomery jsou poddajné materiály, u kterých převažuje viskoelastické chování v širokém rozsahu teplot. Zesíťování u nich probíhá během vulkanizace, kdy se změní na pryž a po dokončení chemické reakce je nelze nadále tvářet. Dalším ohřevem elastomery pouze degradují a další zpracování kromě recyklace je zbytečné. [1]

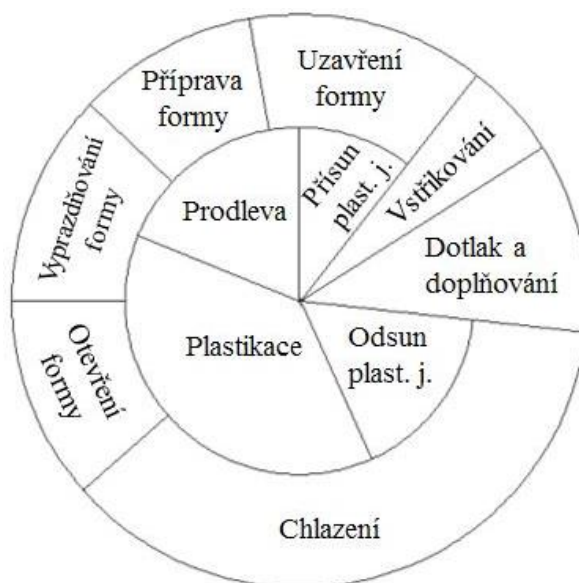
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejběžnějším způsobem zpracování termoplastů. Poměrně složitý fyzikální proces, na kterém se podílí polymer a vstřikovací forma probíhá na vstřikovacím stroji. Během vstřikování je roztavený plast ve vstřikovacím stroji tlakem dopravován do uzavřené dutiny formy, tam je ochlazen na požadovaný tvar. Po ztuhnutí a otevření formy je hotový výrobek vyhozen. [1]

Volba vhodného typu plastu i jeho kvalita mají zásadní vliv na konečný výrobek. Dobře zvolený materiál je však nutné doplnit vhodnými procesními podmínkami a technologickými postupy, které je potřeba dobře znát a během výroby striktně dodržovat. [1]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus začíná přípravou plastového materiálu ve vstřikovací (plastikační) jednotce vstřikovacího stroje. Po uzavření formy dojde k přisunutí vstřikovací jednotky ke vstřikovací formě. Rztavený materiál požadované teploty je nastaveným tlakem a určitou rychlostí vstříknut do dutiny formy. Vstřikování pokračuje následným dotlakem do doby „zamrznutí“ vtoku. Po skončení dotlaku se vstřikovací jednotka vrátí do původní pozice a současně začíná plastikace další dávky plastu. Po zchladnutí výstřiku na tzv. vyhazovací teplotu se forma otevře a výstřik je vyhozen. Dalším krokem cyklu je případné čištění a příprava formy pro opětovné započítí nového cyklu. [1,5]



Obr. 3 Vstřikovací cyklus [3]

3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj velkou měrou ovlivňuje kvalitu výsledného výrobku. Pro kvalitní a opakovatelné výrobky je důležitá robustní a stabilní konstrukce, přesná a precizní uzavírací jednotka, dobře nastavitelná vstřikovací jednotka, ale také snadno ovladatelný, přehledný a dostatečně přesný řídicí systém pro dokonalé nastavení a sledování celého cyklu vstřikovacího stroje. Stroje různých výrobců se liší konstrukcí, kvalitou provedení, jednoduchostí ovládání, rychlostí výroby, reprodukovatelností parametrů a cenou. [1]



Obr. 4 Vstřikovací stroj Zhafir série Venus II [6]

Zvláštní výbavou strojů může být jeřáb pro manipulaci s formami, vyhřívaná násypka nebo robot pro manipulaci s výstřiky po otevření formy. Stroje jsou finančně velmi nákladná zařízení, ale díky různým modulárním úpravám je možné stroj dodávat přesně podle požadavků zákazníků. [1,4]

3.1 Vstřikovací jednotka

Důležitou součástí vstřikovacího stroje je vstřikovací jednotka, která plní dva hlavní úkoly. Prvním je dokonalé a rovnoměrné roztavení polymeru a promíchání s přísadami přesně podle požadovaných technologických parametrů. Druhým je doprava připraveného materiálu do dutiny formy. Množství připravovaného materiálu musí být menší, než je kapacita vstřikovacího stroje. Zbývající rezerva materiálu je pro potřeby doplnění úbytku materiálu při chlazení. Optimální množství je 80 % kapacity jednotky. Maximální množství by nemělo překročit 90 %. Příliš malé vstřikované množství polymeru zase může znamenat delší setrvání ve vstřikovací jednotce a následná degradace plastu. [1,5]

Vstřikovací jednotky moderních strojů mohou být dvou základních konstrukcí: [5]

- Vstřikovací jednotka kombinovaná s plastikačním šnekem (Obr. 5 vlevo)
- Oddělená vstřikovací jednotka a plastikační jednotka (Obr. 5 vpravo)



Obr. 5 Vstřikovací jednotky strojů Zhafir série Zeres a Mercury[6]

Každá konstrukce má své výhody a nevýhody. Výhodou kombinované jednotky je jednodušší provedení a tím i cena. Ovšem nevýhodou je velká časová náročnost pro přípravu většího množství taveniny při vstřikování objemnějších výrobků. Plastikace probíhá pouze před vstříknutím taveniny do formy. Naproti tomu u oddělené plastikační jednotky může plastikace probíhat i během vstřikování předešlé dávky taveniny, to může být výhodnější při výrobě menších součástí s krátkým vstřikovacím cyklem. [7]

Vyhřívání jednotek je rozděleno do tří pásem vstupní, střední pásmo a vyhřívání trysky.

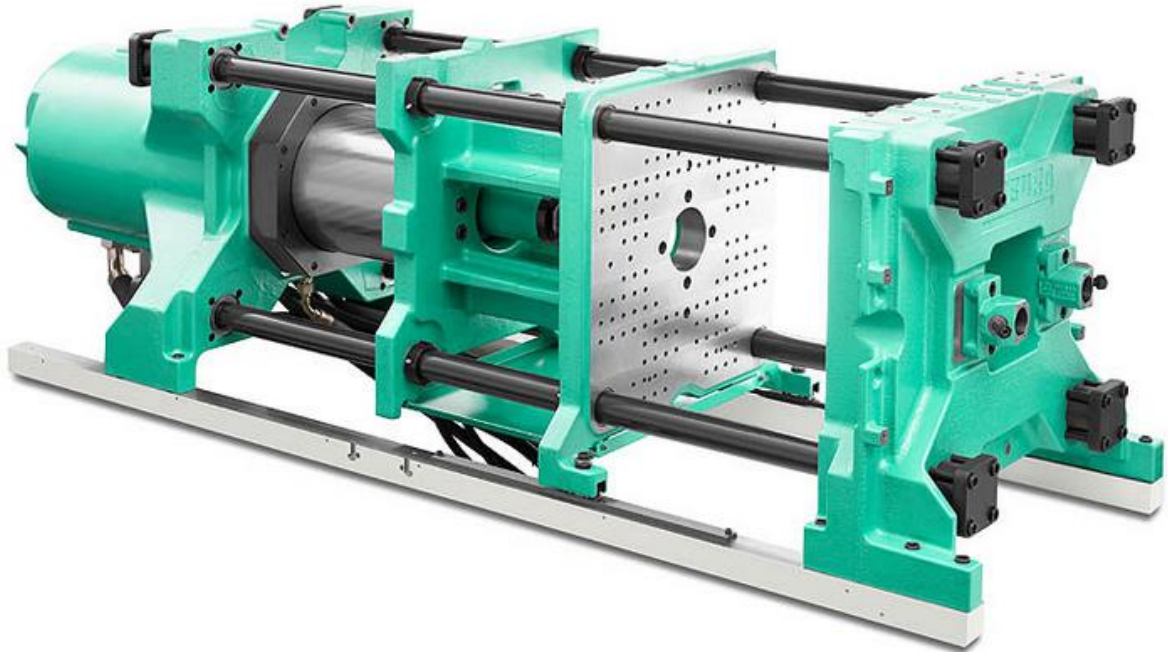
Příliš dlouhá doba zpracování plastu v plastikační jednotce může, u citlivějších materiálů, způsobit jeho degradaci a tím zapříčinit nekvalitní výrobek. [5]

3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka nese vlastní vstřikovací formu, zajišťuje potřebné otevření a uzavření formy a její případné vyprázdnění. Musí vyvodit potřebnou uzavírací a přidržovací sílu, aby nedocházelo k nežádoucím jevům, jako jsou přetoky nebo nedovolené pootevření formy během vstřikování. Moderní stroje umožňují pohodlně programovat uzavírací sílu i rychlost uzavírání forem. [1,8]

Přesnost a nastavitelnost uzavírací jednotky je jedním z hlavních ukazatelů kvality vstřikovacího stroje. Uzavírací jednotka je tvořena opěrnou deskou spojenou s ložem stroje, pohyblivou deskou pro upnutí pohyblivé části formy, která je vedena vodícími sloupky, upínací deskou s otvorem pro vstřikovací trysku, kde je upnuta pevná část formy a uzavírací-

ho a přidržovacího mechanismu. Uzavírací mechanismus může být hydraulický, mechanický nebo kombinace hydraulického a mechanického uzavírání. V poslední době se také stále více rozšiřují stroje s elektrickými systémy. [1,5]



Obr. 6 Hydraulická uzavírací jednotka Arburg [9]

3.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Kvalitní ovládací a řídicí systém musí zajistit stálou reprodukovatelnost technologických parametrů a zajistit tak stabilitu celého procesu. Kolísání těchto parametrů má za následek nepřesné a nekvalitní výrobky. [1]

Řídicí systémy dnes využívají multiprocessorové uspořádání, to znamená, že pro řízení určitých funkčních skupin je použito samostatného procesoru. Pro grafické zobrazení průběhu vstřikování a nastavení vstupních parametrů je použita většinou dotyková obrazovka. [1,8]

Moderní řídicí systémy umožňují nastavení a regulaci potřebných sil, tlaků, velikosti zdvihů, rychlostí, časů a také teplot. Mimo regulaci parametrů umožňují také sledování a kontrolu skutečných hodnot a záznam těchto parametrů. Kromě sledování vlastního stroje je možné také ovládání, sledování a nastavení různých periferních zařízení například pro dopravu materiálu ke stroji, sušící zařízení, temperační zařízení nebo různé manipulační techniky. [8]

4 VÝSTŘÍK A JEHO KONSTRUKCE

Konstrukce vstřikovaného výrobku vyžaduje dodržování jistých zásad. Konstruktor dílu musí ovládat technologii výroby, aby mohl zohlednit všechny pochody při vstřikování dílu. Konstruktor by měl také dodržovat určité meze konstrukčních tvarů, aby nevznikaly problémy při výrobě a následném používání výrobku. Všeobecným pravidlem je pokud možno co nejjednodušší součást, která má nejvýhodnější pevnostní podmínky, snadněji se u takové součásti dodržují rozměry a jednodušší výroba formy i výstřiku znamená nižší celkové náklady. [1]

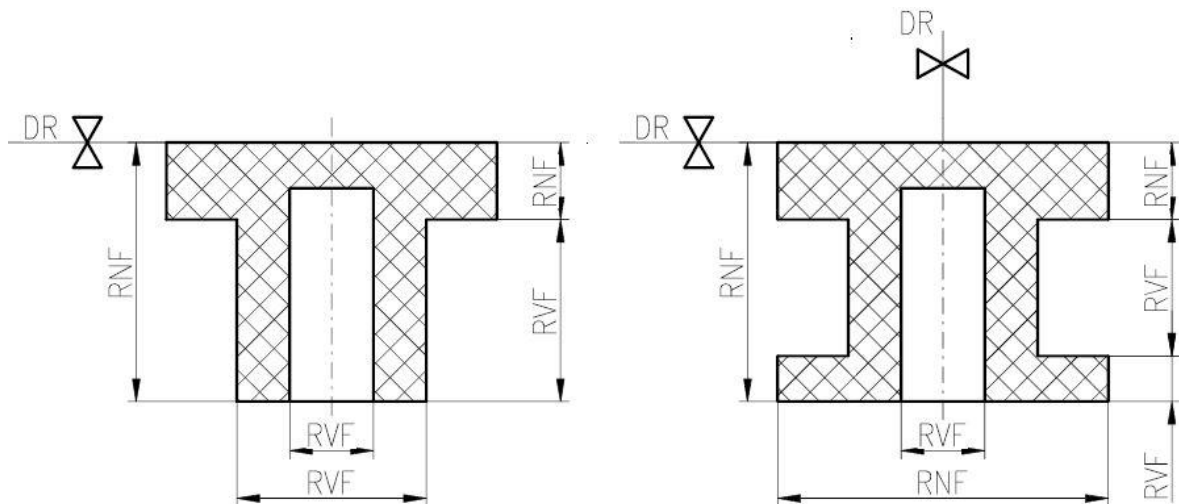
4.1 Vlivy na jakost plastových součástí

Přesnost, jakost povrchu a užité vlastnosti součásti ovlivňuje řada faktorů, která neumožňuje výrobu plastových součástí ve stejné jakosti jako kovové výrobky. Je však velmi obtížné určit velikost vlivu jednotlivých činitelů, protože se liší s druhem plastu, tvarem součásti nebo i při rozdílných zpracovatelských podmínkách. Hlavními činiteli ovlivňujícími jakost součásti jsou: [1]

- Výrobní smrštění – Při tuhnutí součástí dochází k objemovým změnám součástí – smrštění, které je pro určitý materiál dáno v jistém rozpětí a velmi záleží na druhu plastu, tvaru součásti a technologii výroby. Smrštění ovlivňuje hlavně přesnost výstřiku. Probíhá převážně do 24 h od vyhození výrobku z formy. [1,2]
- Dodatečné smrštění – bývá podstatně menší než předchozí a jeho příčinou je hlavně relaxace vnitřních pnutí výrobku vzniklých při vstřikování. Může probíhat týdny až měsíce od vyrobení součásti.
- Tečení (creep) – vzniká působením dlouhodobějšího zatížení součásti. Součást se plasticky deformuje. Amorfny plasty jsou méně plasticky deformovány než plasty semikrystalické.
- Teplotní roztažnost – je přibližně o jeden řád vyšší než u kovových materiálů, ale jedná se o vratnou změnu
- Navlhavost a nasákavost plastu – podle množství přijaté vody z okolního prostředí se mění hmotnost a rozměry součásti. Po vysušení se hodnoty opět zmenší. [1]

4.2 Rozměrová a tvarová přesnost součástí z plastů

Pro plasty platí tolerance předepsané normou ČSN 64 0006. Rozměry součástí jsou závislé především na její funkci, ale nemají se zbytečně upřesňovat z důvodu rychle se zvyšujících nákladů na dodržení rozměrů. Na výkresech výtříků se předepisují tolerance ve třídách přesnosti dle ČSN EN 20 286 – Soustava tolerancí a uložení ISO. Potřebné tolerance rozměrů se také určují podle rozměrů vázaných nebo nevázaných formou. [1,2]



DR-dělicí rovina, RVF-rozměry vázané formou, RNF-rozměry nevázané formou

Obr. 7 Rozměry vázané a nevázané formou [1]

Obecně dosažitelná přesnost: [2]

- IT 10 až IT 12 – pro amorfnní termoplasty (např. PS, ABS, PC, SAN, PVC)
- IT 11 až IT 13 – pro semikrystalické termoplasty (např., PP, PA, POM, PET)
- IT 14 až IT 16 – pro tzv. měkké termoplasty (např. LD-PE, EVA, měkkčené PVC)

Zvýšená přesnost (nižší stupeň IT 9 až IT 8) je vždy předmětem dohody s odběratelem a platí, že ji lze dosáhnout především u menších součástí a obvykle z jednonásobných forem. Lépe dosažitelné výsledky jsou při použití moderních a kvalitních vstřikovacích strojů s elektrickým pohonem. Při kontrole tolerancí je nutné brát v úvahu všechny nepřesnosti (technologické, metrologické a konstrukční tolerance) a také nepřesnosti způsobené vlivem skladování (doba, relativní vlhkost, teplota, balení, způsob uložení). [2]

4.3 Jakost povrchu součástí

Na první pohled nejvíce viditelným znakem součástí je její povrch. Z hlediska estetického a mnohdy i funkčního je hodnocen dezén součástí, barevnost, lesk, průhlednost, apod. Kvalita úpravy povrchu dutiny formy potom odráží jakost povrchu součástí. [1]

- *Matný povrch* – ekonomicky výhodný, nejjednodušeji vyrobitelný a zakrývá drobné nedostatky při vstřikování (studené spoje, stopy po vtoku apod.).
- *Lesklý povrch* – naopak nejvíce nákladný a výrobně náročný povrch, který nedostatky spíše zvýrazňuje. Některé druhy plastu dokonce neumožňují dosáhnout lesklého povrchu.
- *Dezénovaný povrch* – často používaná úprava povrchu z důvodu zvýraznění některých oblastí, vytvoření neklouzavého povrchu pro manipulaci, apod. Omezení zhotovení dezénu se týká pouze vyrobitelností povrchu v dutině formy. Při použití dezénu na bočních stěnách je nutné použití většího úkosu stěn kvůli vyjímání součástí z formy.
- *Barevný povrch* – zásadně ovlivňuje vzhled součástí. Je dán buď barevnou vlastností materiálu (přidáním barevných pigmentů, opticky zjasňujících prostředků, apod.), nebo je možné přistoupit k barevné úpravě povrchu např. lakováním. [1]

4.4 Konstrukce součástí

Výkres součástí musí splňovat funkční i ekonomická hlediska výroby. Pravidla pro konstrukci součástí z plastů a směrnice pro zaformování se řídí podle norem ČSN 64 0008 a ČSN 64 0031. [1]

Zásadními otázkami, kterými se musí konstruktér při návrhu součástí zabývat, jsou úkosy, tloušťky stěn výlisku, tvar a tloušťka žeber, zaoblení apod. [1]

4.4.1 Tloušťka stěn

Tloušťku stěny je nutné dodržovat stejnoměrnou na celém modelu. Nerovnoměrná tloušťka stěn může ve výsledku způsobit vznik vnitřních vad, jako jsou bubliny a lunkry, propady povrchu, nepředvídaná smrštění a nakonec také nežádoucí prodloužení cyklu. Potřebnou změnu tloušťky je tedy třeba provádět plynulými a pozvolnými přechody tak, aby byl umožněn rovnoměrný průtok materiálu. [10]

4.4.2 Žebra

Konstrukce žeber v součásti podporuje hlavně pevnost součásti a neměla by být upravována z hlediska estetiky součásti. Technická žebra jsou navržena pro zvýšení tuhosti a pevnosti. Technologická žebra zlepšují plnění dutiny formy a brání borcení stěn, případně odstraňují předpokládané povrchové vady. [1,10]

Nejobvyklejší konstrukční zásady jsou: [10]

- Tloušťka žeber by měla být v rozsahu 60 – 80 % tloušťky hlavní stěny
- Maximální výška žeber nemá přesahovat trojnásobek tloušťky hlavní stěny
- Pro zvýšení pevnosti je lepší zvýšit počet žeber a ne jejich výšku
- Minimální vzdálenost mezi žebry volit jako dvojnásobek tloušťky hlavní stěny
- Poloměr zaoblení hran žeber navrhovat maximálně 50 % tloušťky žebra
- Nepoužívat příliš tlustá žebra
- Křížení žeber poskytuje největší stabilitu a rovnoměrné rozložení napětí

4.4.3 Zaoblení rohů a hran

Z důvodu co největšího možného snížení vnitřních napětí je dobré zvolit vhodné zaoblení všech ostrých rohů. Zaoblení také přispívá k lepšímu tečení materiálu. Všeobecně je doporučováno pravidlo pro dodržování minimálního zaoblení vnitřního rohu poloměrem rovným 50% tloušťky stěny a vnějšího rohu poloměrem 1,5krát větším než je tloušťka stěny součásti. Pokud je to možné lze volit větší poloměry. [10]

4.4.4 Konstrukce spojovacích sloupků

Spojovací sloupky slouží pro spojení různých sestav součástí nebo připevňování dalších komponent, uchycení kabelů elektroinstalace apod. Kromě funkčního účinku přispívají podobně jako žebra k vyztužení součásti a stejně jako u žeber je nutné dodržovat rovnoměrnou tloušťku stěn. Obecná pravidla pro návrh sloupků: [10]

- Tloušťka sloupku by měla být 60 % tloušťky stěny.
- Výška by měla dosahovat 2,5násobku průměru díry sloupku
- Úchyty v rozích součástí musí být vhodně vylehčeny
- Lépe je použít konstrukci sloupků s kolmými můstky

4.4.5 Úkosy a podkosy

Úkosy dovolují snadnější vyjmutí z formy. Nulové úkosy a podkosy jsou použitelné, ale za potřeby využití dvoustupňového vyhazování nebo použití posuvných čelistí, které ovšem velmi prodražují samotnou formu. Správnou velikost je potřeba volit s ohledem na druh použitého plastu, smrštění, povrch stěn formy a také automatizaci výroby. [1]

Tab. 1 Doporučená velikost úkosů [1]

Úkos	Velikost
Vnější plochy	30'-2° (1°)
Vnitřní plochy	30'-3° (2°)
Otvory do hloubky 2xØD	30'-1° (45')
Hluboké otvory	1°-10°
Žebra, nálitky	1°-10° (3°)
Výstupky	2°-10°

4.4.6 Otvory a drážky

Otvory a drážky je doporučeno volit co nejméně složité pro výrobu. S ohledem na zaformování se volí hlavně ve směru dělicí roviny. Pro drážky a otvory kolmé na směr dělicí roviny se používají posuvné čelisti nebo výsuvná jádra.

Aby nedošlo k popraskání stěn mezi otvory, nebo okrajem je nutné dodržovat doporučené vzdálenosti. [1]

4.4.7 Rýhování

Rýhování se používá pro součásti, se kterými je potřeba pohybovat nebo otáčet a nedocházelo u nich k protáčení a vyklouzávání z rukou. Má být lehce zaformovatelné. Součásti s podélným rýhováním lze potom snadněji vyhodit z formy. [1]

4.4.8 Závity

Obecně jsou závity na plastových součástech méně pevné a je doporučeno používat závity oblejších tvarů s větším stoupáním a průměrem. Pro snížení nákladů se používají přerušované závity. Závity by neměli začínat na okraji součásti, aby se neulamovaly ostré části závitu. [1]

4.4.9 Zástříky a zálisky

Pro zvětšení rozměrové stability, popřípadě pro realizaci spojení s ostatními součástmi. V některých případech se používají závitové vložky. Proti pootočení nebo vytažení jsou opatřeny různými výstupky, drážkami a podobnými opatřeními. Při používání zástříků, zálisků a pouzder je obtížné proces vstřikování automatizovat. Použití kovových zálisků a pouzder přináší také řadu potíží odvodem tepla v okolí zálisku a je potřeba s tím počítat a vhodně součást upravit. [1]

4.4.10 Nápis a značky

Potřebné popisky a značky na výstřicích se zhotovují různými způsoby. Vystouplé značky jsou výrobně nejjednodušší, avšak nejméně vhodné. Zapuštěné značky jsou naopak výrobně nejsložitější, proto je vhodné zvolit účelný kompromis a použít vystouplé písmo v zahloubení, které nepřesahuje povrch součásti. [1]

4.5 Dodatečná úprava součástí

4.5.1 Temperování

Používá se pro stabilizaci rozměrů a zlepšení vlastností součástí po vstřikování. Provádí se pozvolna za zvýšené teploty na vzduchu nebo v kapalinách. Především pro amorfny plasty ke snížení vnitřních pnutí. [1]

4.5.2 Kondicionování

U silně navlhavých plastů jakými jsou například polyamidy, se používá tento proces ke stabilizaci součástí po vstřikování z vysušeného materiálu. Za zvýšené teploty je součást sycena vlhkostí. Tyto materiály potřebují vlhkost pro zvýšení houževnatosti. [1]

4.5.3 Obrábění plastů

Obrábění plastových výrobků představuje především finální začištění po vtokových soustavách. Při obrábění plastů je potřeba brát v úvahu odlišnosti od obrábění kovů. [1]

4.5.4 Natírání a lakování

Nátěry se používají z dekorativních i funkčních důvodů a někdy k zakrytí povrchových vad na součástech. Zvyšují odolnost proti degradaci vlivem okolí. V některých případech je nátěr nebo lakování ekonomičtější než barvení plastů. [1]

4.6 Vady vstřikovaných výrobků

Vstřikování je velmi složitý proces, který ovlivňuje mnoho faktorů a přes veškeré znalosti materiálu a používání CAD programů i simulačních programů dochází k vadám výstřiků. Vady mohou být zjevné (viditelné) nebo skryté (strukturní). Existuje spousta doporučení a návodů na zjišťování a odstraňování vad. [1,11]

4.6.1 Vady a základní příčiny:

- *Přetoky* - malá uzavírací síla stroje, příliš vysoký vstřikovací tlak, vysoké ITT, znečištění nebo poškození či opotřebením dělicích rovin, předimenzované odvzdušnění, vysoká teplota taveniny. [12]
- *Nedotečený výstřik* - špatně dimenzovaná vtoková soustava, nízké ITT, nevhodný tvar výstřiku pro daný typ polymeru, nefunkční nebo nevhodné odvzdušnění, malý objem materiálu, nízká teplota taveniny. [12]



Obr. 8 Nedotečený výstřik (vlevo) a přetok materiálu [12]

- *Propadliny, staženiny, zvlněný povrch* – nízká tekutost taveniny, poddimenzovaná vtoková soustava, velká délka toku, silné stěny výstřiku, špatné odvzdušnění, krátká délka dotlakové fáze. [12]



Obr. 9 Propadliny na výrobku [12]

- *Stopy po vyhazovačích* – vysoká teplota výstřiku při vyhazování, deformace formy, malé úkosity v dutině, nerovnoměrná temperace formy, poddimenzované vyhazovače. [12]
- *Deformace výstřiku při vyhazování z formy* – předčasné vyhození výstřiku, malé úkosity, nevhodné umístění vyhazovačů, velké rozdíly tlouštěk stěn, nevhodná poloha otvorů. [12]
- *Delaminace, stopy po studené tavenině* – znečištěný materiál, nízká teplota formy, tvar výstřiku (ostré hrany, velké přechody tlouštěk), nedostatečná plastikace taveniny, snášlivost polymerů. [12]
- *Tryskový tok (jetting)* – zatuhlý proud taveniny, nevhodné umístění vtoku, vysoká vstřikovací rychlost. [12]
- *Stříbrné pruhy* – vlhký polymer, přehřátý materiál, velké smykové namáhání v ústí vtoku. [12]
- *Studené spoje* – nízká teplota taveniny, nízká vstřikovací rychlost, nízká teplota formy, značná délka toku taveniny. [12]
- *Černé skvrny, degradace materiálu a spálená místa* – odvzdušnění formy, nevhodný vtokový systém. [12]
- *Nežádoucí lesk* – špatná povrchová úprava dutiny formy, vyšší rychlost, chybné nastavení dotlaku. [12]
- *Bublíny* – vlhkost granulátu, vysoká teplota taveniny, vysoká vstřikovací rychlost, netěsnost vstřikovací trysky, špatné umístění vtoku. [12]

5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je soustava ocelových desek a dalších komponent formy, které jsou správně sestaveny a instalovány na vstřikovací stroj. Tavenina připravená vstřikovací jednotkou je pod tlakem dopravena do dutiny formy. Podle vytvořené dutiny je tavenina tvarována do požadovaného tvaru až do zchladnutí na určitou teplotu, při které je možné výstřik vyjmout. Forma musí pracovat automaticky. Opotřebení formy musí odpovídat velikosti série vyráběného dílu. Významným předpokladem pro kvalitní výstřiky je stanovení správných rozměrů a tolerancí tvarových dutin při návrhu formy. [5,13]

Nároky na formu: [1]

- Vysoká přesnost, dohodnutá jakost povrchu funkčních ploch.
- Maximální tuhost a pevnost formy k zachycení požadovaných tlaků.
- Správná a bezporuchová funkce formy, optimální vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperace atd.
- Optimální životnost z pohledu konstrukce formy, výroby a použitých materiálů.

5.1 Postup při návrhu formy

Při návrhu konstrukce vstřikovací formy je nutná úzká spolupráce konstruktéra výrobku a konstruktéra vstřikovací formy. Všechny nutné úpravy forem i výrobků vyžadují vzájemnou komunikaci a odsouhlasení zadavatele formy a výrobce.

Postup při konstrukci formy: [1]

- Kontrola výkresu součásti a posouzení vhodnosti rozměrů, tolerancí, potřebných úkosů, zaoblení a přechodů stěn k zabránění vzniku možných vad na výrobku.
- Určení dělicí roviny s ohledem na úkosy, žebra a tvar součásti.
- Návrh koncepce tvarových dutin dle použitého materiálu a násobnosti formy.
- Volba vhodného vtokového systému a vtokových ústí.
- Stanovení návrhu vyhazovacího, temperačního a odvzdušňovacího systému.
- Návrh rámu formy s ohledem na rozmístění tvarových dutin, koncepce vtokových, vyhazovacích a temperačních systémů.
- Dle dostupného vstřikovacího stroje zvolit vhodné středění formy a její upínání.
- Kontrola funkčních parametrů formy. Hmotnost výstřiku, průmětná plocha, vstřikovací a uzavírací tlak a další podle zvoleného vstřikovacího stroje.

5.1.1 Výkres výrobku

Součást musí být vyrobitelná technologií vstřikování a umožnit co nejjednodušší výrobu při dodržení požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Výkres musí obsahovat materiál, ze kterého má být součást vyrobena, požadované rozměry s příslušnými tolerancemi, jakost a úpravu povrchu součásti, hmotnost, podmínky přejímání výrobku a případně další zvláštní požadavky (temperování apod.). [1]

5.1.2 Násobnost formy

Pro určení násobnosti formy je potřeba přihlédnout k požadovaným kritériím zadavatele vstřikovací formy, kterými jsou: [1]

- Požadovaná přesnost výrobku.
- Požadované množství za časovou jednotku i celkově.
- Kapacita a velikost vstřikovacího stroje.
- Termín dodávky výrobku.
- Ekonomika výroby.

Vysoká násobnost formy sebou nese méně přesné a méně kvalitní výstřiky. Vstřikovací stroj musí mít odpovídající kapacitu včetně nutné rezervy. Větší stroj také znamená vyšší pořizovací náklady stroje. Výroba většího počtu tvarových dutin se promítá do vyšší ceny formy a může být příčinou chyb způsobených výrobou. [1]

5.1.3 Volba vstřikovacího stroje

Významným odrazem kvality vstřikovaného výrobku je použitý vstřikovací stroj. Volbu stroje ovlivňuje především velikost a hmotnost vstřikované součásti, tím pádem také velikost samotné formy, požadovaná jakost a přesnost součásti. Optimální stroj musí mít: [1]

- Dostatečnou kapacitu plastikační a vstřikovací jednotky (plastikační výkon).
- Dostatečnou uzavírací sílu.
- Vhodnou koncepci stroje.

Vybraný vstřikovací stroj musí také zajišťovat stálost a reprodukovatelnost nastavených technologických parametrů při výrobě. [1]

5.2 Zaformování součásti

Prvním krokem návrhu formy je určení polohy součásti a volba dělicí roviny. Správné určení polohy dělicí roviny a zaformování vychází z konstrukčního řešení součásti, umožňuje tak dodržení potřebných rozměrů a ekonomičnosti výroby. [1]

Volí se co nejmenší možný počet dělicích rovin z důvodu složitosti výroby a vzniku možných vad v nepřesně vyrobené dělicí rovině. Dělicí plocha: [1]

- Má umožňovat snadné vyjímání výstřiku z formy.
- Tvoří pravidelné jednoduché geometrické tvary.
- Probíhá po hranách výrobku.
- Splňuje požadavky na dodržení přesných rozměrů, souosost výstřiku, směr technologických úkosů.
- Nesmí být příčinou vzhledových a funkčních závad.

5.2.1 Dimenzování tvarové dutiny

Důležitým krokem pro návrh vstřikovací formy je určování funkčních rozměrů formy, které později určují přesnost a dodržení požadovaných rozměrů výrobku. Rozměry ovlivňuje hlavně výrobní smrštění plastu, výrobní tolerance tvarové dutiny a následně také opotřebení dutiny v průběhu výroby. Hlavní příčinou nedodržení požadovaných rozměrů je chybný odhad výrobního smrštění. Materiálový list uvádí vždy rozsah hodnot smrštění, na které působí i vliv tvaru součásti, tloušťek stěn, temperace, vtokový systém, teplota plastu při vstřikování a vstřikovací tlak. [1]

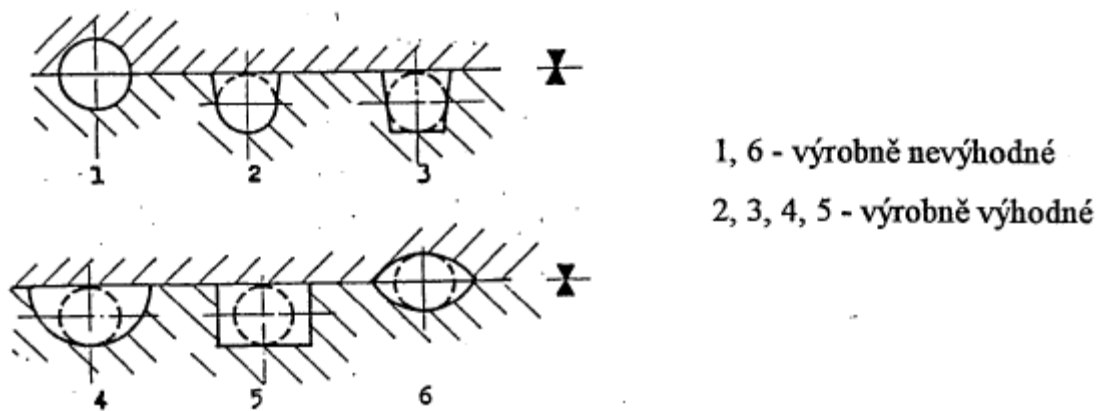
5.3 Vtokový systém

Zajišťuje rozvod a dopravu proudu roztaveného plastu do tvarové dutiny formy. Správně dimenzovaný vtokový systém musí zajistit rovnoměrné naplnění dutiny za co nejkratší čas, s minimálními odpory. Vtokový systém je konstruován jako studený nebo horký vtokový systém. [1,5]

5.3.1 Studený vtokový systém

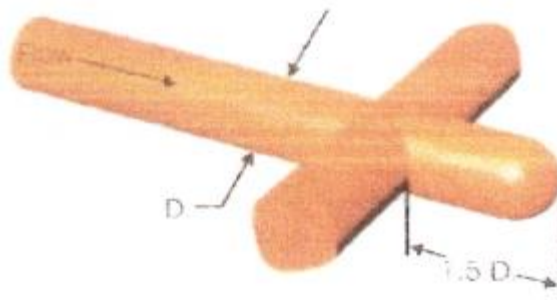
Studený vtokový systém musí mimo rovnoměrného a dostatečně rychlého rozvodu taveniny také umožňovat co nejjednodušší oddělení a vyhození vtokového zbytku. Obecné zásady pro konstrukci studeného vtokového systému: [1]

- Délku toku taveniny od vstřikovacího stroje k dutině formy volit co nejkratší bez časových a tlakových ztrát.
- U vícenásobných forem je důležité, aby tavenina dorazila ke všem tvarovým dutinám ve stejný okamžik a bylo tak zajištěno vyvážené plnění dutin.
- Průřez vtokových kanálů je třeba vhodně zvolit podle druhu použitého plastu a délky vtokové soustavy. Minimální povrch s maximálním průřezem zajišťují co nejnižší tepelné ztráty.
- Nejvhodnější je použití kruhového průřezu kanálů, ale z výrobních důvodů se často volí výrobně jednodušší lichoběžníkový tvar.



Obr. 10 Průřezy vtokových kanálů [1]

- Odstupňování průřezů kanálů pro vícenásobné formy k zachování rovnoměrné rychlosti taveniny
- Zaoblení všech ostrých hran vtokových kanálů minimálně $R = 1 \text{ mm}$.
- Dodržovat minimální úkosy $1,5^\circ$ a podkosy používat pouze pro přidržovače vtoků.
- Povrch kanálů leštit na minimálně $R_a = 0,2$ ve směru vyjímání zbytků.
- Používat jímky k zachycení studeného čela taveniny.



Obr. 11 Jímka čela taveniny [15]

5.3.2 Vtoková ústí

Vtokové ústí tvoří zúžení rozváděcího kanálu před vstupem do dutiny formy. Volí se: [1]

- S co nejmenším průřezem.
- Aby umožňovalo snadné začištění.
- Co nejkratší.
- Pro možné působení dotlaku.

Základní typy vtokových ústí:

- *Plný kuželový vtok* – Nemá zúžené ústí vtoku. Používá se pro jednonásobné formy se symetrickou dutinou a tlustostěnné výrobky. Je velmi vhodný pro působení dotlakové fáze. Volí se o 1 až 1,5 mm většího průměru než je tloušťka stěny a vždy zanechává stopu na výrobku. [1]
- *Bodový vtok* – Často používaný typ vtokového ústí nejčastěji kruhového průřezu. Má různé konstrukční uspořádání. V zúženém místě dochází za vyhazovací fáze k odtržení od výstřiku při použití třideskového systému formy. Dovoluje větší volnost výběru umístění vtoku. [1,14]
- *Tunelový vtok* – Příklad bodového vtoku, který umožňuje automatické oddělení vtoku. Ostrá hrana odděluje vtokový zbytek od výstřiku při otevírání formy nebo při odformování. Nevhodný je pro plněné materiály. Materiál při použití tohoto typu vtokového ústí musí mít dostatečnou elasticitu. Je výrobně náročný z důvodu nutnosti použití elektroerozivního obrábění. Zvláštním případem tunelového vtoku je srpkovitý (banánový) vtok. [1,14]
- *Boční vtok* – Zúžené vtokové ústí obvykle obdélníkového průřezu. Nejrozšířenější a velmi často používaný typ vtoku. Vtok zůstává většinou neoddělený, a proto je nutné řešit následné mechanické oddělení, buď zvláštním zařízením přímo ve formě, nebo mimo ni. [1]
- *Filmový vtok* – Používá se pro plnění převážně kruhových a trubicových dutin. Patří sem prstencové, deštníkové a diskové vtoky. Způsobuje nižší vnitřní pnutí, snižuje vtokovou rychlost taveniny, pomáhá odstranit studené spoje a zmenšuje odpor vtokového systému. Výhodou je možnost použití pro plněné plasty a pro tenké ploché díly. [1,14]

Při nutnosti použití více vtoků je potřeba brát v úvahu možné uzavírání vzduchu nebo vznik studených spojů. [1]

5.3.3 Vyhřívání vtokových systémů

Vyhřívání vtokových systémů eliminují nutnost použití studených vtokových soustav. Tavenina je udržována při konstantní teplotě až do vstříknutí do dutiny formy. Poskytuje rovnoměrnou viskozitu taveniny a umožňuje lepší kontrolu vstřikovacího tlaku. Současně snižuje množství použitého materiálu, protože odpadá přebytečný materiál, který je ve studených rozváděcích kanálech. Vyhřívání vtokových systémů mohou uspořit až 50 % nákladů zkrácením pracovního cyklu a úsporou materiálu. Zlepšují kvalitu výstřiků a po vyhození z formy není nutné odstraňovat žádný zbytek materiálu. Vyhřívání vtokových systémů prošly vývojem až k dnešním vysoce sofistikovaným plně řízeným a kontrolovaným systémům. Existuje několik specializovaných výrobců, kteří se zabývají pouze řešením, výrobou a vývojem vyhřívání vtokových systémů. [1,13]

5.3.4 Vyhřívání trysky

Propojují vstřikovací jednotku stroje s dutinou formy při stabilizované teplotě. Trysky mají vlastní přímé nebo nepřímé vyhřívání s regulací. Zlepšuje technologické podmínky vstřikování. [1]

- Nepřímo ohřívání trysky – jednodušší provedení si může nástrojárna zhotovit sama: [1]
 - Dotápěná tryska s vlastním zdrojem tepla – pro rychlé cykly
 - Dotápěná tryska rozvodným blokem – pro vícenásobné formy
- Přímé ohřívání trysky: [1]
 - S vnitřním topením – tavenina proudí vnitřkem trysky a vyhřívání je kolem tělesa trysky
 - S vnějším topením – tavenina proudí kolem vyhřívání vložky

Oba typy trysek mají ústí: [1]

- Otevřené – pro materiál, který netáhne vlas (PE)
- Se špičkou – pro materiál, který má sklony k tažení vlasu (PS, ABS, PP)
- S uzavírací jehlou
- Speciálně tvarované
- S jedním otvorem

- S více otvory



Obr. 12 Příklad použití horkého vtokového systému [16]

Nevýhodou vyhřívaných vtokových systémů je vyšší pořizovací cena a potřeba kvalitních regulátorů a snímačů teploty. [1]

5.3.5 Vyhřívané rozvodné bloky

Rozvodné bloky se používají v kombinaci s vyhřívanými tryskami k rozvodu taveniny u vícenásobných forem. Rovnoměrnost vytápění bloku ovlivňuje tokové chování taveniny. Ocelový blok je uložen v pevné části formy. Vyrábí se v různých tvarech (I, H, X, Y), podle potřebné polohy trysek. Vytápí se elektrickým odporovým vedením nebo topnými patronami a je izolován od ostatních částí formy nejčastěji vzduchovou mezerou. [1]

Musí dosahovat: [1]

- Rychlého ohřevu.
- Rovnoměrné teploty pro optimální tok taveniny.
- Eliminace tepelných ztrát.



Obr. 13 Rozvodný blok [16]

5.4 Temperování forem

Temperování forem hraje důležitou roli v procesu vstřikování. Rovnoměrný teplotní režim formy ovlivňuje rychlost plnění dutiny formy při zachování požadovaných technologických parametrů výroby. Teplota ovlivňuje nejen plnění dutiny, ale i optimální chlazení výstřiku. Během vstřikovacího cyklu je nutné přebytečné teplo odvádět a dodržovat tak požadovanou teplotu pro každý následující cyklus.

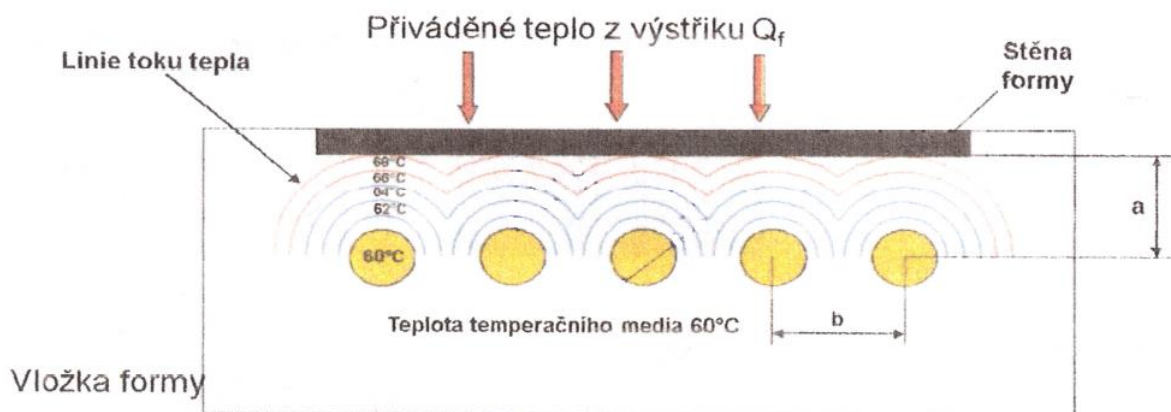
Požadavky na temperační systém: [17]

- Udržovat rovnoměrnou požadovanou teplotu po celém povrchu dutiny formy.
- Odvádět teplo z taveninou naplněné dutiny formy k zachování optimální délky pracovního cyklu.

5.4.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Temperační okruhy jsou tvořeny kanály a dutinami. Pomocí proudícího média je teplo přiváděno nebo odváděno z formy. Rozměry a umístění kanálů musí být řešeno s ohledem na řešení formy a zároveň nesmí ovlivňovat tuhost celé konstrukce. Obecně je vhodnější řešení většího počtu menších kanálů než menší počet větších kanálů. Rozmístění kanálů má být rovnoměrné a v různých vzdálenostech podle potřebné intenzity chlazení. Průměr kanálu ovlivňuje druh použitého plastu, velikost součásti a celková velikost formy. [17]

Dimenzování a poloha vrtaných temperačních kanálů



Obr. 14 Příklad dimenzování vrtaných kanálů [15]

5.5 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění forem často nebývá zásadním otázkou, ale podcenění tohoto jevu může způsobit řadu procesních problémů. Při uzavření formy je dutina naplněna vzduchem a ten musí při plnění formy plastem unikat i s případnými zplodinami. [13, 17]

Nutnost odvzdušnění vyplývá především z tvaru výstřiku. Zásadní vliv na vytvoření vzduchových kapes má vstřikovací rychlost. Volba místa odvzdušnění je dána především tvarem výstřiku a se zjištěním vhodné polohy může pomoci kvalitní CAE program. Je nutné dbát na nepřípustné viditelné stopy. Špatným příkladem zjištění potřeby odvzdušnění je nález defektu na součásti až při zkušebním provozu formy. [17]

Ve většině případů stačí vzduch uniknout dělicí rovinou nebo vůlemi v pohyblivých částech. Při použití odvzdušnění se volí kanálky obdélníkového průřezu a dle použitého materiálu se mezera nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,05 mm. [17]

Největší problémy s odvzdušněním mívají nové formy, u kterých dobře těsní dělicí roviny a vyhazovače. Někdy může být příčinou zapomenutý a neočištěný konzervační prostředek. [17]

5.6 Vyhazovací systém

Při vyhazování výstřiků je z dutiny vysunut nebo vytlačen zchladnutý výstřik pomocí vyhazovacího zařízení, čímž je zajištěna automatizace vstřikovacího cyklu.

Vyhazovací zařízení pracuje ve dvou krocích: [17]

- Při dopředném pohybu je výstřik vyhozen
- Zpětný pohyb zajišťuje návrat systému do výchozí polohy

Důležitým předpokladem pro optimální funkci vyhazování je použití zkosených stěn ve směru vyhazování. Vyhazovací fáze musí probíhat rovnoměrným působením na výstřik, aby nedošlo k jeho poškození. [17]

Vyhazovací systém musí vyvodit potřebnou sílu, která závisí na: [17]

- Hodnotě smrštění výstřiku v dutině formy.
- Složitosti tvaru součásti a použité povrchové úpravě a její jakosti.
- Technologických podmínkách vstřikování.
- Pružných deformacích formy.

5.6.1 Mechanické vyhazování

Z ekonomických i funkčních důvodů nejrozšířenější způsob řešení vyhazovacího systému.

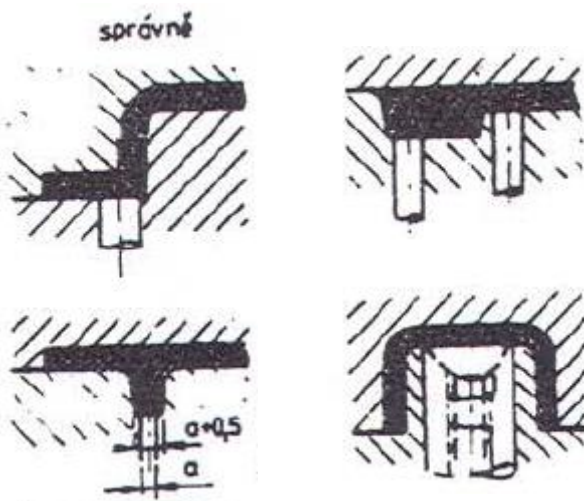
Konstrukční řešení mechanického vyhazování: [17]

- Vyhazovací kolíky
- Stírací deska
- Šikmé vyhazování
- Postupné vyhazování
- Speciální vyhazování

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Levný a často využívaný systém vyhazování použitelný všude kde lze opřít vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. [17]

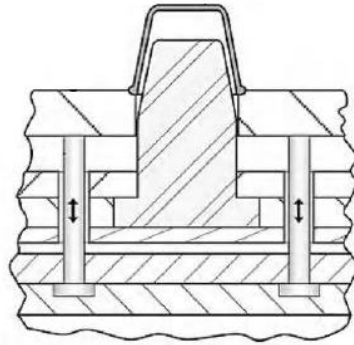
Vyhazovač se má opírat o stěnu nebo žebro součásti, které se nesmí při vyhazování bortit nebo jinak deformovat. Vyhazovače je vhodné umísťovat na nepohledové strany součástí, protože zanechávají stopy. Velké množství vyhazovačů působí potíže při řešení temperačního systému. Vyhazovací kolíky mohou být libovolných potřebných tvarů nejčastěji se však používají válcové vyhazovače. Vůle v uložení vyhazovačů působí zároveň jako odvzdušnění. [17]



Obr. 15 Umístění vyhazovacích kolíků [17]

Vyhazování stírací deskou

Pro tenkostěnné výstřiky kde není možné použití vyhazovacích kolíků, je s výhodou použito stírací desky, která na výstřik působí celou svou styčnou plochou a nezanechává stopy na výstřiku. Stírací deska působí minimální deformace při vyhazování. Zvláštním případem stírací desky je trubkový vyhazovač. [17]

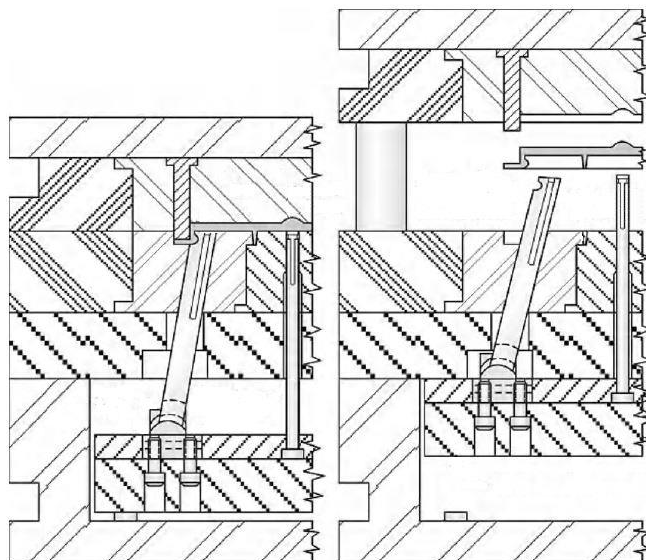


Obr. 16 Vyhazování stírací deskou [13]

Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

Zvláštním způsobem mechanického vyhazování je použití vyhazovacích kolíků, které nejsou kolmé k dělicí rovině. Používají se pro součásti s mělkým vnitřním nebo vnějším zápičem. Představuje jednodušší způsob vyhazování bez použití složitých čelistových mechanismů.

Šikmý pohyb vyhazovače uvolňuje zvětšenou nebo zmenšenou část zápichu, která může být vytvarována na zápichu. Čelisti pevně spojené se šikmo uloženými kolíky fungují na podobném principu. [17]



Obr. 17 Vyhazování pomocí šikmých kolíků [13]

Dvoustupňové vyhazování

Náleží k mechanickým systémům vyhazování. Pracuje na principu dvou vyhazovacích systémů, které se navzájem ovlivňují. Umožňuje vyhazování výstřiků s rozdílným rozložením velikosti zdvihu nebo s časovým posunem. Může být použito například pro oddělování vtokových zbytků s následným vyhozením tohoto zbytku. [17]

5.6.2 Vzduchové vyhazování

Méně častý systém pro vyhazování tenkostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob. Výhodou je snížení délky formy proti mechanickému vyhazování, které by vyžadovalo velký zdvih vyhazovacích desek. [17]

Vzduch je do formy přiváděn jehlovým nebo talířovým ventilem. Stlačený vzduch se přivede mezi výstřik a líc formy, tím je zaručeno rovnoměrné oddělení od tvárníku. [17]

5.6.3 Hydraulické vyhazování

Mechanismus sloužící především pro ovládání dalších systémů především pro mechanické vyhazovače nebo posuvné čelisti. Hlavním znakem je velká vyhazovací síla, pomalejší a kratší chod. [17]

5.7 Rámy forem

Ve většině případů jde o skupinu vzájemně spojených normalizovaných desek se středícím, vodícím a spojovacím příslušenstvím. Funkční celek tvoří nosnou část, která je doplněna o tvarové vložky a společně s dalšími funkčními (vyhazovacími, temperovacími, apod.) skupinami tvoří kompletní vstřikovací formu. [17]

Hlavní požadavky na rámy forem jsou: [17]

- Přesné ustavení na vstřikovacím stroji.
- Bezpečné a zaručené upnutí na stroj.
- Přesné vedení pohyblivých částí formy.
- Jednoduché upevnění tvarových vložek a ostatních funkčních skupin.
- Vhodné vyústění temperačního systému a připojení vyhazovacího systému.

Současným trendem při návrhu forem je využívání normalizovaných částí forem, které usnadňují vlastní návrh, ale hlavně jsou ekonomicky výhodnější. Na trhu existuje celá řada

fírem zabývajících se výrobou takzvaných normálií a mnohdy mají na svých internetových stránkách přehledné katalogy s možností stahování hotových 3D modelů. [17]

5.8 Materiály používané pro výrobu forem

Vstřikovací forma jako celek je velmi nákladný výrobní nástroj, proto jeho cenu zásadně ovlivňuje materiál použitý k výrobě jednotlivých částí forem. Při výrobě je požadována hlavně vysoká kvalita výstřiků a s tím související životnost formy. Naopak proti těmto požadavkům je dosažení co nejnižších pořizovacích nákladů. [17]

Volbu materiálu pro konkrétní formu ovlivňuje: [17]

- Druh vstřikovaného polymeru.
- Přesnost a jakost výstřiku.
- Procesní podmínky vstřikování.
- Použitý vstřikovací stroj.

Pro výrobu forem jsou požadovány co nejvíce univerzální materiály se širokým spektrem možného použití. Toto splňují: [17]

- Oceli vhodných jakostí.
- Neželezné slitiny kovů.
- Ostatní materiály používané například jako izolace nebo tepelné vodiče apod.

Od ocelových součástí je očekávána hlavně dobrá obrobiteľnosť a dostatečná pevnost. Pro zvýšení užitných vlastností jsou oceli podle požadavků tepelně zpracovávány. [17]

V dnešní době je stále více využíváno povlakování povrchů k dosažení co nejvyšší životnosti a současně snížení nákladů na vstupní materiál.

6 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část bakalářské práce souhrnně popisuje technologii vstřikování a s ní související témata. Jednotlivé kapitoly obecně popisují:

- Materiály pro vstřikování.
- Technologii vstřikování a vstřikovací cyklus.
- Vstřikovací stroj a jeho hlavních částí.
- Návrh vstřikovaných výrobků.
- Konstrukci vstřikovacích forem.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 STANOVENÍ CÍLŮ BAKLÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny následující cíle:

- Vypracovat literární rešerši na dané téma.
- Zkonstruovat vstřikovací formu dle zadaného výrobku.
- Vytvořit výkresovou dokumentaci.
- Vyhodnotit vytvořené řešení.

Literární rešerše shrnuje základní poznatky z oblasti vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem. V jednotlivých kapitolách jsou popsány oblasti, kterými je nutné se postupně zabývat při zpracování návrhu vstřikovací formy a také při návrhu nebo úpravě vstřikované součásti.

Součástí pro kterou byla navrhována vstřikovací forma, je základní část podvozku RC modelu auta. Vstřikovací forma byla zkonstruována podle 3D modelu plastového dílce. Forma i součást byly vytvořeny v programu Creo Parametric a normalizované součásti byly použity z katalogu firmy Meusburger.

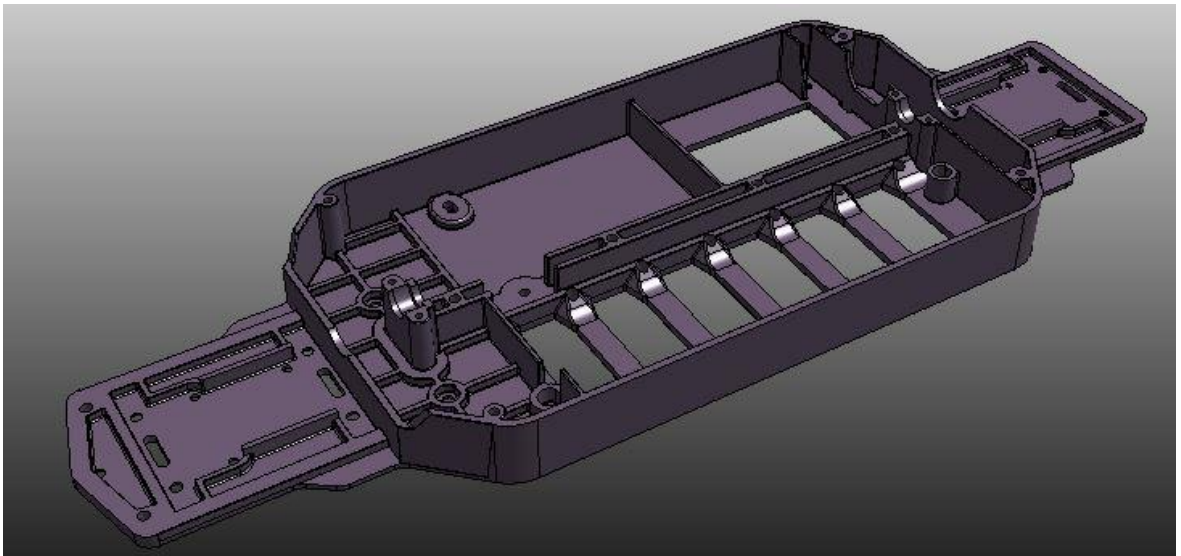
Výkresová dokumentace obsahuje výkres plastového dílce, výkres sestavy vstřikovací formy a položkový kusovník.

8 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Tento výrobek je základní součástí podvozku RC modelu auta. Základem výrobku je plochá deska tvořící dno podvozku a střední část tvoří krabičku, ve které bude umístěn pohon modelu a jeho elektrická výstroj. Z důvodu značného namáhání součásti je opatřen větším množstvím žeber a výztuh, které jsou nejen technického, ale i technologického charakteru.



Obr. 19 Vstřikovaný výrobek



Obr. 18 Model vstřikovaného výrobku

Model součásti byl vytvořen dle originální předlohy. Největší rozměry výrobku jsou 340x115 mm a tloušťka stěny je 2,5mm. Celkový objem součásti je 119,3 cm³. Hmotnost dle 3D modelu je 157 g. Pro zaformování byla vytvořena varianta zvětšená o hodnotu smrštění materiálu.

8.1 Materiál výrobku

Materiál pro vstřikovaný výrobek byl vybrán s ohledem na namáhání PA66-GF25 s 25% obsahem skelných vláken. Pod obchodní značkou Ultramid A3HG5 jej nabízí společnost BASF. Tento materiál je vhodný pro strojní součásti. Vyznačuje se vysokou tuhostí, rozměrovou stabilitou a také dobrými izolačními vlastnostmi.

Tab. 2 Vybrané vlastnosti Ultramid A3HG5 [20]

VLASTNOSTI	NORMA	JEDNOTKA	HODNOTA
Hustota	ISO 1183	kg/m ³	1320
Objemový index toku taveniny	ISO 1133	cm ³ /10min	40
Teplota tavení	ISO 11357	°C	280-300
Nasákavost (za 24h při 23°C)	ISO 62	%	5,7-6,3
Smrštění (podélné)	ISO2577, 294-4	%	0,48
Smrštění (příčné)	ISO2577, 294-4	%	1,06
Smrštění (omezené)	-	%	0,55
Modul pružnosti v tahu	ISO 527	MPa	8600
Pevnost v tahu	ISO 527	MPa	170
Modul pružnosti v ohybu	ISO 178	MPa	7600
Pevnost v ohybu	ISO 178	MPa	260

8.2 Násobnost formy

Volba násobnosti formy závisí na několika faktorech, jako jsou například požadované množství výrobků, složitost výrobku a kapacita vstřikovacího stroje nebo ekonomičnost výroby. Protože se jedná o poměrně velkou součást plošného charakteru, byla zvolena forma jako jednonásobná.

8.3 Výpočty pro výběr vstřikovacího stroje

Vstupní informace

Plocha průmětu součásti do dělicí roviny včetně vtokové soustavy	- S = 309,5 cm ²
Vstřikovací tlak	- p _v = 120 MPa
Koeficient tekutosti PA	- k = 1,4
Násobnost formy	- n = 1
Podíl určeného plastu k PS $\frac{\alpha_x}{\alpha_p}$	- $\frac{110}{100}$
Hmotnost výstřiku	- G = 157,5 g
Hmotnost vtoků 10 %	- A = 15,8 g

Výpočet množství vstřikovaného plastu

$$M = 1,2(G * n + A) * \frac{\alpha_x}{\alpha_p} = 1,2(157,5 * 1 + 15,8) * \frac{110}{100} \cong 229 \text{ g} \quad (1)$$

Výpočet uzavírací síly stroje

$$F = 1,2 * S * p_v * k = 1,2 * 309,5 * 120 * 1,4 = 62395 \text{ N} \cong 62,4 \text{ kN} \quad (2)$$

8.4 Volba vstřikovacího stroje

Pro správnou volbu vstřikovacího stroje je nutné znát zejména potřebné množství plastu pro jeden pracovní cyklus a uzavírací sílu stroje. Neméně potřebným parametrem stroje je také vzdálenost vodících sloupků, která nám limituje velikost vstřikovací formy.

Podle technických parametrů vstřikovací formy a typu výstřiku byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 570C GOLDEN EDITION 2000-800 od firmy ARBURG.

Tab. 3 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [9]

ALLROUNDER 570C GE	JEDNOTKA	HODNOTA
Uzavírací síla	kN	2000
Vzdálenost vodících sloupků	mm	570x570
Průměr šneku	mm	55
Objem vstřikovací jednotky	cm ³	392
Maximální vstřikovací tlak	Bar	2500



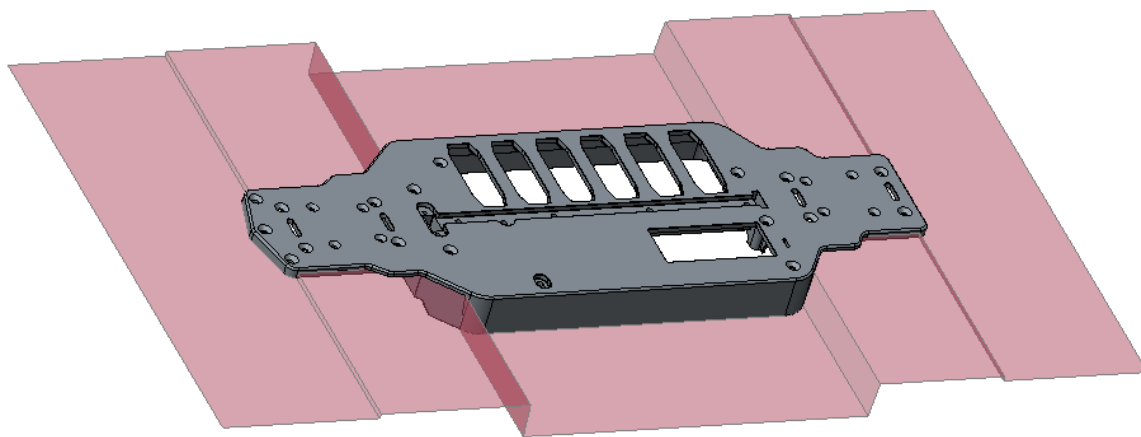
Obr. 20 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 C [9]

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

S ohledem na velikost výrobku, předpokládaný menší objem výroby a požadovanou rozměrovou přesnost byla navržená forma koncipována jako jednonásobná s jednoduchou vtokovou soustavou typu plného kuželového vtoku. Při návrhu byla využívána většina normalizovaných dílů z 3D knihovny firmy Meusburger. Používání normalizovaných dílů přispívá ke zkrácení času pro návrh vstřikovací formy a také je dosahováno nižší ceny formy z důvodu sériové výroby komponent u velkých výrobců.

9.1 Zaformování výstřiku

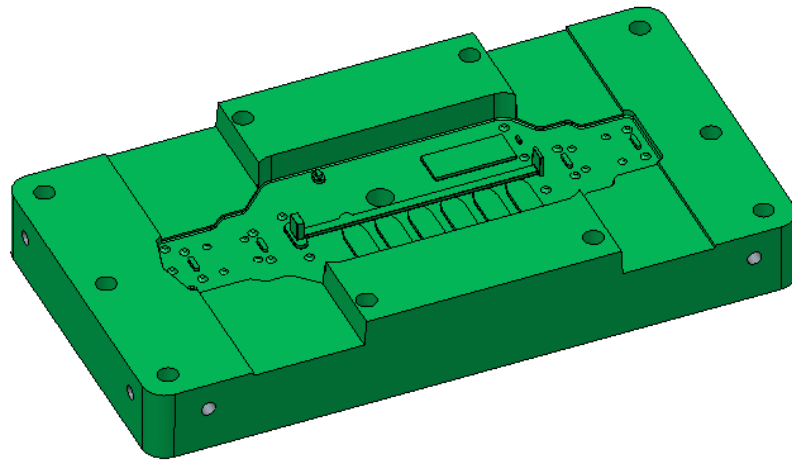
Určení dělicí roviny a koncepce zaformování výstřiku zásadně ovlivňuje následné kroky návrhu vstřikovací formy. Pro zadaný výrobek byla zvolena jedna několikastupňová dělicí rovina, aby bylo vhodným způsobem dosaženo polohy vstřikovaného dílce na levé pohyblivé části formy při otevření formy.



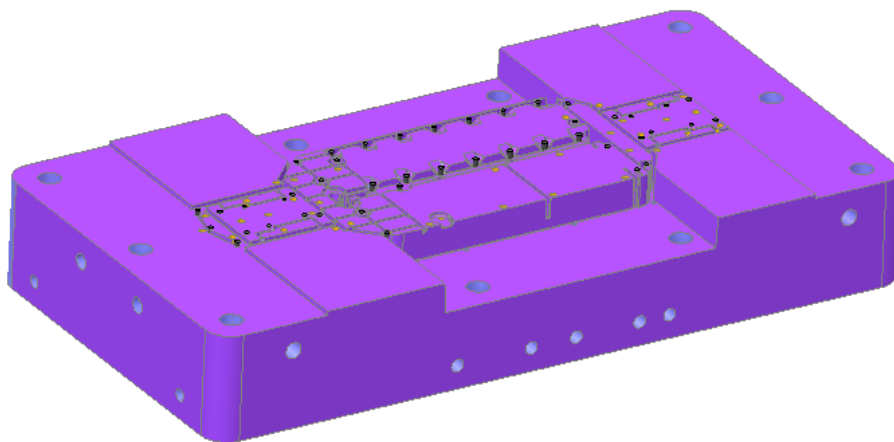
Obr. 21 Dělicí rovina

9.2 Tvarová dutina formy

Tvarové díly formy jsou rozděleny na tvárnici, která je umístěna na pravé straně formy a tvárník umístěný na levé pohyblivé části formy. Složením tvárníku a tvárnice vznikne dutina formy, která bude dávat výrobku výsledný tvar. Dutina formy musí být přizpůsobena tak, aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů, to znamená zvětšit dutinu v tomto případě o hodnotu 0,55 %. Tato hodnota je uvedena v materiálovém listě dodavatele vybraného materiálu, kterým je PA66 s 25% obsahem skelných vláken. Pro bezpečné odformování musí zůstat výstřik na levé pohyblivé straně formy. Toho je dosaženo pomocnými prvky v tvárníku.



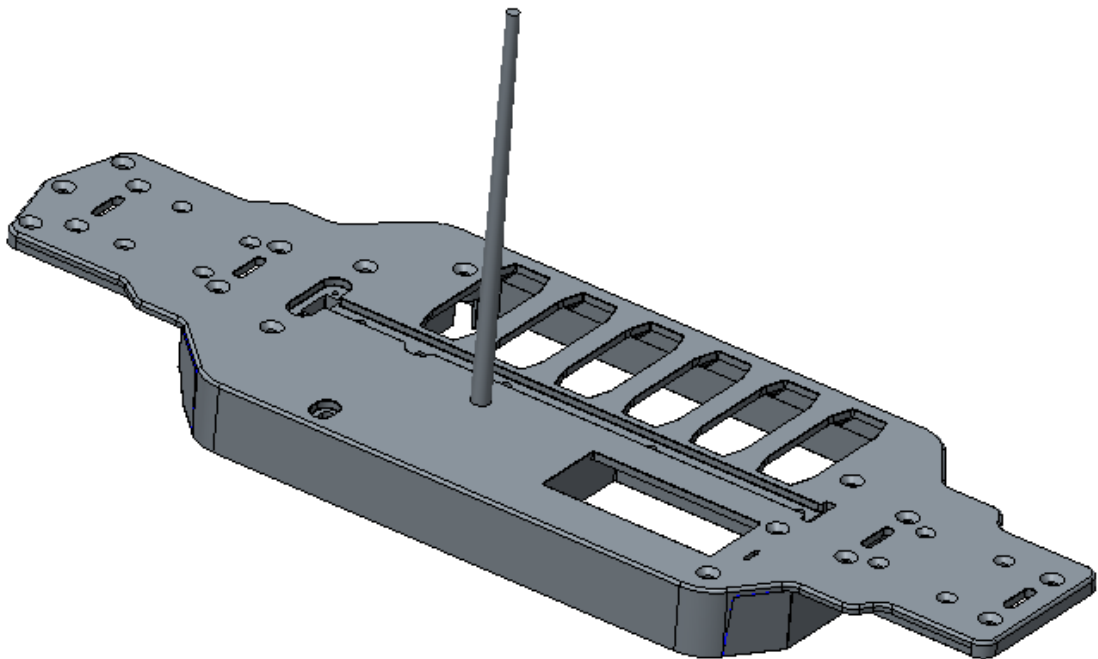
Obr. 23 Tvárnice formy



Obr. 22 Tvárník formy

9.3 Vtokový systém

Ve vstřikovací formě byl navržen studený vtokový systém. Vtokový systém typu plný kuželový vtok je výrobně i energeticky výhodný pro danou formu. Oddělení vtokového zbytku bude provedeno po vyhození výstřiku a jeho úplném zchlazení. Délka vtokového systému byla s ohledem na zaformování výrobku volena co nejkratší. Tavenina tak při vstřikování dorazí ve velmi krátkém čase. Plný kuželový vtok je vhodný pro působení dotlakové fáze. K vytvoření vtokového systému bylo použito normalizované vtokové vložky.

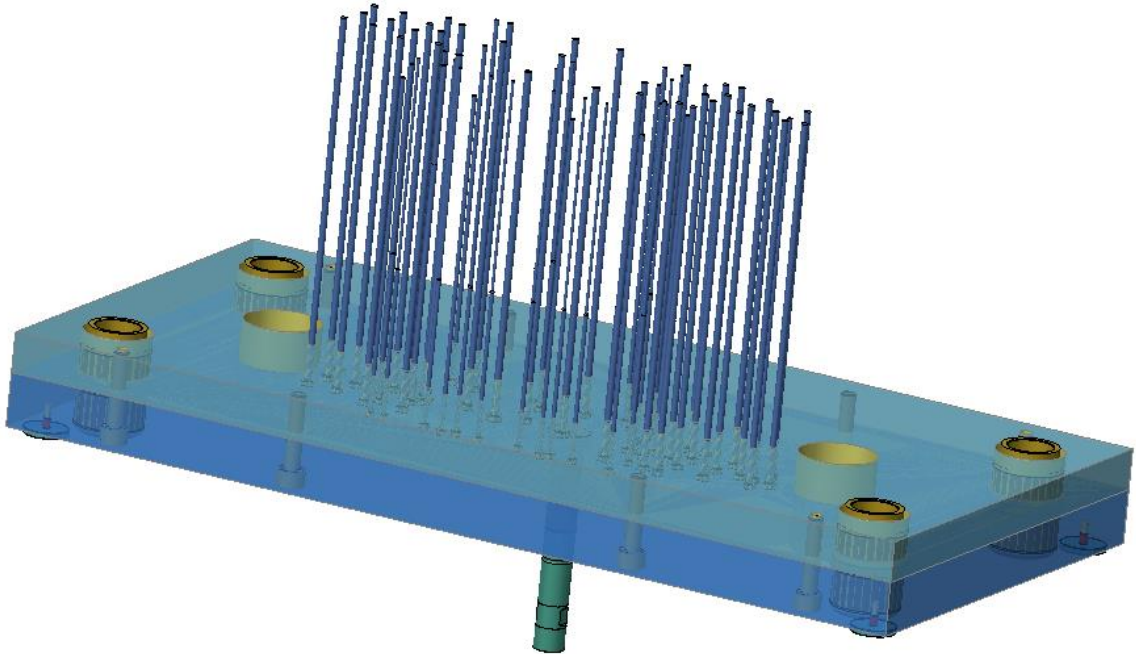


Obr. 24 Plný kuželový vtok formy

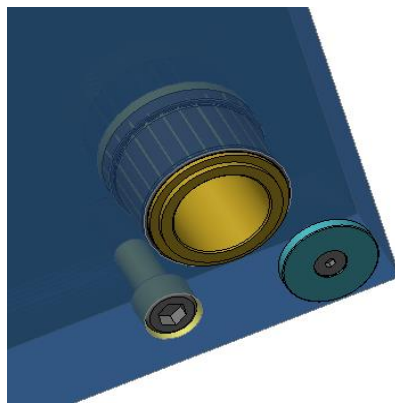
9.4 Vyhazovací systém

Velikost výstřiku ovlivnila použití velkého množství vyhazovačů. Pro bezpečné vyhození výstřiku bylo použito 64 válcových vyhazovačů umístěných rovnoměrně po celé nepohledové ploše výstřiku. Dále bylo použito 8 trubkových vyhazovačů v místech, kde bylo potřeba vytvořit ve výstřiku otvory. Pro tyto otvory bylo použito normalizovaných vyhazovačů procházejících otvory trubkových vyhazovačů a ukotvených pomocí desky upevněné k upínací desce levé části formy. Ostatní vyhazovače jsou upevněny mezi dvojicí vyhazovacích desek. Vyhazovací desky jsou opatřeny ocelovými dorazy k utlumení rázů vznikajících při dosedání vyhazovacího paketu na upínací desku.

Pohyb celého vyhazovacího paketu je zprostředkován přes táhlo, které spojuje vyhazovací desky a vyhazovací systém vstřikovacího stroje. Viditelné stopy po vyhazovačích nijak neovlivňují funkci výrobku a nejsou na pohledových plochách výrobku.



Obr. 25 Vyhazovací paket

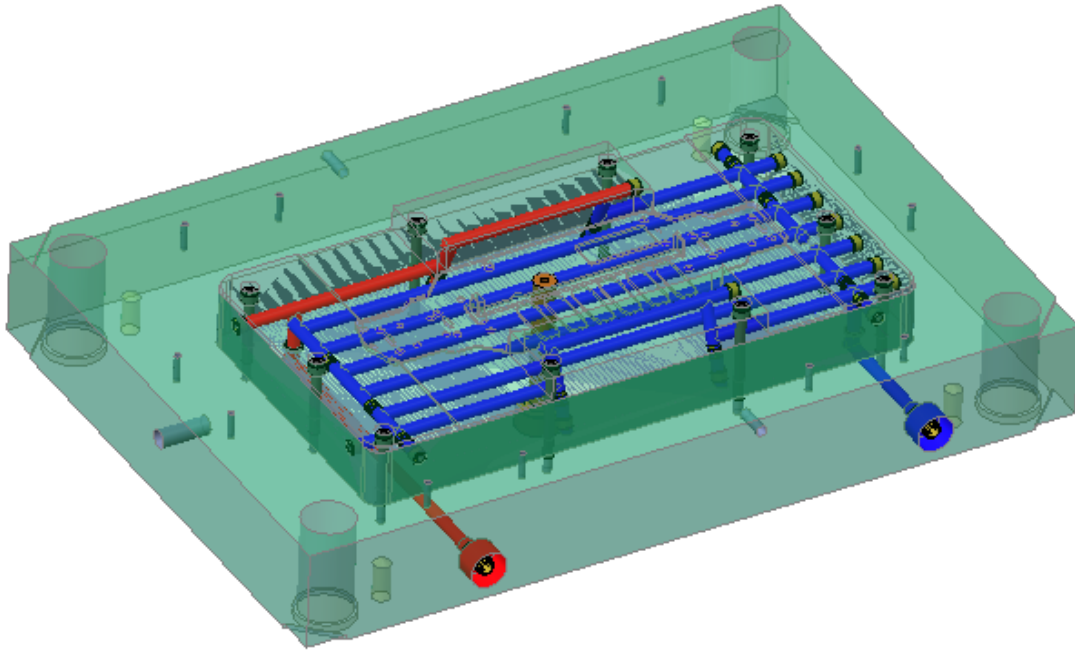


Obr. 26 Detail vyhazovací desky
s dorazem

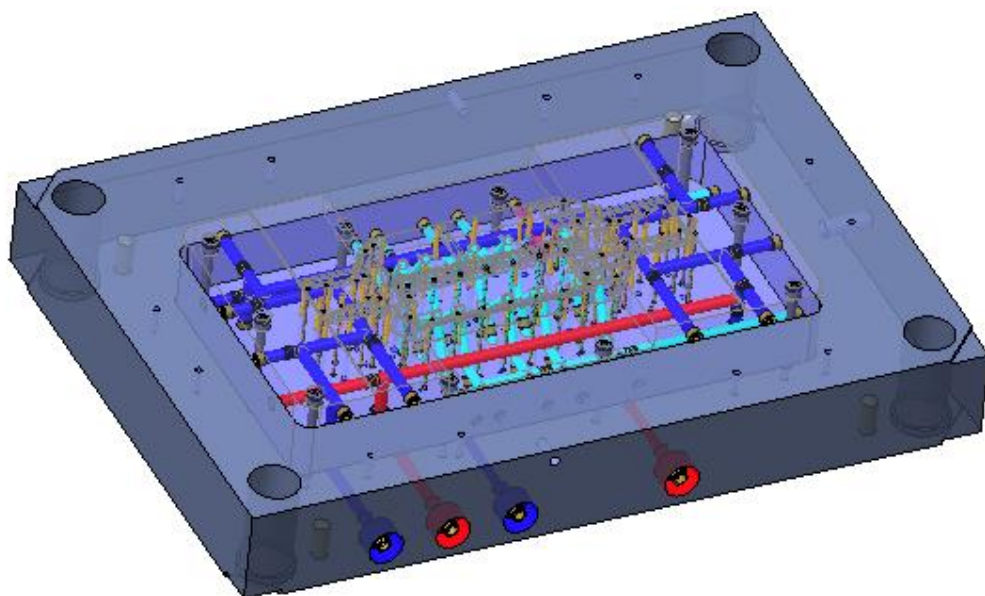
9.5 Temperační systém

Temperační systém formy se nachází v levé i pravé části formy. Jeden okruh upravuje teplotu tvárnice na pravé straně formy. Další dva okruhy se nacházejí na levé straně formy a optimalizují teplotu tvárničku. Průměry temperačních kanálů jsou 8 a 10 mm. Rozvržení vrtaných kanálů muselo být přizpůsobeno velkému množství vyhazovačů. Správný průtok

temperačního média okruhu je řízen systémem ucpávek umístěných v temperačních kanálech. Přívody (na obrázcích označeny modře) a vývody (na obrázcích označeny červeně) temperačního média jsou provedeny v kotevních deskách z bezpečnostních důvodů na straně odvrácené od obsluhy. Přestup temperačního média mezi tvarovou vložkou a kotevní deskou je opatřen těsnícím o-kroužkem, aby nedocházelo k úniku temperačního média. V tomto případě bylo uvažováno pro temperaci s použitím vody.



Obr. 28 Temperace tvárnice



Obr. 27 Temperace tvárníku

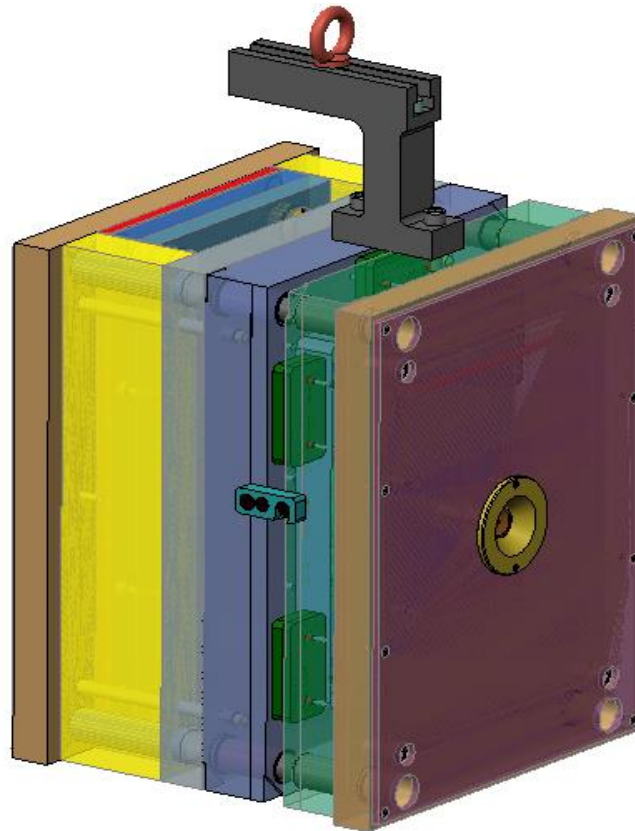
9.6 Odvzdušnění formy

Při uzavření vstříkovací formy a před vstříknutím roztaveného polymeru se v tvarové dutině nachází vzduch, který při stlačování způsobuje nárůst teploty v dutině. V extrémním případě může způsobit vady na výsledném výrobku ve formě spálených míst. Tomuto jevu se předchází odvzdušněním formy. V mnoha případech stačí vzduch uniknout dělicí rovinou nebo vůlemi ve vyhazovačích. Při technologických zkouškách forem lze takové problémy odstranit dodatečným doplněním odvzdušňovacích drážek. Lepším příkladem je podrobení 3D modelu kompletní formy CAE analýze ke zjištění případných možných nedostatků ještě před vlastní výrobou formy. U navrhované formy bez provedené analýzy je předpokládáno, že vzduch bude stačit uniknout dělicí rovinou a mezerami vyhazovačů.

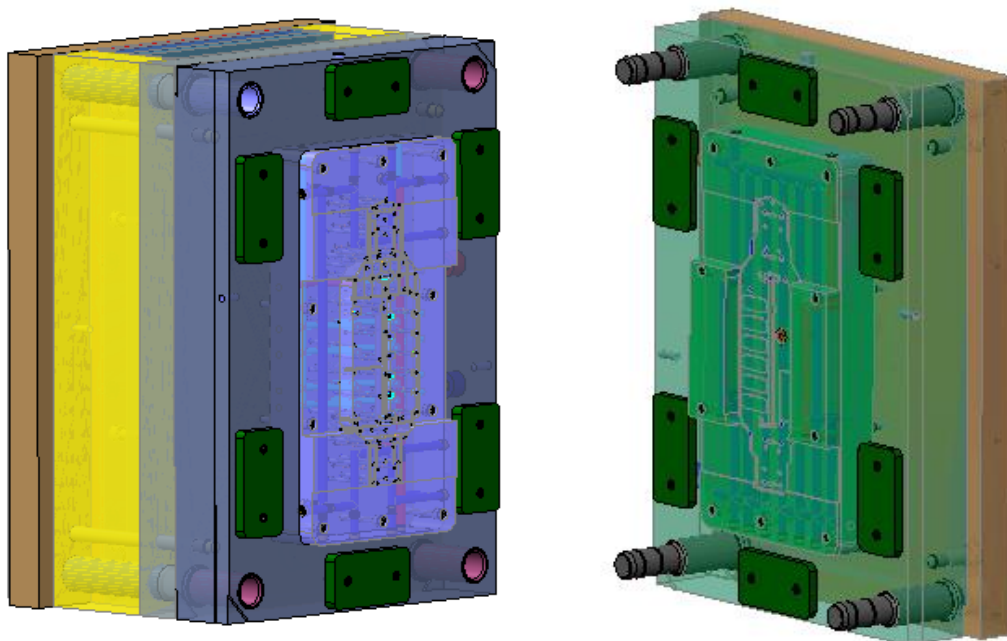
9.7 Rám vstříkovací formy

Rám vstříkovací formy tvoří soustava normalizovaných desek použitých z 3D katalogu normálií německé firmy Meusburger. S ohledem na velikost vstříkovaného výrobku je navržený rám o rozměrech 496 mm na šířku a 646 mm na výšku. Hloubka formy je 496,5 mm včetně izolačních desek, které zabraňují přestupu tepla z formy na vstříkovací stroj. Izolační desky jsou zmenšeny proti největšímu rozměru upínací desky z důvodu ochrany před poškozením při manipulaci s formou. Vodící prvky použité při konstrukci formy vychází z rozměrů desek rámu a jsou rovněž vybrány z katalogu. Všechny uvedené části včetně spojovacích komponent a dalších potřebných prvků jsou uvedeny v kusovníku.

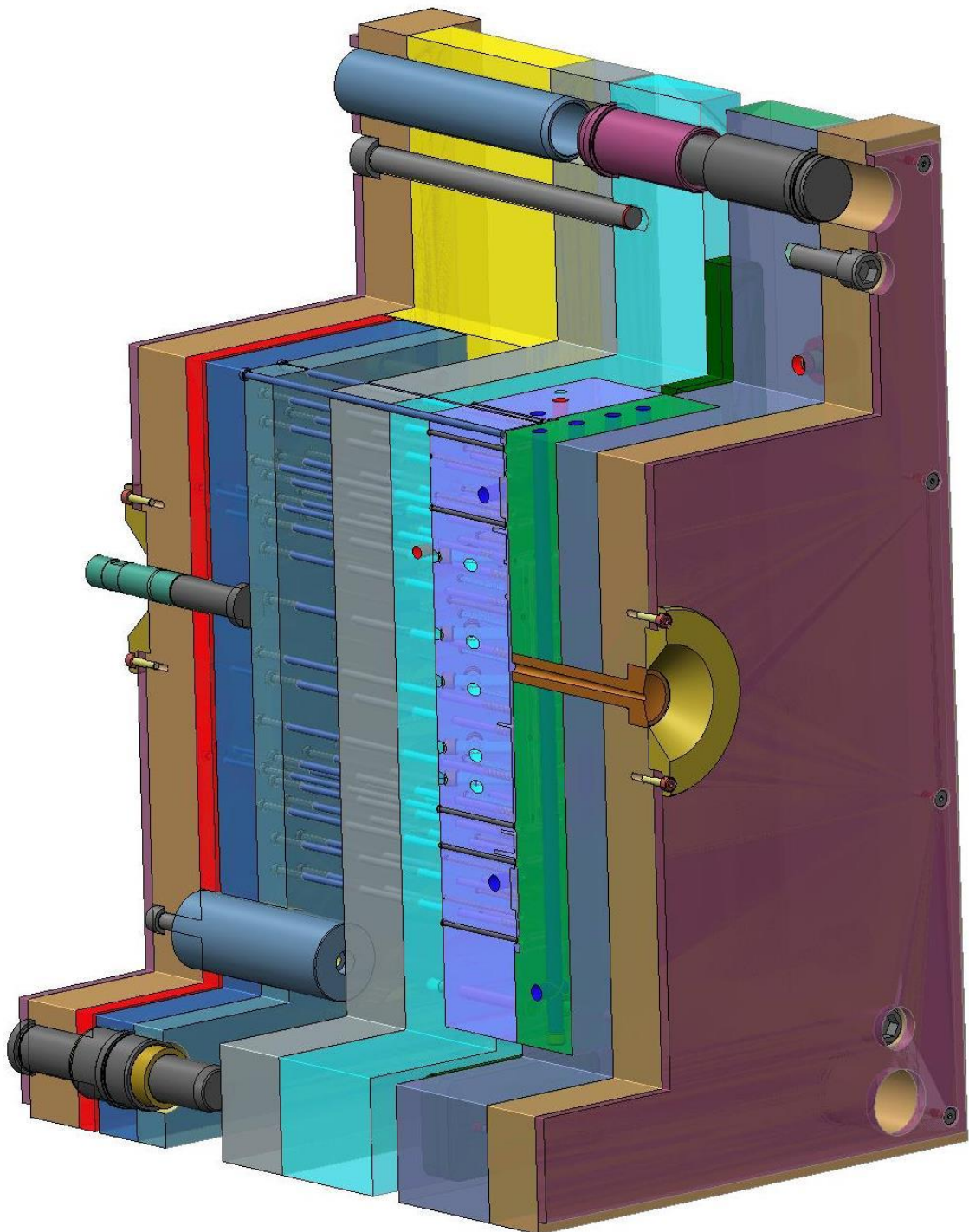
Pro přepravu je forma opatřena nosným ramenem s dostatečně dimenzovaným závěsným okem, které je umístěno nad těžištěm formy. Aby nedošlo k rozdělení formy na levou a pravou část, jsou po stranách doplněny západky z normálií firmy HASCO. Při výrobě musí být forma opatřena identifikačním štítkem kde je uvedeno označení formy, vstříkovaný materiál, uzavírací síla, pro kterou je forma navržena, počet cyklů které forma již vykonala a váha (pro potřeby manipulace).



Obr. 29 Pohled na celkovou sestavu formy



Obr. 30 Pohled do rozevřené formy



Obr. 31 Řez vstřikovací formou

10 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Při řešení bakalářské práce byl zkonstruován 3D model vstřikovací formy pro zadaný plastový výrobek. Z důvodu velikosti vybraného dílu, kterým byla podvozková část RC modelu auta, byla zvolená forma navržena jako jednonásobná.

Při tvorbě modelu bylo v maximální míře využíváno komponent z katalogu firmy Meusburger. Použití těchto dílů výrazně urychlilo návrh vstřikovací formy.

Tvarové dutiny formy byly zvětšeny o 0,55 % z důvodu smrštění vybraného materiálu, kterým je Ultramid A3HG5 (PA66 s 25% obsahem skelných vláken).

K jednoduchosti vtokového systému přispělo použití plného kuželového vtoku vytvořeného normalizovanou vtokovou vložkou. Odstranění vtoku bude provedeno po vyhození výstřiku z formy. Hmotnost výstřiku je 160g a hmotnost vtokového zbytku je 3g.

Temperaturaci tvoří tři samostatné okruhy. Jeden okruh je vytvořen v tvárnici. Další dva okruhy obsahuje tvárník k účinnému odvodu tepla. Proti přestupu tepla do vstřikovacího stroje je zabráněno izolačními deskami přišroubovanými na upínacích deskách formy.

Vyhazovací systém tvoří 64 válcových vyhazovačů a 8 trubkových vyhazovačů. Vedení vyhazovací jednotky je tvořeno čtyřmi vodícími prvky.

Rám formy tvoří desky o rozměru 496x646 mm. Celková hloubka formy je 496,5 mm. Desky jsou vůči sobě vystředěny pomocí středících čepů a pouzder uložených v kotevních deskách. Pro manipulaci je rám opatřen nosným ramenem se závěsným okem. Celá forma je sešroubovaná pomocí šroubů. Pro zajištění správné polohy vstřikovací formy na vstřikovacím stroji je forma opatřena středícími kroužky. Upnutí bude provedeno pomocí upínek na vytvořené hraně upínací desky.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření 3D modelu vstřikovací formy pro zadaný díl, kterým je základní část podvozku RC modelu auta.

Teoretická část bakalářské práce byla zaměřena na objasnění a vysvětlení základních pojmů, principů a pravidel, které je nutné znát pro návrh vstřikovacích forem. Byly zde popsány procesy probíhající při vstřikování termoplastů. Podstatná pro správný návrh vstřikovací formy je také znalost potřebných náležitostí a úprav vstřikovaných výrobků.

Praktická část byla zaměřena na vlastní návrh vstřikovací formy dle zadaného výrobku. Důležitou částí bylo vytvoření 3D modelu tohoto výrobku s nutnými úpravami pro správné zaformování. Navržená forma byla jednonásobná. Funkční systémy formy jako jsou vtokový systém, temperační systém a vyhazovací systém byly tvořeny s ohledem na tvar a složitost vstřikovaného dílu. Při konstrukci bylo ve velké míře využíváno normalizovaných dílů z katalogu firmy Meusburger, které jsou volně dostupné na internetových stránkách výrobce.

K vytvoření celé konstrukce vstřikovací formy i vstřikovaného dílce bylo využíváno programu Creo Parametric.

3D model vstřikovací formy je dle zadání doplněn výkresovou dokumentací zadaného výrobku a sestavy vstřikovací formy doplněné kusovníkem použitých dílů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů I.díl- Vstřikování termo-
plastů*, 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 str.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*, 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura,
2009. 248 str. ISBN 978-80-7300-250-3
- [3] TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 1. vydání. Brno : VUT
Brno, 1975. 278 s.
- [4] TOMIS, F.; RULÍK, F. *Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vydání. Brno : VUT
Brno, 1981. 216 s.
- [5] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC: *Katedra strojírenské technologie* [onli-
ne]. [cit. 2015-02-16]. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/
- [6] ZHAFIR [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupný z WWW: <http://www.zhafir.com/en/>
- [7] REES, Herbert. *Mold engineering. 2nd ed.* Munich: Hanser Publishers, 2002,
ISBN 3-446-21659-6. 688 s.
- [8] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: *Technický měsíčník specializovaný na strojí-
renství* [online]. [cit. 2015-02-28].
Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pozadavky-na-kvalitu-a-realne-moznosti-technologie-vstrikovani.html>
- [9] ARBURG [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupný z WWW:
<http://www.arburg.com/cs/cz/>
- [10] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: *Technický měsíčník specializovaný na strojí-
renství* [online]. [cit. 2015-03-04].
Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/principy-konstrukce-plastovych-vylisku.html>
- [11] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: *Technický měsíčník specializovaný na strojí-
renství* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupný z WWW:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>

- [12] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: *Technický měsíčník specializovaný na strojírenství* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupný z WWW:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html>
- [13] CAMPO, E. Alfredo. *The Complete Part Design Handbook: For Injection Molding of Thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, 2006, ISBN 3-446-40309-4. 870 s.
- [14] KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ A STROJŮ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY PLZEŇ [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupný z WWW:
https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [15] ŠKOLENÍ O KONSTRUKCI FOREM Z HLEDISKA PLASTŮ. *Školící materiály* SimulPlast s.r.o., 2013
- [16] THERMOPLAY [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupný z WWW:
<http://www.thermoplay.it/cz>
- [17] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů II.díl- Vstřikování termoplastů*, 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 str.
- [18] TOMIS, F.; HELŠTÝN, J.; KAŇOVSKÝ, J. *Formy a přípravky*. 1. vydání. Brno : VUT Brno, 1979. 278 s.
- [19] KULHÁNEK, J. a kolektiv. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vydání. Pra-ha : SNTL, 1966. 220 s.
- [20] BASF PLASTICS PORTAL: [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupný z WWW:
<http://www.plasticsportal.net/wa/plastics/portal>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_g	Teplota skelného přechodu amorfních termoplastů.
T_m	Teplota tavení polymerů.
CAx	Computer Aided x – z angličtiny – systémy počítačové podpory konstrukce.
ITT	Index toku taveniny.
PA	Polyamid.
PE	Polyetylen.
PP	Polypropylen.
POM	Polyoxymetylen.
PBT	Polybutadien-tereftalát.
PS	Polystyren.
PMMA	Polymethylmetakrylát.
PC	Polykarbonát.
SAN	Styrenakrylonitril.
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren.
PVC	Polyvinylchlorid.
PET	Polyetylen-tereftalát.
LD-PE	Nízkohustotní polyetylen.
EVA	Etylvinylacetát.
IT	Stupeň přesnosti.
atd.	A tak dále.
tzv.	Tak zvaný.
UV	ultrafialové (záření).
RC	Rádiem řízený (model)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení polymerů podle tvaru řetězců [5]	7
Obr. 2 Oblasti využití výrobků z amorfních a semikrystalických plastů [1].....	8
Obr. 3 Vstřikovací cyklus [3]	10
Obr. 4 Vstřikovací stroj Zhafir série Venus II [6]	11
Obr. 5 Vstřikovací jednotky strojů Zhafir série Zeres a Mercury[6].....	12
Obr. 6 Hydraulická uzavírací jednotka Arburg [9].....	13
Obr. 7 Rozměry vázané a nevázané formou [1]	15
Obr. 8 Nedotečený výstřik (vlevo) a přetok materiálu [12].....	20
Obr. 9 Propadliny na výrobku [12].....	20
Obr. 10 Průřezy vtokových kanálů [1].....	25
Obr. 11 Jímka čela taveniny [15].....	25
Obr. 12 Příklad použití horkého vtokového systému [16].....	28
Obr. 13 Rozvodný blok [16].....	28
Obr. 14 Příklad dimenzování vrtaných kanálů [15].....	29
Obr. 15 Umístění vyhazovacích kolíků [17].....	31
Obr. 16 Vyhazování stírací deskou [13]	32
Obr. 17 Vyhazování pomocí šikmých kolíků [13]	32
Obr. 18 Model vstřikovaného výrobku.....	38
Obr. 19 Vstřikovaný výrobek	38
Obr. 20 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 C [9]	40
Obr. 21 Dělicí rovina	41
Obr. 22 Tvárník formy.....	42
Obr. 23 Tvárnice formy	42
Obr. 24 Plný kuželový vtok formy	43
Obr. 25 Vyhazovací paket	44
Obr. 26 Detail vyhazovací desky s dorazem.....	44
Obr. 27 Temperace tvárníku	45
Obr. 28 Temperace tvárnice.....	45
Obr. 29 Pohled na celkovou sestavu formy	47
Obr. 30 Pohled do rozevřené formy.....	47
Obr. 31 Řez vstřikovací formou	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Doporučená velikost úkosů [1].....	18
Tab. 2 Vybrané vlastnosti Ultramid A3HG5 [20]	39
Tab. 3 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [9]	40

SEZNAM PŘÍLOH

PI – Výkres sestavy vstřikovací formy (Řez A-A)

PII – Výkres sestavy vstřikovací formy (Řez B-B)

PIII – Výkres sestavy vstřikovací formy (ISO pohled a pozice)

PIV – Výkres sestavy vstřikovací formy (Kusovník)

PV – Výkres vstřikovaného dílce

PVI – CD s uloženými daty BP