

Konstrukce vstříkovací formy v SW CATIA V5

Lukáš Kocián

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Lukáš Kocián
Osobní číslo:	T22049
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce vstříkovací formy v SW CATIA V5

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Připravte 3D model zadaného dílu v SW CATIA V5.
- Provedte konstrukci 3D sestavy vstříkovací formy pro výrobu plastového dílu.
- Nakreslete výkres 2D sestavy vstříkovací formy.

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

Seznam doporučené literatury:

BEAUMONT, John P. Návrh a řešení vtokových soustav: příručka pro úspěšné vstřikování plastů. Brno: Jan Svoboda, 2022. ISBN 978-80-11-01188-8.

KAZMER, David. Injection mold design engineering. 3rd edition. Munich: Hanser publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4.

TICKOO, Sham. CATIA: kompletní průvodce. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 9788025135273.

LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices*. Munich: Hanser publications, [2020], xxiii, 400 s. ISBN 978-1-56990-689-7.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na zkonstruování vstřikovací formy pro zadaný plastový výrobek v softwaru CATIA V5. Práce je rozdělena do dvou částí. V teoretické části jsou popsány základní informace o polymerech a jejich zpracování, technologii vstřikování, požadavků na konstrukci plastové součásti a vstřikovací formy. Praktická část se věnuje popisu zadaného vstřikovaného výrobku a materiálu určeného pro jeho vstřikování. Dále je detailně rozebrán samotný proces konstrukce vstřikovací formy.

Klíčová slova: polymery, technologie vstřikování, vstřikovací forma, CATIA

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the design of an injection mold for a given plastic part in the software CATIA V5. The thesis is divided into two parts. The theoretical part describes basic information about polymers and their processing, injection molding technology, requirements for the design of the plastic part and the injection mold. The practical part is devoted to the description of the specified injection molded product and the material intended for its production. Furthermore, the process of the injection mold design itself is discussed in detail.

Keywords: polymers, injection molding technology, injection mold, CATIA

Rád bych vyjádřil své upřímné poděkování panu prof. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., za jeho cenné rady a odborné vedení při psaní této bakalářské práce. Dále chci poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	13
1.1 PLASTY	13
1.1.1 Termoplasty.....	13
1.1.2 Reaktoplasty	15
1.2 ELASTOMERY	15
1.2.1 Kaučuky	16
1.3 PŘÍSADY DO POLYMERŮ	17
1.4 VOLBA TERMOPLASTŮ PŘI NÁVRHU SOUČÁSTI	19
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
2.1 PŘÍPRAVA PLASTŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	21
2.1.1 Sušení granulátu	21
2.1.2 Barvení granulátu	21
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	22
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	22
2.3.1 Vstřikovací jednotka	23
2.3.2 Uzavírací jednotka	24
2.3.3 Volba vstřikovacího stroje	25
3 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI PLASTOVÉHO VÝROBKU	26
3.1 TLOUŠŤKA STĚNY	26
3.2 ŽEBRA	28
3.3 ÚKOSY A PODKOSY.....	29
3.4 JÁDRA	31
3.5 ZAOBLNĚNÍ HRAN, ROHŮ A KOUTŮ	31
3.6 KOMÍNKY A VÝZTUHY	32
3.7 NÁPISY A ZNAČKY	33
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	34
4.1 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM.....	35
4.1.1 Vtokový kanál	36
4.1.2 Rozváděcí kanál	36
4.1.3 Vtokové ústí	37
4.1.4 Druhy vtoků	37
4.2 VYHŘÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM	40
4.2.1 Vyhřívané trysky	41
4.2.2 Vytápěné rozvodné bloky	42

4.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	43
4.3.1	Mechanické vyhazování	44
4.3.2	Pneumatické vyhazování	47
4.3.3	Hydraulické vyhazování	47
4.4	TEMPEROVÁNÍ FOREM	47
4.4.1	Temperační kanálky	48
4.5	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	49
4.5.1	Odvzdušňovací kanálky	50
4.6	VÝBĚR MATERIÁLU PRO VSTŘIKOVACÍ FORMU	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST	53
5	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	54
6	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	55
6.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	56
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	57
7.1	DĚLÍCÍ ROVINA	57
7.2	NÁSOBNOST FORMY	57
7.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	58
7.4	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	59
7.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	62
7.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	63
7.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	64
7.8	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY, VODÍCÍ A UPÍNACÍ PRVKY	66
7.9	TRANSPORT FORMY	68
8	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	70
	ZÁVĚR.....	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
	SEZNAM TABULEK.....	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	80
	SEZNAM PŘÍLOH.....	81

ÚVOD

Technologie vstřikování plastů je považována za jednu z nejrozšířenějších metod využívaných v průmyslu zpracování polymerních materiálů. Tato metoda nachází uplatnění především při sériové výrobě výrobků složitých geometrických tvarů. Vstřikování je využíváno napříč mnoha průmyslovými odvětvími – od výroby dětských hraček a zdravotnických pomůcek až po automobilový a letecký průmysl. Tato technologie je známa již po mnoho let, přičemž s postupem času docházelo k jejímu neustálému zdokonalování. V reakci na rostoucí technologické nároky a vývoj nových typů plastů byly postupně vyvíjeny různé varianty této technologie.

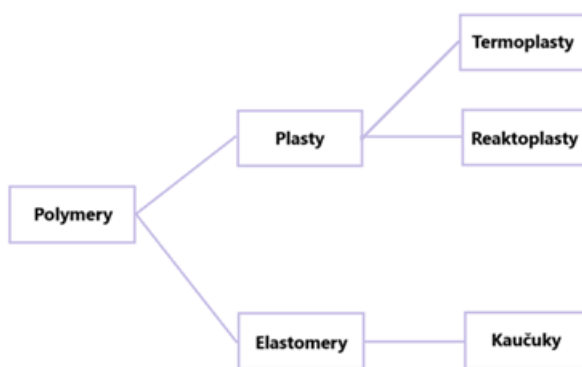
Před samotným zahájením výroby plastových výrobků musí být navržena, vyrobena a uvedena do provozu odpovídající vstřikovací forma. Její konstrukce zásadním způsobem ovlivňuje jak výslednou kvalitu výrobků, tak i efektivitu celého vstřikovacího procesu. Forma představuje složitý systém sestávající z řady komponent, které jsou opakovaně vystavovány tepelným a mechanickým cyklům. Návrh vstřikovací formy často vyžaduje hledání kompromisu mezi náklady, životností a kvalitou výroby. Z tohoto důvodu by měla být forma konstruována s ohledem na konkrétní požadavky výroby, aby bylo dosaženo co nejnižších nákladů na celý životní cyklus a zároveň se minimalizoval čas, finanční prostředky a rizika spojená s vývojem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Polymery mohou být definovány jako rozsáhlá skupina látek, které nacházejí široké uplatnění jak v průmyslu, tak i v běžném životě. Polymer je charakterizován jako makromolekulární látka, která se může lišit složením, velikostí molekul, jejím tvarem a také uspořádáním molekulárních řetězců.

Polymery jsou rozdělovány do dvou základních skupin, kterými jsou plasty a elastomery, které se dále člení do dalších podskupin. [1]



Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů

(zdroj: vlastní)

1.1 Plasty

Plasty jsou materiály složené z organických i anorganických prvků, které se během výroby taví pomocí tepla a tlaku, což umožňuje jejich formování do různých tvarů.

Plasty jsou obecně rozdělovány na termoplasty a reaktoplasty, přičemž k nim mohou být zařazeny také termoplastické elastomery. [2]

1.1.1 Termoplasty

Termoplast je definován jako materiál s lineárními nebo rozvětvenými makromolekulami, které jsou za standardní teploty pevné. Zahřátím je jim umožněno přejít do plastického stavu, ve kterém mohou být snadno tvarovány. Po ochlazení jsou ztuhnutím stabilizovány a jejich tvar je zachován. Během zahřívání není vyvolávána chemická reakce a chemická struktura není při zpracování změněna. Převedení do plastického stavu může být opakováno, avšak jeho vlastnosti bývají opakovaným zahříváním postupně zhoršovány. [1]

Termoplasty jsou řazeny mezi nejrozšířenější plasty na světě a mezi nejznámější jsou považovány polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) a polyoxymethylen (POM).

Z hlediska vnitřní struktury jsou termoplasty rozdělovány na:

- amorfní – řetězce jsou charakterizovány nepravidelným prostorovým uspořádáním, přičemž makromolekuly jsou umístěny v náhodných pozicích. Bývají vysoce pevné a díky nízkému indexu lomu je u nich umožněna průhlednost nebo čírost. Typickými vlastnostmi jsou uváděny modul pružnosti, tvrdosti a křehkosti. Poměrně malé smrštění vůči formě je považováno za výhodu, díky které jsou amorfní termoplasty vhodné pro výrobu rozměrově přesných dílů a součástí,



Obrázek 2 Amorfní struktura

(zdroj: [4])

- semikrystalické – řetězce jsou charakterizovány určitým stupněm uspořádání, označovaným jako krystalinita. Obvykle mají mléčné zabarvení a jejich pružnost a pevnost je ovlivněna úrovní krystalinity. Při vstřikování je zaznamenáváno větší smrštění oproti formě, přičemž fáze ochlazení je zde považována za klíčovou. Tyto plasty jsou využívány v teplotním rozmezí mezi teplotou skelného přechodu (T_g) a teplotou tání krystalické složky (T_m).



Obrázek 3 Semikrystalická struktura

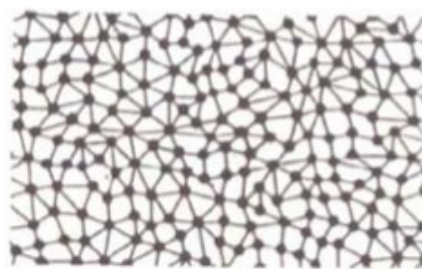
(zdroj: [4])

Termoplasty jsou nejčastěji využívány v automobilovém průmyslu, ale jejich uplatnění je stále více rozšiřováno i v dalších oblastech spotřebního průmyslu. [3]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou materiály, které jsou zahříváním uvedeny do plastického stavu, ve kterém mohou být lehce tvarovány. Delším zahříváním je způsobováno síťování makromolekul, které vede k vytvrzení materiálu a jeho ztuhnutí. K vytvrzení materiálu může dojít jak působením teploty, tak i působením tvrdidel. Tento proces je nevratný a výsledný materiál nepřechází opět do plastického stavu, takže je netavitelný, nerozpustný a nesvařitelný. Síťováním makromolekul je dosaženo vysoké pevnosti, ale také zvýšené křehkosti. V nevytvrzeném stavu jsou reaktoplasty označovány jako pryskyřice.

Mezi nejpoužívanější reaktoplasty jsou zařazovány fenol formaldehydová pryskyřice (PF) nebo epoxidová pryskyřice (EP). [1]

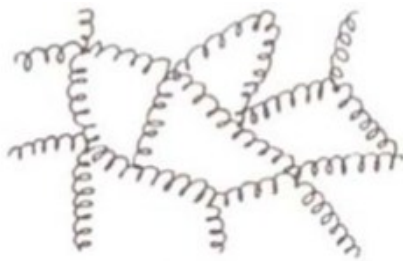


Obrázek 4 Struktura reaktoplastu

(zdroj: [4])

1.2 Elastomery

Elastomery jsou materiály, které jsou vysoce pružné (elastické) a mají nízkou tuhost, kterou jde za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez jejich porušení. Deformace bývá převážně vratná. Typickým příkladem elastomerů jsou kaučuky, ze kterých jsou pryže vyráběny vulkanizací (řídkým sesítním makromolekul). Pryže, jako vulkanizovaný elastomer, jsou charakterizovány chemickými (příčnými) vazbami mezi makromolekulami, které vytvářejí uzly prostorové sítě. Vulkanizované elastomery nemohou být převedeny do kapalného stavu působením tepla. [1]



Obrázek 5 Struktura elastomeru

(zdroj: [4])

1.2.1 Kaučuky

Kaučuk je pružný materiál, který se získává přírodně ze stromu brazilského kaučukovníku ve formě mléčné šťávy označované jako latex nebo synteticky, kde základním prvkem je ropa.

Kaučuky mohou být rozděleny podle použití na:

- kaučuky pro všeobecné použití – pryžím zajišťují vysokou pevnost a odolnost vůči oděru. Kvůli nízké odolnosti proti stárnutí, jsou jejich směsi doplňovány stabilizátory. Jsou vhodné pro výrobu spotřebního a zdravotního zboží, pneumatik nebo gumové obuvi. Mezi nejpoužívanější kaučuky pro všeobecné použití patří přírodní kaučuk (NR) nebo butadienový kaučuk (BR),
- kaučuky pro speciální aplikace – využití těchto kaučuků se uplatňuje tehdy, kdy je vyžadována dlouhodobá odolnost vůči olejům a vysokým teplotám. Mezi nejpoužívanější kaučuky pro speciální aplikace patří chloroprenový kaučuk (CR) nebo butadien-akrylonitrilový kaučuk (NBR). [8]



Obrázek 6 Surový přírodní kaučuk

(zdroj: [9])

1.3 Přísky do polymerů

V průmyslové praxi jsou polymery obvykle modifikovány různými přísadami, které upravují jejich vlastnosti a přizpůsobují je specifickým požadavkům. Základní vlastnosti materiálu jsou však určeny typem polymeru, přičemž přísady tyto vlastnosti zlepšují, chrání materiál před degradací, zlepšují jeho zpracovatelnost nebo snižují jeho cenu. [1]

Přísady do polymerů se rozdělují do několika skupin:

- zpracovatelské přísady – jedná se o přísady, díky kterým je umožněna a usnadněna příprava a zpracování polymerních směsí. Do zpracovatelských přísad jsou zařazovány:
 - plastikační činidla – přísady, používané k usnadnění procesu plastikace kaučuku,
 - maziva – přísady používané k usnadnění zpracování polymeru a ke zlepšení vlastností hotových výrobků, jako je kvalita povrchu nebo odolnost vůči povětrnostním vlivům. Jsou rozdělována na maziva s vnějším a vnitřním účinkem,
 - separační činidla – slouží k lehčímu vyjmutí hotového výrobku z formy (např. pomocí silikonového oleje nebo separační fólie),
 - změkčovadla – málo těkavé organické látky, které jsou používány k zajištění větší ohebnosti, tvárnosti a vláčnosti polymerů. Slouží také ke snížení viskozity a tuhosti,
 - tepelné stabilizátory – přísady, které chrání polymer před tepelnou degradací během zpracování polymerních směsí. [5]
- antidegradanty – jedná se o skupinu přísad používaných k dlouhodobé ochraně výrobků před vnějšími vlivy během jejich užívání. Mezi tyto vlivy patří zejména působení slunečního záření, ozonu a tepelné energie. Do antidegradantů jsou zařazovány:
 - světelné stabilizátory – přísady, které absorbují ultrafialové záření (UV),
 - antioxidanty – přísady, které dlouhou dobu dokáží chránit polymerní výrobky před působením atmosférického kyslíku a také dokážou zpomalit stárnutí polymerů,

- antiozonanty – přísady, které dlouhou dobu dokáží chránit polymerní výrobky před působením atmosférického ozonu. [5]
- síťovací prostředky – jedná se o přísady, které se podílejí na síťovacích reakcích, při kterých dochází ke spojování lineárních nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců příčnými vazbami, čímž vzniká struktura prostorové sítě. Mezi síťovací prostředky jsou zařazovány:
 - síťovací činidla – patří mezi nejdůležitější síťovací prostředky, bez kterých nemůže dojít k síťování polymerů,
 - aktivátory síťování – přísady, které snižují aktivační energii síťovací reakce a zvyšují účinnost síťovací reakce,
 - urychlovače síťování – přísady, které urychlují síťovací reakci. [5]
- přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti:
 - plniva – přísady, které slouží ke zlepšení mechanických vlastností materiálu jako je např. odolnost vůči oděru, odolnost vůči teplotě, korozi, tuhosti nebo pevnosti. Dále mohou ovlivňovat vzhled výrobků a snižovat jejich cenu,
 - vyztužovadla – látky, které slouží ke zpevnění polymerního výrobku díky svému tvaru a struktuře,
 - nadouvadla – přísady, které se při teplotě tváření polymerní směsi rozkládají a vytvářejí plynné produkty, které následně ve výrobku vytvářejí uzavřené nebo otevřené póry,
 - pigmenty – barevné prášky, které nelze rozpustit v polymerech. Tyto prášky dávají materiálu barevný odstín a kryvost. Pigmenty mohou být rozděleny podle původu na organické a neorganické. Velikost pigmentů se pohybuje v rozmezí od 0,0002 mm do 0,01 mm. [5, 6]
- speciální přísady – jedná se o přísady, které jsou využívány k dodání speciálních vlastností polymernímu materiálu, a proto jsou přidávány pouze do určitých směsí. Do speciálních přísad se zařazují:
 - antistatické prostředky – přísady, které se přidávají do polymerních materiálů, aby zabránily vzniku elektrostatického náboje při jejich tření,

- faktisy – přísady, které se přidávají do kaučukových směsí ke zlepšení hladkosti povrchu při vytlačování nebo také k dodržení přesnějšího tvaru výrobku,
- adhezni prostředky – přísady, které zvýší adhezi polymerních materiálů k jiným materiálům,
- prostředky snižující hořlavost – přísady používané k omezení hořlavosti polymerních materiálů. Tyto látky se aplikují při výrobě nehořlavých nátěrových hmot nebo při lehčených polymerních materiálů pro stavebnictví a obalovou techniku. Označovat se mohou také jako zhašedla, nebo jako retardéry hoření,
- brusné prostředky – polymer je pojivem pro brusné materiály,
- výbušniny – označují se jako plastické trhaviny a využívají se například při těžbě v dolech. [5]

1.4 Volba termoplastů při návrhu součásti

Vstřikováním je možné vyrobit kompletní součást, která obvykle nevyžaduje žádné, nebo jen minimální dodatečné opracování. Při výběru vhodného termoplastu pro danou součást jsou zvažovány konkrétní podmínky provozního zatížení a celkového využití. Součást musí kromě požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností splňovat také požadavky na tvar, dosažitelné rozměry a kvalitu povrchu vhodnou pro výrobu.

Optimální volba plastu je posuzována z následujících hledisek:

- funkce součásti musí být v souladu s definovanými požadavky,
- zvolená technologie výroby součásti musí být snadno realizovatelná na určeném stroji a reálná při dodržení požadovaných parametrů,
- výběr plastu musí být ekonomicky výhodný z hlediska technologie výroby součásti i formy.

Na základě zhodnocení uvažovaných hledisek může být konstruktérem stanoven vhodný plast nebo i více podobných materiálů. Mezi těmito materiály poté rozhodují méně významné faktory, jako jsou estetické vlastnosti nebo dostupnost plastu. [7]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je proces, který patří mezi nejrozšířenější způsob výroby plastových výrobků. Vstřikovat se mohou kromě plastů také termoplasty, reaktoplasty, termoplastické elastomery nebo elastomery. Princip vstřikování spočívá v roztavení plastových granulátů pomocí procesu plastikace. Roztavená tavenina je následně vstříknuta do dutiny formy, kde tuhne během chlazení. Po ztuhnutí je hotový výrobek vyjmut z formy. [1, 10]

Vstřikování je v současnosti nejdůležitější metodou zpracování plastů pro výrobu spotřebního i průmyslového zboží po celém světě. Tento proces se vyznačuje řadou výhod, jako jsou:

- nízké náklady a vysoká efektivita, jelikož díly mohou být vyráběny ve velkém množství bez nutnosti složitých postupů nebo drahé kvalifikované práce,
- dosažení vysoké tvarové flexibility, která umožňuje výrobu téměř jakýchkoli tvarů a detailů s vysokou přesností,
- výrobek se vyznačuje nízkou hmotností, vysokou pevností vzhledem k hmotnosti a vynikající odolností proti nárazu,
- dosažení čistého finálního tvaru výrobku bez potřeby dodatečné povrchové úpravy,
- plasty mohou být přepravovány snadno, bezpečně a efektivně. [2]

Výrobky vyrobené pomocí vstřikování mohou sloužit jako finální hotové výrobky, například hračky pro děti, nebo jako polotovary určené k dalšímu sestavení výrobních celků, jako jsou ozubená kola atd. Hmotnosti vstřikovaných výrobků se mohou pohybovat od desetin gramů až po několik kilogramů. [1]



Obrázek 7 Vstřikovaný výrobek

(zdroj: [11])

2.1 Příprava plastů před vstřikováním

Před vstřikováním je nutné připravit termoplast do takového stavu, aby bylo umožněno jeho bezproblémové zpracování a zajištění, že výrobek splní požadované specifikace. Mezi takové přípravy se zařazuje sušení granulátu, barvení granulátu a recyklace plastů. [7]

2.1.1 Sušení granulátu

Termoplastické materiály musí být před zpracováním často předsušeny. Je to způsobeno tím, že materiál pohlcuje vlhkost ze vzduchu, která může vést k degradaci polymeru. Tím dochází ke snížení kvality materiálových vlastností a ke zhoršení povrchové kvality výrobků. Výrobky pak postrádají povrchový lesk a jsou obtížně vyjímány z formy.

Granulované plasty mohou být dodány vysušené ve vzduchotěsných obalech, které se musí zpracovat ihned anebo nevysušené v papírových či plastových pytlech, které je potřeba nejprve vysušit. Granulát bývá uschováván v suchých skladech, aby nedocházelo k jeho zvlhnutí. Pokud je potřeba granulát při zimním období zpracovat, musí se nechat 24 hodin klimatizovat na místě, kde dochází k jeho zpracování, aby se zamezilo orosení granulátu. K sušení granulátu jsou využívány komorové pece, které jsou vybavené přirozeným cirkulujícím vzduchem. [7]

2.1.2 Barvení granulátu

Pro barvení plastů jsou používány barvy od různých výrobců, které jsou dodávány v papírových nebo polyetylenových pytlích, případně v plechových sudech. Barvy jsou skladovány v suchých skladech. Pokud je barvení prováděno vlastním způsobem, je vyžadováno dávkovací zařízení zabudované na vstřikovací stroji, nebo se granulát vybarvuje před vstřikováním pomocí vytlačovacího stroje, kde je granulát smíchán s barvivem a následně zapracován do plastu. [7]

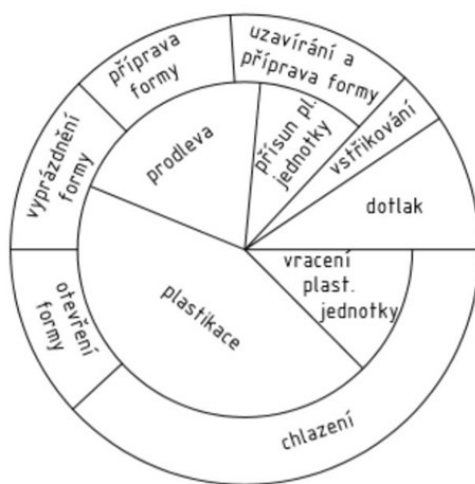


Obrázek 8 Barevné granuláty

(zdroj: [12])

2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je sled přesně specifikovaných fází, díky kterým je umožněno vytvořit požadovaný vstřikovací výrobek. Cyklus začíná ve vstřikovací jednotce, kde dochází k plnění násypky granulemi, ze které si šnek svým otáčivým pohybem dopraví materiál do tavicí komory a pomocí topení dochází ke vzniku taveniny. Tahle fáze se označuje jako plastikace. Další fází je příjezd pohyblivé části formy k pevné, při které dochází k uzavření vstřikovací formy. Poté nastává přisun vstřikovací jednotky k uzavřené formě a dojde ke vstříknutí taveniny do dutiny formy a dotlaku, který bude sloužit ke snížení smrštění a případného dovyplnění dutiny formy. Následně nastává odsun vstřikovací jednotky od vstřikované formy do původní polohy a také ke chladnutí materiálu v dutině formy. Jakmile bude materiál dokonale ochlazen, nastane otevření pohyblivé části formy a vyhození výrobku. Během této fáze je vstřikovací jednotka opět ve své původní poloze, kde začíná nová plastikace a celý vstřikovací cyklus se může zopakovat. [1, 13]



Obrázek 9 Vstřikovací cyklus

(zdroj: [14])

2.3 Vstřikovací stroj

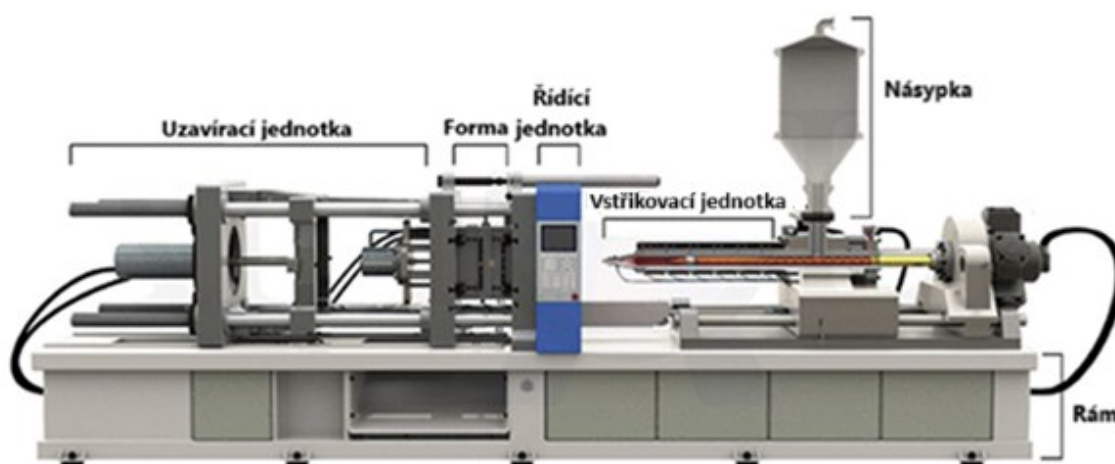
Vstřikovací stroje slouží ke vstřikování plastů, které mohou být poháněny hydraulicky, elektricky nebo hybridně. Tyto stroje jsou vybaveny dvěma na sobě nezávislými jednotkami: vstřikovací a uzavírací. [1]

Vstřikovací a uzavírací jednotka u vstřikovacího stroje může mít různé uspořádání a mezi nejběžnější varianty je zařazováno horizontální, vertikální a úhlové uspořádání. [20]

Dnešním trendem jsou konstrukce převážně plně elektrických vstřikovacích strojů, jejichž veškeré funkce jsou řízeny servomotory, nebo asynchronními motory. [19]

Aby byly dosaženy kvalitní a přesné výrobky, musí vstřikovací stroj splňovat následující funkce:

- musí být zajištěna jeho tuhost a pevnost během vstřikování,
- musí být udržován konstantní tlak, rychlost, teplota a další parametry včetně jejich časování,
- musí být zaručena přesná reprodukovatelnost technologických parametrů. [7]



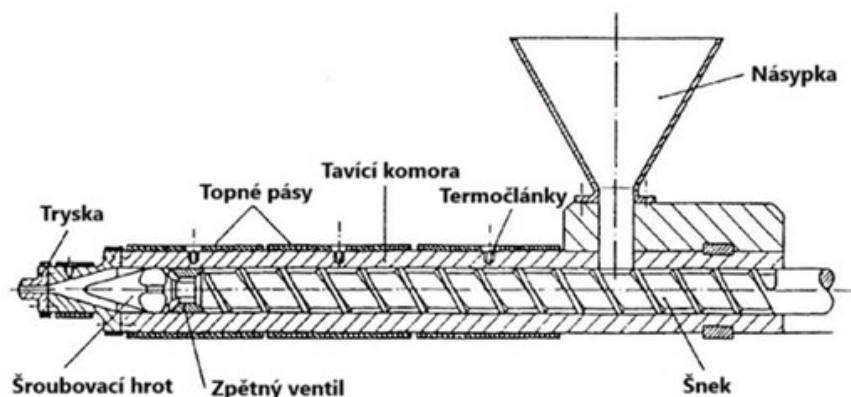
Obrázek 10 Vstřikovací stroj

(zdroj: [2])

2.3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka je tvořena násypkou, umístěnou na zadní straně válce vyhřívaného topnými pásy. Ve válci se nachází šnek, který je používán k rotaci pro dávkování plastového materiálu na další výstřik, nebo k lineárnímu pohybu jako píst při vstřikování materiálu do formy. Na konci šneku je zpětný ventil, kterému je zabráněno zpětnému proudění materiálu během plnění formy. Válec je přitlačován k trysce, skrze kterou je materiál vstřikován do dutin formy. [15]

Přibližně 30 % tepla potřebného k tavení je vytvářeno elektrickými topnými pásy a zbylých 70 % je produkováno rotačním pohybem šneku. [10]



Obrázek 11 Vstřikovací jednotka

(zdroj: [16])

2.3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k ovládání a zajištění dokonalého otevírání a zavírání vstřikovací formy. Dále může uzavírací jednotka udržovat formu v uzavřeném stavu při procesu vstřikování nebo vyhazovat hotové výrobky. [1, 7]

Mezi hlavní části uzavírací jednotky patří:

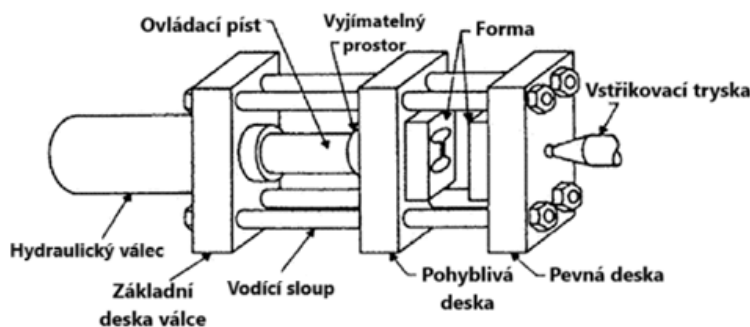
- pevná deska,
- pohyblivá deska,
- vodící sloupy,
- uzavírací mechanismus. [7]

U vstřikovacích strojů jsou nejpoužívanější tři typy uzavíracích mechanismů: hydraulický, hydraulickomechanický a elektromechanický. [17]

Hydraulická uzavírací jednotka dovoluje pootevření nástroje pomocí hydraulického tlaku, kde je zajištění vykonáváno závorou. Za výhodu této jednotky je považováno libovolné nastavení hloubky otevření nástroje.

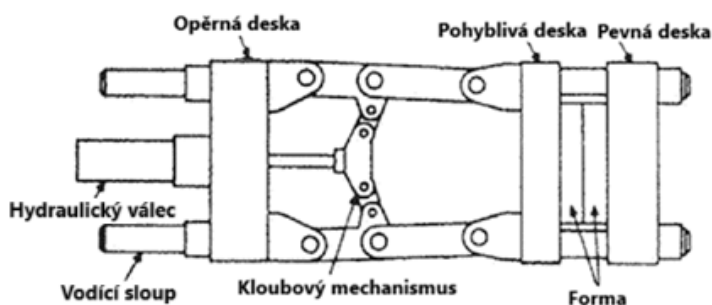
Hydraulicko-mechanická jednotka zajišťuje větší rychlosti uzavírání, dostatečnou tuhost a potřebné zpomalení před úplným uzavřením formy. Tato jednotka se nejvíce uplatňuje u strojů, kde je potřeba malá hmotnost určitých látek a je tvořena kloubovým mechanismem, který je ovládán hydraulickým válcem. [7]

Elektromechanická jednotka je charakterizována snadným ovládáním, jednoduchou konstrukcí, nízkou spotřebou energie a zároveň vysokou uzavírací rychlostí. [17]



Obrázek 12 Hydraulická uzavírací jednotka

(zdroj: [18])



Obrázek 13 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka

(zdroj: [18])

2.3.3 Volba vstřikovacího stroje

Aby bylo dosaženo kvalitních výrobků, je vstřikovací stroj ovlivňován řadou významných specifikací, jako je hmotnost vyráběného výrobku, velikost formy, kvalita nebo požadovaná přesnost. Vstřikovací stroj musí obsahovat dostatečnou vstřikovací kapacitu, vhodnou koncepci stroje a dostatečnou uzavírací sílu.

Celková hmotnost výrobku je určena součinem hmotnosti jednotlivého vstřikovaného výrobku a počtem dutin ve formě, ke kterému se přičítá hmotnost vtoků.

Maximální vstřikované množství taveniny nemá přesáhnout 90 %, protože ve stroji musí být ponechána rezerva hmotového polštáře pro případné doplnění materiálu při jeho úbytku v důsledku smrštění.

Kvalita vstřikovacího stroje je určována jeho konstrukcí, přesností řízení jednotlivých parametrů, jeho reprodukovatelností a stálostí. Pokud nejsou požadované parametry stroje dodrženy, dochází ke snížení kvality výrobku, která se projevívá vznikem napětí. [7]

3 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI PLASTOVÉHO VÝROBKU

Pro uskutečnění plastových výrobků jsou stanoveny určité limity konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by neměly být překračovány, jinak dochází k problémům při výrobě. Bez dostatečných znalostí je obtížné těmto problémům předejít a zajistit, aby výsledný výrobek splňoval požadavky výroby.

Obecně je možné říci, že čím jednodušší je konstrukce výrobku, tím příznivější jsou její pevnostní podmínky, snazší dodržení rozměrů, nižší náklady na výrobu formy a jednodušší proces výroby výrobku. V praxi je vždy nutné hledat kompromis mezi vznesenými požadavky. [7]

3.1 Tloušťka stěny

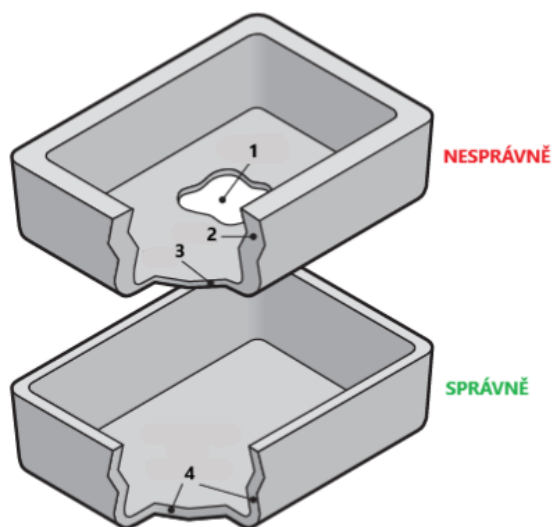
Tloušťka stěny je klíčovým faktorem ovlivňujícím mechanickou odolnost, pocit při používání, vzhled, tvarovatelnost a ekonomičnost plastového výrobku. Optimální tloušťka stěny bývá určována jako kompromis mezi protichůdnými požadavky, například mezi pevností a snížením hmotnosti nebo odolností a náklady.

Při velmi tenkých tloušťkách stěn mohou být způsobena vysoká formovací napětí, mohou se objevovat kosmetické vady a mohou nastat potíže s plněním, které by mohly omezit zpracovatelské okno. V opačném případě může být při velmi tlustých tloušťkách stěn prodloužena doba cyklu a mohou být způsobeny komplikace při plnění. Mezi další faktory, které musí být zohledněny při určování tloušťky stěny, patří:

- udržování rovnoměrné jmenovité tloušťky stěny (viz obr. 14),
- vyhýbání se změnám tloušťky stěn z tenkých na tlusté.

Mnoho konstrukčních návrhů, které byly převedeny z kovového odlitku na plastový, obsahují silné průřezy, u kterých by mohlo dojít ke vzniku propadlin nebo staženin. Proto musí být úprava těchto návrhů na plastové výrobky prováděna v souladu s následujícími požadavky:

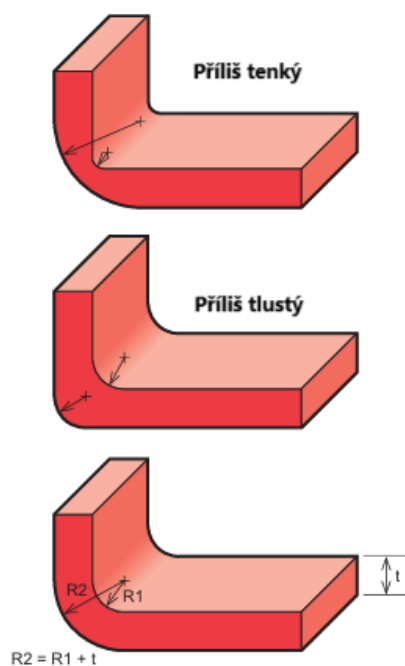
- vnější rádius musí být vytvořen o jednu tloušťku stěny větší než vnitřní rádius, aby bylo dosaženo konstantní tloušťky stěny v rozích (viz obr. 15),
- přechody tlouštěk musí být vytvořeny plynule (viz obr. 16). [21]



Obrázek 14 Nesprávný a správný návrh rovnoměrnosti tloušťky stěny

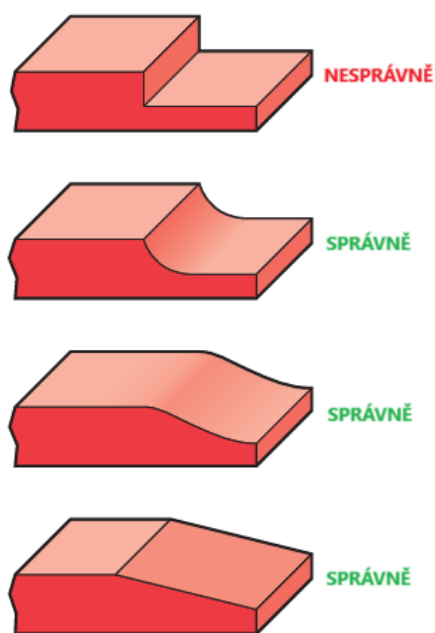
(zdroj: [21])

1 – vzduchová kapsa, 2 – tlustá tloušťka stěny, 3 – tenká tloušťka stěny, 4 – rovnoměrná tloušťka stěny



Obrázek 15 Tvorba vnějšího a vnitřního rádiusu

(zdroj: [21])



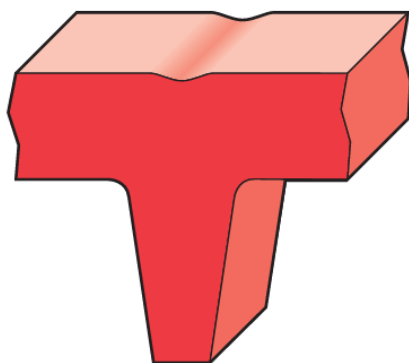
Obrázek 16 Přejechy tloušťek stěn

(zdroj: [21])

3.2 Žebra

Použitím žeber je umožněno hospodárné zvýšení pevnosti a tuhosti vstřikovaných výrobků bez nutnosti zvětšení celkové tloušťky stěny. Při návrhu žeber musí být pečlivě zvažováno pět hlavních aspektů: tloušťka, výška, umístění, množství a tvarovatelnost.

U žeber s velkou tloušťkou dochází často ke vzniku propadlin a kosmetických vad na opačném povrchu stěny, ke které jsou žebra připojena. Závažnost propadlin je ovlivněna nejen tloušťkou žebra, ale také materiálem, povrchovou strukturou, barvou, blízkostí vtokového ústí a různými podmínkami zpracování. [21]

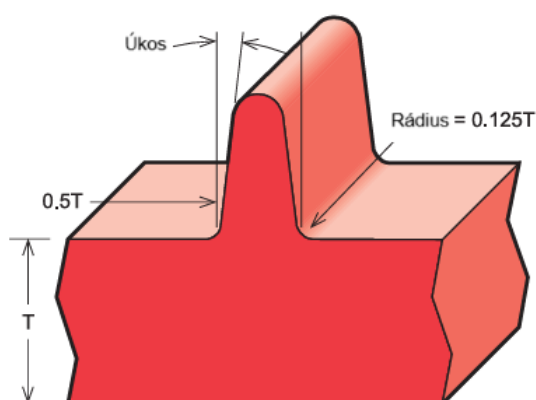


Obrázek 17 Vznik propadliny na opačném povrchu stěny

(zdroj: [21])

U vysoce lesklých povrchů může být vyžadováno použití tenčích žebíř. U výrobků s tloušťkou stěny 1 mm nebo menší by měla být tloušťka žebra stanovena tak, aby se rovnala tloušťce stěny.

Ve formě jsou žebra obvykle vytvářena jako slepé otvory ve směru otevírání vstřikovací formy. Pro snadné zajištění vyhození vstřikovaného výrobku z formy musí být na každé straně žebra aplikován úkos minimálně $0,5^\circ$. Pokud je úkos větší jak 1° na každé straně, může dojít k výraznému snížení tloušťky žebra a ke komplikacím při plnění dutiny vstřikovací formy. [21]



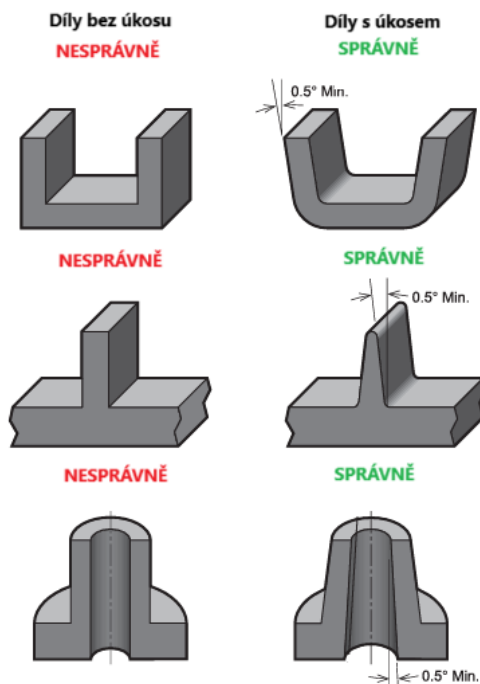
Obrázek 18 Návrh žebra

(zdroj: [21])

3.3 Úkosy a podkosy

Úkos je definován jako úhel sklonu mezi svislými plochami plastových výrobků a směrem, kterým je forma otevírána. Používá se k usnadnění vyjmutí výrobků z formy. Výrazný úkos je často omezován konstruktéry, protože může ovlivnit vzhled výrobku a zmenšit jeho vnitřní objem. Přesto je běžně využíván u plastových výrobků, aby bylo zabráněno obtížím při vyhazování a nadměrně složitým konstrukcím forem.

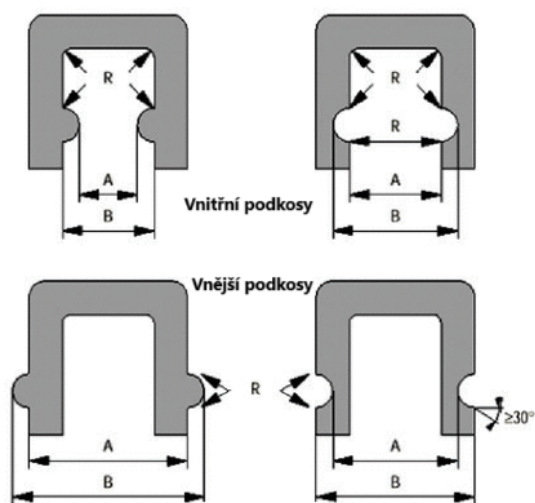
Obvykle je doporučován minimální úhel úkosu $0,5^\circ$, zatímco podle doporučení dodavatele materiálu se běžně navrhuje úkos v rozmezí 1 až 2° . U drsných a strukturovaných povrchů je často vyžadován dodatečný úkos a na každých $20\text{ }\mu\text{m}$ drsnosti povrchu nebo hloubky textury se zpravidla přidává další 1° úkosu. [22]



Obrázek 19 Nesprávný a správný návrh úkosů

(zdroj: [21])

Podkosoý jsou prvky, kterými je bráněno vyhození výrobku z formy a kterými je komplikována nejen konstrukce, ale také funkce formy, a proto je snaha se jim vyvarovat. Pokud má být docíleno snadnějšího odformování podkosoý, musí být na výrobku vytvořeny oblé tvary. Dále by měl být zkrácen cyklus, aby bylo zabráněno nadměrnému smrštění do formy, které by komplikovalo vyhazování. [4, 22, 23]



Obrázek 20 Vnitřní a vnější podkosoý

(zdroj: [23])

3.4 Jádra

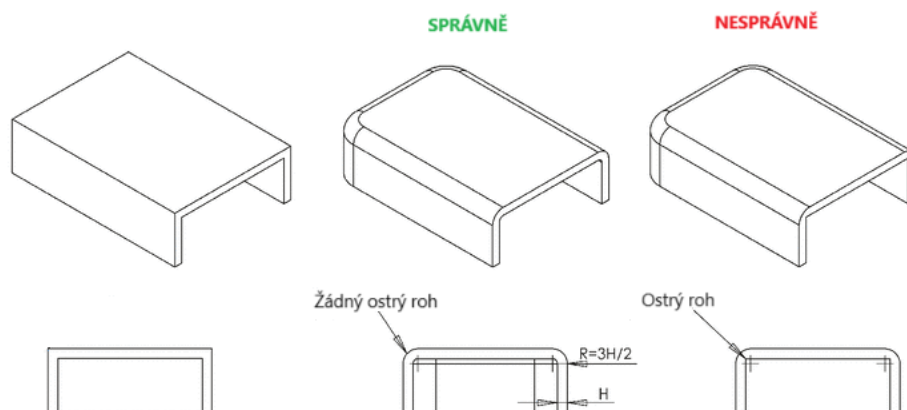
Vyčnívající části formy, označované jako jádra, jsou využívány k vytvoření vnitřních povrchů prvků, jako jsou kapsy, otvory nebo výklenky. Plast je díky jádrům odstraňován z tlustých oblastí, aby byla zajištěna rovnoměrná tloušťka stěny. Pokud je to možné, měly by být vstřikované výrobky navrženy tak, aby mohla být jádra oddělena od výrobků ve směru otevírání formy. Během plnění dutiny formy mohou být vysoká jádra, která vytvářejí hluboké, případně dlouhé otvory, vystavena vysokým bočním silám způsobeným postupujícím tokem taveniny. Tyto síly mohou způsobit jejich vychýlení nebo ohnutí z původní polohy, což vede ke změně tvaru výrobku. V závažných případech může ohýbání způsobit únavu oceli formy nebo zlomení samotného jádra. [21]

3.5 Zaoblení hran, rohů a koutů

Zaoblením je dosaženo usnadnění toku taveniny, zamezuje se koncentraci napětí v těchto oblastech a zároveň je snižováno opotřebení formy, jelikož přechody s ostrými hranami vyžadují vyšší vstřikovací tlaky. [7]

Ostré rohy jsou při návrhu výrobků často specifikovány s cílem maximalizovat vnitřní objem součásti, ulehčit spojování mezi komponenty nebo zlepšit estetiku. U vstřikovaných výrobků by se jim však mělo vyhýbat, protože mohou negativně ovlivnit výkon produktu, komplikovat konstrukci formy a ztížit proces vstřikování plastů.

Na obr. 21 je zobrazen vnější poloměr zaoblení rohu, který odpovídá 150 % tloušťky stěny. Aby byla zachována jednotná tloušťka materiálu kolem rohu, je zaoblení na vnitřním rohu určeno na 50 % tloušťky stěny. [22]

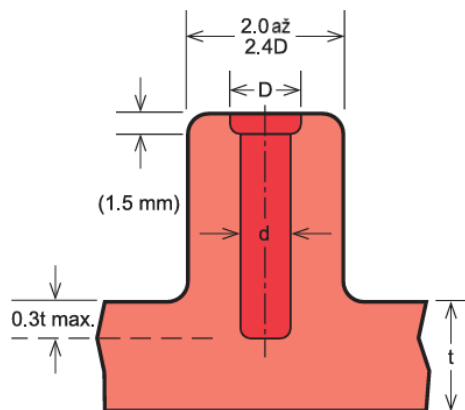


Obrázek 21 Nesprávný a správný návrh zaoblení rohů

(zdroj: [22])

3.6 Komínky a výztuhy

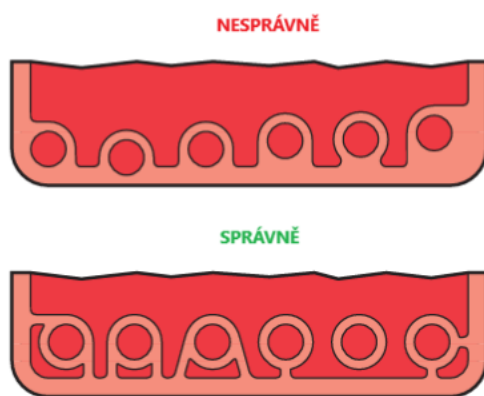
Komínky jsou využívány v mnoha konstrukcích jako upevňovací a montážní body. Nejčastěji jsou vyráběny jako válcové výstupky s otvory určenými pro šrouby nebo závitové vložky. Obvykle je doporučováno, aby vnější průměr těchto výstupků byl v rozmezí 2,0 až 2,4 násobku vnějšího průměru šroubu nebo vložky. [21, 23]



Obrázek 22 Návrh komínku

(zdroj: [21])

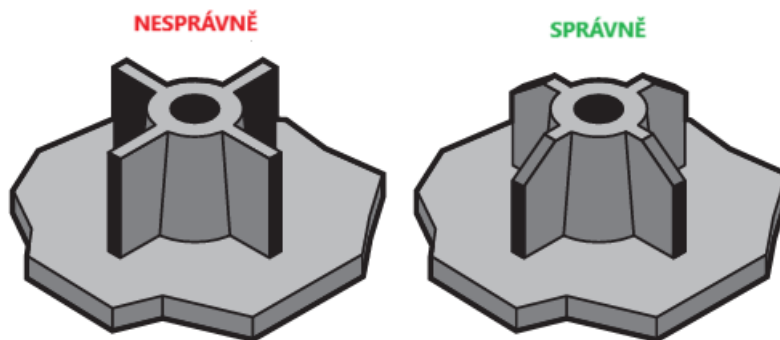
Komínky napojené na boční stěny vstřikovaného výrobku mohou vést k tvorbě propadlin. Pro zabránění jejich vzniku je doporučeno umístit komínky dále od boční stěny a doplnit je spojovacími žebry, aby byla zajištěna jejich podpora.



Obrázek 23 Nesprávný a správný návrh komínků

(zdroj: [21])

Výztuhy jsou prvky podobné žebřům, která jsou využívány jako podpěry pro posílení struktur, jako jsou komínky, žebra a stěny. Stejně jako u žebřů je tloušťka výztuh doporučena v rozmezí poloviny až dvou třetin tloušťky stěn, ke kterým jsou připojeny. [21]



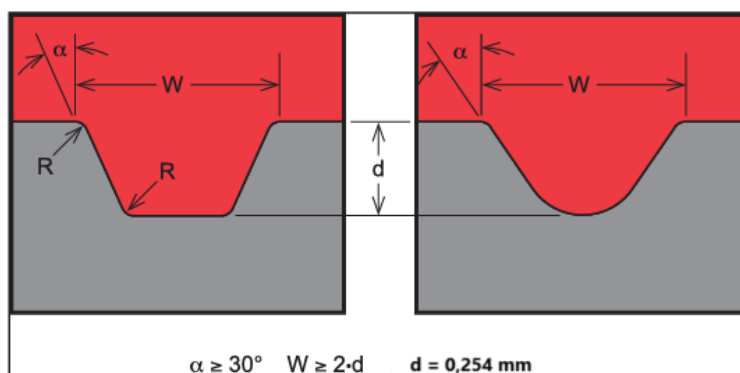
Obrázek 24 Nesprávný a správný návrh výztuhy

(zdroj: [21])

3.7 Nápis a značky

Procesem vstřikování je umožněno vytváření log, schémat, návodů, štítků nebo varování na výrobku, čímž jsou eliminovány náklady na nalepovací nebo malované štítky a zároveň je zlepšena recyklovatelnost. Hluboké a ostré písmo bývá náchylné k tvorbě kosmetických problémů, jako jsou šmouhy a kapkovité defekty, zejména pokud je písmo umístěno v blízkosti místa vstřiku taveniny do formy. Pro vyřešení těchto kosmetických problémů by měly být splněny následující požadavky:

- boční stěny písmen musí být zkoseny nebo zaobleny (viz obr. 25),
- maximální hloubka nebo výška písma na povrchu výrobku nesmí překročit hodnotu 0,25 mm. [21]



Obrázek 25 Návrhy konstrukce průřezového profilu nápisů

(zdroj: [21])

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj s dlouhou životností, která při správném návrhu, konstrukci a údržbě může sloužit déle, než je doba životnosti samotného výrobku. Pomocí formy lze vyrábět vstřikované výrobky nejrůznějších tvarů za pomoci vstřikovatelných plastů. Hlavním společným znakem všech forem je, že po vytvarování musí být výrobek vyjmut, aniž by došlo k poškození formy.

Vstřikovací forma je tvořena dvěma polovinami, z nichž jedna obsahuje alespoň jednu dutinu a druhá odpovídající jádro. Tyto poloviny jsou spojeny v dělicí rovině. Po dostatečném ochlazení vstřikované taveniny je forma otevřena a výrobek je ručně vyjmut, nebo automaticky vyhozen. [2]

Forma není přímo součástí vstřikovacího stroje, protože musí být individuálně navržena pro každý konkrétní vstřikovaný výrobek. Je tvořena minimálně dvěma hlavními komponenty, které jsou namontovány na upínacích deskách upínací jednotky. Maximální velikost formy je určena rozměry upínacích desek.

Každá vstřikovací forma je tvořena následujícími základními prvky:

- deskami s tvarovou dutinou,
- vyhazovacím systémem,
- vtokovým systémem,
- chladícím systémem,
- vodícími a upínacími elementy.

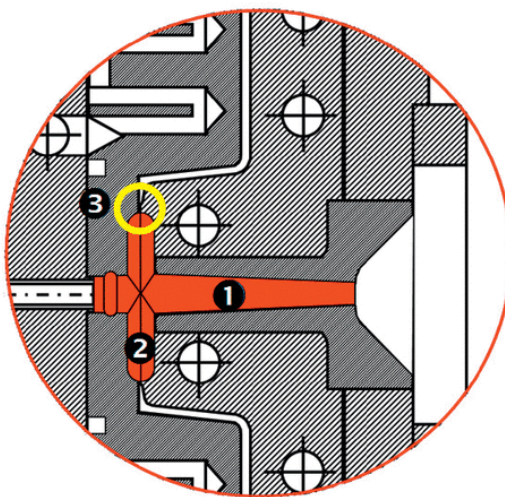
Formy jsou tříděny podle následujících kritérií:

- základní struktury,
- typu vyhazovacího systému,
- typu uzavíracího systému,
- velikosti formy,
- počtu dutin,
- počtu dělicích rovin. [24]

4.1 Studený vtokový systém

Přibližně 70 % všech forem je v současné době vybaveno systémem studených vtoků. Typickým prvkem studeného vtokového systému je vtokový kanál, soustava rozváděcích kanálů a alespoň jedno vtokové ústí. U forem s jednou dutinou bývá vtoková soustava tvořena pouze vtokovým kanálem. V některých případech bývá zvolena kombinace horkého vtokového kanálu a studených rozváděcích kanálů, přičemž výsledná soustava je nadále označována jako studené vtoky. Forma se studenou vtokovou soustavou je při vstřikování termoplastů používána nejčastěji. Ve srovnání s horkými vtoky je takové řešení pořizováno za nižší náklady, je konstrukčně jednodušší a vyžaduje méně náročný provoz i údržbu. Mezi další výhody je řazena i snadná změna barvy nebo materiálu, což je umožněno pravidelným vyhazováním vtokového zbytku na konci každého cyklu.

Za významnou nevýhodu studených vtoků je považována cena materiálu a nutnost následného zpracování vtokového zbytku (studeného kanálu). Vyhozené vtokové zbytky musí být roztrženy od výrobků a následně buď prodány, nebo rozdrceny na druhotný materiál. Při procesu recyklace však bývá zvyšováno riziko kontaminace materiálu. [32]



Obrázek 26 Studený vtokový systém

(zdroj: [15])

1 – vtokový kanál, 2 – rozváděcí kanál, 3 – vtokové ústí

4.1.1 Vtokový kanál

Vtokový kanál je využíván k dopravě taveniny z trysky vstřikovací jednotky do soustavy rozváděcích kanálů (v případě vícenásobných forem), nebo přímo do tvarové dutiny, která je typická pro formy s jednou dutinou. U jednonásobných forem bývá dutina zpravidla umístována do středu nástroje a tavenina je vtokovým kanálem přiváděna do středu dutiny. Typickým příkladem vstřikování přímo do dutiny bývá uváděna výroba kbelíku. [32]

Za jeden z nejčastěji používaných typů vtokového kanálu je považován kuželový tvar. Tento typ vtokového kanálu je včetně vtokové vložky vyráběn z ořezavzdorné oceli, která je charakterizována vysokou pevností a houževnatostí. Průměr vtokového kanálu na straně trysky vstřikovacího stroje bývá navrhován tak, aby byl minimálně o 0,5 až 1 mm větší, než průměr otvoru samotné trysky. Na opačném konci má být největší průměr kanálu zvolen tak, aby byl minimálně o 1,5 mm větší, než největší tloušťka výrobku, případně aby odpovídal šířce rozváděcího kanálu. [25]

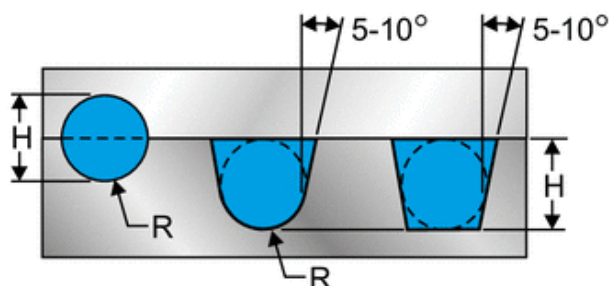
4.1.2 Rozváděcí kanál

Rozváděcí kanál je navrhován tak, aby propojoval vtokový kanál s ústím vtoku a tvářecí dutinou. Délka kanálů je určována typem vstřikovací formy. [25]

Při určování rozváděcích kanálů musí být uváženy následující požadavky:

- rozváděcí kanály musí umožňovat bezproblémové naplnění výrobku,
- šířka rozváděcích kanálů musí být volena s ohledem na dostatečný průtok taveniny do dutiny, aby byl zajištěn kvalitní dotlak,
- průřez kanálu musí být navržen co nejmenší, aby bylo zabráněno prodlužování doby cyklu vlivem ochlazování studeného kanálu.

U rozváděcích kanálů je doporučován kruhový průřez, který vykazuje optimální poměr obvodu k ploše průřezu. Při výrobě musí být nástrojárnou dodržena přesná geometrie obou polovin kanálu, přičemž každá polovina je frézována samostatně do jedné poloviny formy. Správná funkce kanálu je zajištěna pouze tehdy, jsou-li obě poloviny při zavření formy dokonale souosé. Jako další varianty jsou využívány průřezy lichoběžníkového, parabolického a půlkruhového tvaru. Tato řešení jsou považována za méně náročná na výrobu, neboť není vyžadováno přesné spojování dvou polovin kanálu. Ve srovnání s kruhovým průřezem dochází u těchto tvarů k větším tlakovým ztrátám v závislosti na objemu kanálu. [32]



Obrázek 27 Kruhový, parabolický a lichoběžníkový tvar

(zdroj: [32])

4.1.3 Vtokové ústí

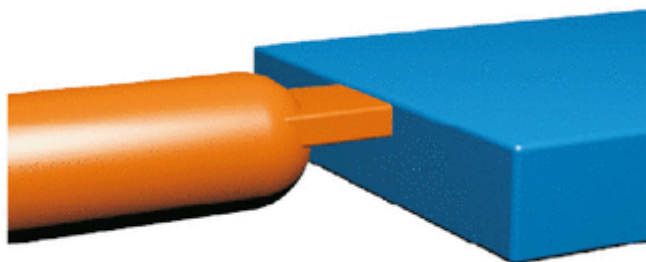
Vtokové ústí je považováno za spojovací článek mezi dutinou a systémem rozvodu taveniny. Obvykle bývá vytvořeno jako zúžené místo, aby mohl být výrobek snadno oddělen. Velikost, umístění a tvar vtokového ústí jsou faktory, které výrazně ovlivňují úspěšnost celého vstřikovacího procesu. Hlavním požadavkem, který musí být splněn je zajištění bezproblémového oddělení studeného kanálu od výrobku.

Aby bylo umožněno snadné oddělení vtokového ústí od výrobku, musí se zvolit malý průřez vtokového ústí. Relativně úzké vtokové ústí komplikuje uplatnění dotlaku, zatěžuje materiál nadměrným smykem a může vést ke vzniku vad, jako je například kresba po volném proudu taveniny. Proto je doporučeno, aby průměr vtokového ústí byl navržen tak, aby představoval 40–70 % tloušťky dané stěny výrobku. Vtokové ústí má být navrženo co nejkratší, aby byly minimalizovány tlakové ztráty. Za vhodné rozmezí délky bývá považováno 0,5 až 1,0 mm.

Umístění vtokového ústí bývá voleno tak, aby nebyl narušen vzhled finálního výrobku stopami po vtoku. Dále je doporučováno, aby se tavenina vstříkovala do nejsilnější stěny výrobku, čímž je zajištěno proudění taveniny z nejsilnějších do tenčích oblastí výrobku. [32]

4.1.4 Druhy vtoků

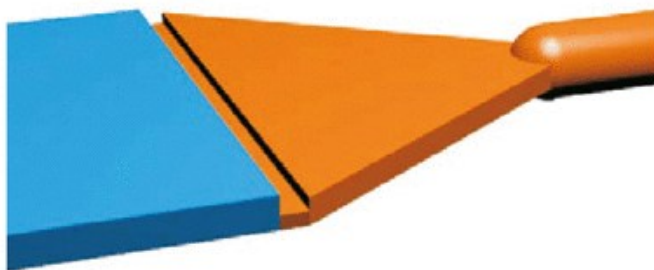
Štěrbínový vtok bývá zpravidla charakterizován obdélníkovým průřezem a do výrobku je zaváděn z boku, v místě dělicí roviny. Tento typ vtoku bývá využíván v případech, kdy by automatické oddělení od vstřikovaného výrobku nebylo praktické nebo by bylo zcela nevhodné. Hlavní nevýhodou tohoto ústí je skutečnost, že výrobek musí být od vtokového systému oddělován ručně. [32]



Obrázek 28 Štěrbinový vtok

(zdroj: [32])

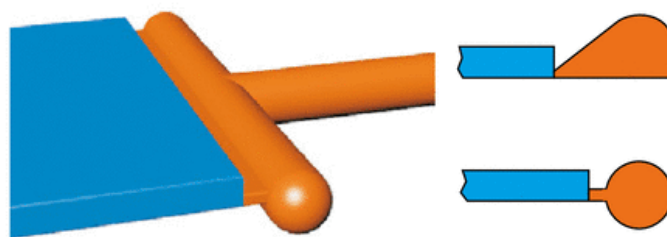
Vějířový vtok, označovaný také jako široko štěrbinový, je do vstřikovaného výrobku zaváděn z dělicí roviny a bývá od výrobku oddělován ručně. Tento typ vtoku bývá využíván při výrobě rozměrnějších dílů, u nichž je zapotřebí zabránit deformacím a zajistit rozměrovou stabilitu. Pomocí jednoho vějířového vtoku může být s výhodou nahrazeno více menších vtokových ústí, která by jinak mohla vést ke vzniku studených spojů. Proces ručního oddělování bývá často prováděn za použití fixačních prostředků a střížných nástrojů, případně je nutné provést strojové dočištění. [32]



Obrázek 29 Vějířový vtok

(zdroj: [32])

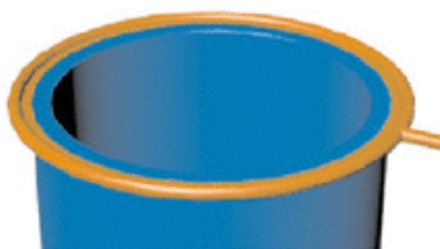
Filmovému vtoku jsou připisovány výhody široko štěrbinového vtoku a zároveň jsou snižovány požadavky na spotřebu materiálu i prostoru. Vtokový systém je navržen tak, aby bylo umožněno přivádění taveniny do dutin prostřednictvím kanálků, které jsou ukončeny tenkou připojovací štěrbinou. Filmový vtok je nejlépe uplatňován při vysokých vstřikovacích rychlostech, kdy je zabráněno vzniku stagnace taveniny.



Obrázek 30 Filmový vtok

(zdroj: [32])

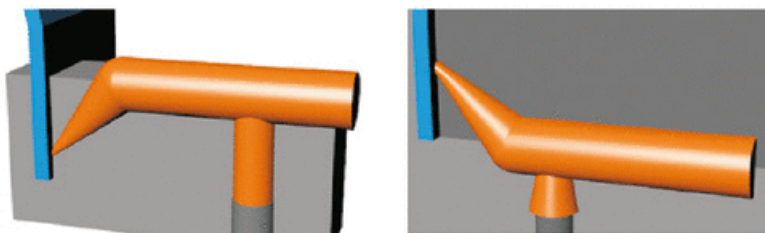
Prstencový vtok je tvořen rozváděcím kanálem vedeným okolo tvarové dutiny. Tento typ vtoku je využíván při výrobě válcovitých výrobků ve dvoudeskových formách se studenými vtoky. K nevýhodám je řazeno obtížné oddělování vtoku od hotových výrobků, stejně jako výrazná nevyváženost a nepředvídatelnost toku taveniny. [32]



Obrázek 31 Prstencový vtok

(zdroj: [32])

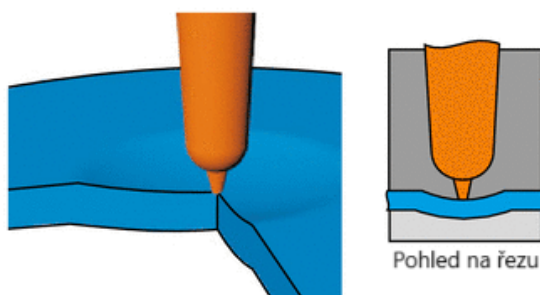
Tunelovému vtoku je přiřazován tvar kuželu, jehož užší konec je zaústěn do výrobku. Kužel je frézován tak, aby bylo dosaženo přiléhání k výrobku pod dělicí rovinou formy. Za hlavní výhodu tohoto řešení je považováno automatické oddělení studeného kanálu od výrobku. Tímto automatickým oddělováním je zároveň omezována flexibilita návrhu. Průměr otvoru dosedajícího na výrobek bývá zpravidla udržován v rozmezí 30–70 % tloušťky stěny výrobku. Vstřikování křehkých materiálů není doporučováno, aby mohlo být zajištěno snadné vytahování studeného kanálu z formy. [32]



Obrázek 32 Tunelový vtok

(zdroj: [32])

U *bodového vtoku* je využíváno velmi malého vtokového ústí, které je používáno u třideskových forem se studenými vtoky. Vtoková soustava bývá umísťována do vedlejší dělicí roviny, zatímco tvarová dutina je umístěna v hlavní dělicí rovině. Průměr otvoru musí být navržen tak, aby bylo umožněno bezpečné odtržení studeného kanálu bez poškození výrobku. Vtokové ústí je zúženo ve směru výrobku, aby mohla být stopa po vtoku minimalizována odlomením v nejužším místě. Toto nejužší místo bývá čoučkovitě zahhloubeno. [32]



Obrázek 33 Bodový vtok

(zdroj: [32])

4.2 Vyhříváný vtokový systém

V dnešní době je vyhříváný vtokový systém využíván stále častěji ve vstřikovacích formách. S ohledem na jejich technickou složitost jsou vyhříváné vtoky většinou pořizovány jako normalizované součásti od specializovaných výrobců. Lze vybírat buď kompletní vyhříváné systémy, nebo pouze jednotlivé komponenty, které jsou následně sestavovány. U vyhříváných vtokových systémů musí být zajištěna odolnost vůči tlakům v tavenině, které běžně přesahují hodnotu 200 MPa u mnoha moderních vstřikovacích strojů. Zároveň musí být počítáno s tepelnou dilatací a s tím související změnou pozice vyhříváných vtoků v rámci formy.

Hlavní výhody vyhřívaného vtokového systému lze shrnout následovně:

- nepřítomnost vtokového zbytku,
- zkrácení doby cyklu,
- zmenšení zdvihu, zejména při porovnání s třideskovými formami,
- snížení spotřeby energií,
- umožnění většího objemu vstřiku,
- snížení potřebné uzavírací síly,
- zajištění čistšího pracovního prostředí,
- snížení vstřikovacího tlaku.

Nevýhody vyhřívaných vtokových systémů mohou být minimalizovány zvýšením investic do vývoje systému a zajištěním kvalitního školení obsluhy. Častým problémem při pořizování VVS je označován zákazník, u něhož je vyžadována co nejnižší pořizovací cena. V důsledku toho bývají zaznamenávány vyšší dlouhodobé náklady a komplikace při provozu systému. Mezi další nevýhody vyhřívaného vtokového systému jsou považovány:

- odkapávání materiálu,
- obtížnost dosažení jednotného zatuhnutí vtokových ústí,
- vyšší pořizovací a provozní náklady. [32]

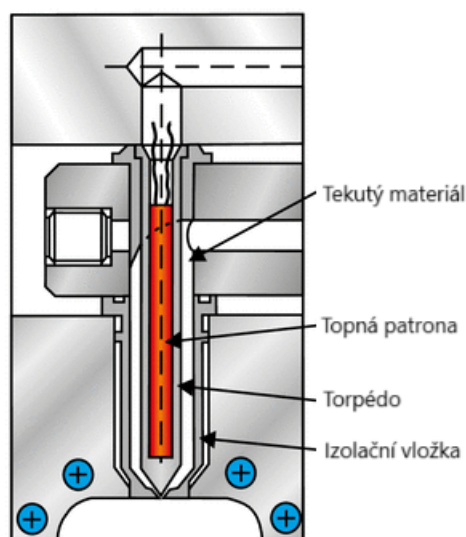
4.2.1 Vyhřívané trysky

Tavenina je do dutiny přiváděna vyhřívanými tryskami prostřednictvím hrotu. Hrot trysky spolu s vtokovým ústím je považován za účinné rozhraní mezi materiálem nacházejícím se ve vyhřívané trysce a již ztuhlým materiálem hotového výrobku. Konstrukční složitost této části je dána nutností zajistit, aby materiál v okolí hrotu zůstal ve stavu tekutém, zatímco na druhé straně vstřikovacího otvoru je materiál již tuhnout. Mezi základní požadavky, které jsou na vyhřívané trysky kladeny, patří:

- zajištění tepelné izolace trysky od dutiny,
- umožnění optimální regulace teploty taveniny,
- zabránění úniku materiálu.

Většina vyhřívaných hrotů bývá konstruována tak, aby mohla být demontována pro usnadnění výměny v případě opotřebení, nebo pokud nejsou dosahovány požadované výsledky.

Vyhřívané trysky bývají rozlišovány jako otevřené nebo uzavřené. U otevřeného typu je zpravidla používán velmi úzký vstřikovací otvor, zatímco u trysek uzavřených může být použit otvor širší. Vyhřívané trysky mohou být vybaveny vnitřním, nebo vnějším vytápěním. Ohřev může být prováděn přímým způsobem, kdy je tryska opatřena vlastním topením a regulačním mechanismem, nebo nepřímým způsobem, při kterém jsou trysky vyrobeny z materiálů s vysokou tepelnou vodivostí a teplo je jim předáváno z horké rozváděcí desky. Nepřímý ohřev je charakterizován svou jednoduchostí a nízkou cenou, avšak neumožňuje samostatnou regulaci teploty. U trysek s vnitřním vytápěním je tavenina vedena kolem vnitřního topného tělesa, označovaného jako torpédo. [32]



Obrázek 34 Tryska s vnitřním ohřevem

(zdroj: [32])

4.2.2 Vytápěné rozvodné bloky

Rozvodové bloky jsou využívány k rozvádění taveniny do tvarových dutin u vícenásobných forem. Jsou vyráběny z oceli a bývají umístěny mezi upínací a tvarovou deskou v pevné části formy. Jejich tvar je konstrukčně upravován tak, aby odpovídal požadovanému uspořádání rozváděcích kanálů směrem k vyústění i k uložení trysek. Bloky jsou vytvářeny ve tvaru I, H, X nebo Y. Od ostatních částí formy musí být tepelně izolovány, zpravidla vzduchovou mezerou. Nejčastěji bývají vytápěny z vnější strany elektrickým odporovým topením, a to

pomocí topných hadů zalitých mědí nebo vnitřně pomocí topných patron. Pro zvýšení tuhosti celé formy bývají rozvodové bloky upevňovány pomocí přitlačných kroužků. [25]



Obrázek 35 Rozvodný blok ve tvaru H

(zdroj: [27])

4.3 Vyhazovací systém

Vyhazování výrobků z formy je proces, při kterém je z dutiny nebo tvárníku otevřené formy vysunut či vytlačen hotový vstříkovaný výrobek. Tento proces probíhá ve dvou fázích:

- nejprve je proveden dopředný pohyb, při kterém dochází k samotnému vyhození výrobku,
- následně probíhá zpětný pohyb, při kterém se vyhazovací systém vrací do své původní polohy. [25]

Pro správné vyhazování vstříkovaných výrobků je nutné, aby byl povrch hladký a stěny byly opatřeny úkosey ve směru vyhazování, které by neměly být menší než $0,5^\circ$. Vstříkovaný výrobek musí být vytlačován rovnoměrně a s dostatečnou plochou podpory vyhazovačů. Vyhazovací síla musí být na výrobek správně rozložena, aby nebyl výrobek deformován. Zároveň je nutné, aby byla styčná plocha dostatečně velká, aby nedošlo k proražení dílu vyhazovači. [25, 26]

Kromě vstříkovaných výrobků jsou vyhazovány také vtokové zbytky, které mohou být v některých případech od výrobku odděleny dokonce již během vyhazování. [25]

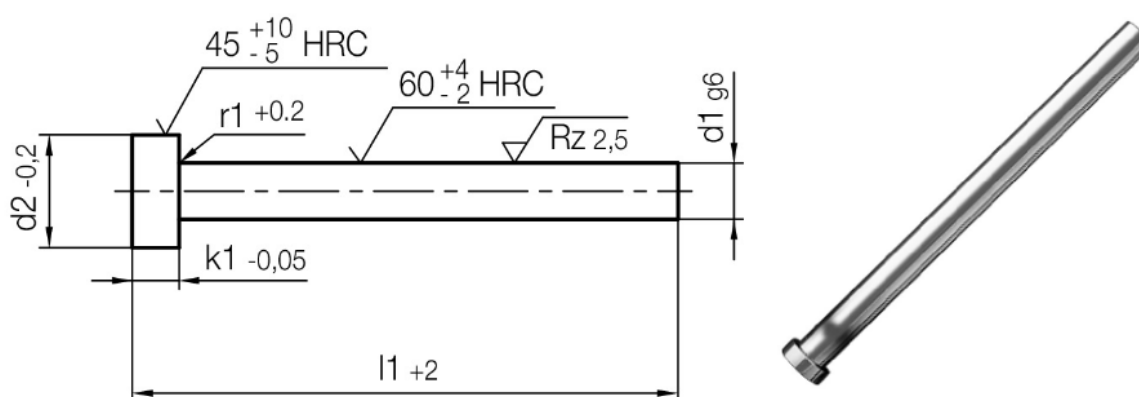
4.3.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování je nejběžněji používaným vyhazovacím systémem a je využíváno všude, kde je to možné. Jeho konstrukce se vyskytuje v různých variantách, mezi které patří:

- vyhazování realizované vyhazovacími kolíky,
- vyhazování realizované stírací deskou,
- vyhazování realizované šikmými kolíky,
- dvoustupňové vyhazování,
- speciální vyhazování.

Vyhazovací kolíky jsou rozdělovány podle tvaru a způsobu ukotvení na válcové, prizmatické a trubkové. Tato metoda vyhazování výrobků z dutiny formy patří mezi nejpoužívanější a nejlevnější. Kolíky jsou jednoduše vyrobitelné a jejich funkčnost je zaručena. [25]

Válcový vyhazovací kolík je obvykle vyráběn kováním za tepla a následně broušen do válcového tvaru z tvrdé oceli. Poté je nitridován a leštěn, aby byl zajištěn velmi tvrdý a hladký povrch, což snižuje jeho opotřebení a tření. Na trhu jsou válcové kolíky dostupné u mnoha dodavatelů ve standardních průměrech od 1 mm do 25 mm a délkách od 150 mm do 500 mm. Kolíkům s velkou délkou a malým průměrem by se mělo vyhýbat, protože při zatížení dochází k jejich prohýbání. [22]

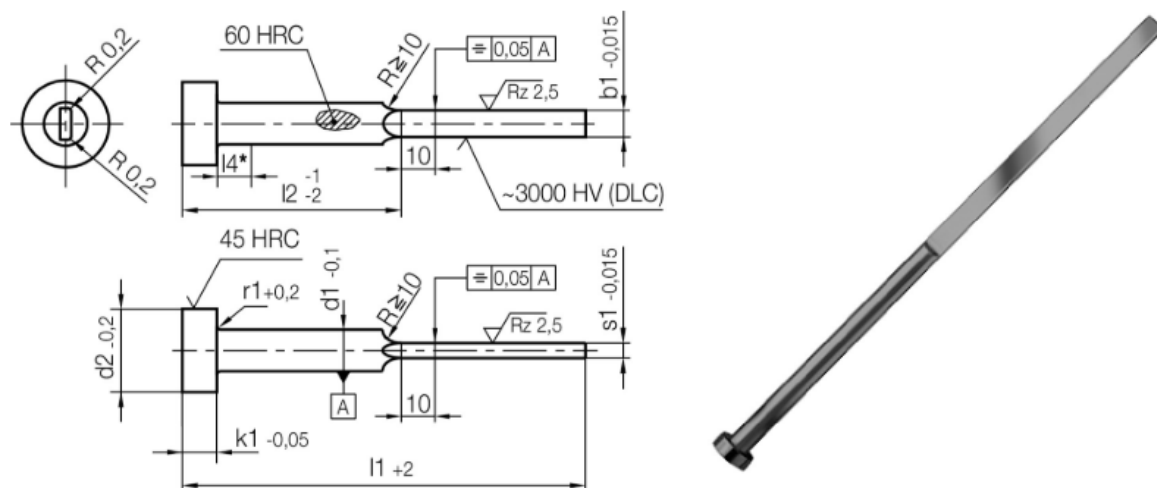


Obrázek 36 Válcový vyhazovací kolík

(zdroj: [27])

Prizmatický vyhazovací kolík je obvykle vyráběn jako válcový vyhazovací kolík s větším průměrem, který je upravován tak, aby byl vytvořen obdélníkový průřez jádrové

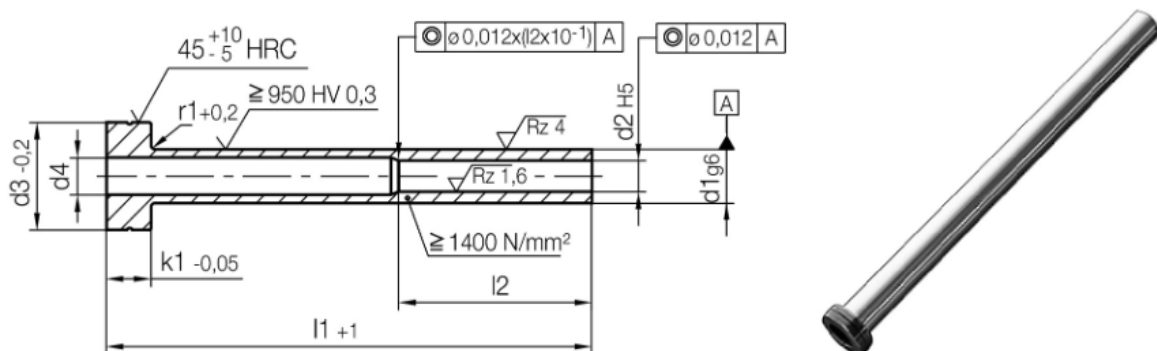
vložky. Pokud jsou v místech, jako jsou dna žeber, vyžadovány velmi malé rozměry vyhazovačů, má být místo válcového vyhazovacího kolíku malých rozměrů použit kolík prizmatického tvaru. [2, 22]



Obrázek 37 Prizmatický vyhazovací kolík

(zdroj: [27])

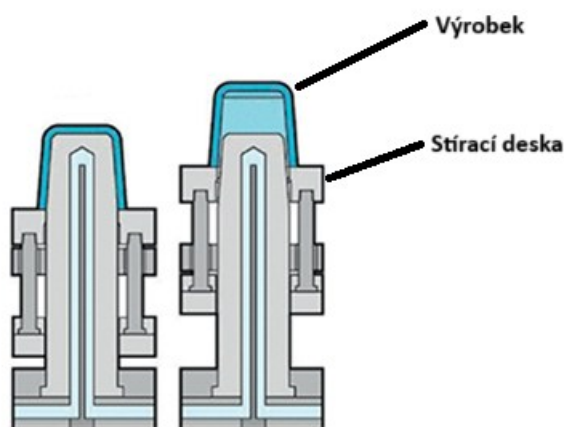
Trubkový vyhazovací kolík je dutý válec, který se pohybuje po pevném jádrovém čepu a poskytuje vyhazovací sílu na spodní plochu výrobku. Konstrukčně jsou od prizmatických kolíků odlišeny, avšak z hlediska funkce jsou jim velmi podobné, jelikož oba typy kolíků jsou určeny k vyvíjení tlaku na svislou část výrobku. Trubkové kolíky jsou považovány za velmi účinné součásti pro vyhazování, protože je jimi vyvíjena síla na tuhé výstupky výrobku v místech, kde je zaznamenáváno tření mezi výrobkem a jádrem. [22]



Obrázek 38 Trubkový vyhazovací kolík

(zdroj: [27])

Pokud to konstrukce formy umožňuje, měly by být před vyhazovacími kolíky upřednostněny stírací desky nebo kroužky. Při vyhazování je vyvíjena síla na větší plochu výrobku, což zajišťuje rovnoměrnější rozložení této síly. Stopy zanechané stíracími mechanismy bývají zpravidla méně výrazné než stopy po válcových, prizmatických nebo trubkových kolících. Vyhazování vstřikovaných výrobků pomocí stírací desky je využíváno především u tenkostěnných výrobků, u nichž hrozí riziko deformace, nebo u rozměrných výrobků, které vyžadují vysokou vyhazovací sílu. Stírací mechanismus může být použit pouze v případě, pokud výrobek dosedá na stírací desku v rovině, případně pokud je plocha výrobku jen mírně zakřivena. [2, 25]



Obrázek 39 Stírací deska

(zdroj: [26])

Šikmé vyhazovací kolíky nejsou orientovány kolmo k dělicí rovině, ale jsou do formy uloženy pod různými úhly. Tyto kolíky jsou využívány při vyhazování malých až středně velkých vstřikovaných výrobků, které obsahují vnitřní nebo vnější mělké zápichy. Uspořádání šikmých válcových kolíků může být vytvořeno v mnoha podobách a taktéž je umožněno jejich kombinování s přímým vyhazováním.

Při dvoustupňovém vyhazování jsou využívány dva vzájemně se ovlivňující vyhazovací systémy. Tento způsob umožňuje, aby byly výrobky vyhazovány s rozdílným časovým průběhem a velikostí vyhazovacího zdvihu. Aplikován bývá například při vyhazování tenkostěnných výrobků, kde je kombinováno použití stírací desky s použitím vyhazovacích kolíků nebo při oddělování vtokových zbytků od výrobku. [25]

4.3.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování je považováno za vhodný systém pro vyhazování tenkostěnných výrobků větších rozměrů ve tvaru nádob, u nichž je během vyhazování nutné provést zavzdušnění, aby nedošlo k jejich deformaci. Tato metoda není využívána příliš často, avšak pro výrobky, jako je například kbelík, je považována za velmi efektivní. Při pneumatickém vyhazování je stlačený vzduch zaváděn mezi výrobek a líc formy, čímž je zajištěno rovnoměrné oddělení vstřikovaného výrobku od tvárníku a zabráněno vzniku stop po vyhazovačích. [25]

K výhodám pneumatického vyhazování je počítáno:

- se snížením uzavírací výšky formy,
- s odstraněním hluku při nárazu,
- se zamezením opotřebení vyhazovacího mechanismu.

K nevýhodám pneumatického vyhazování je uváděna:

- nutnost značného objemu stlačeného vzduchu, což může být spojeno s vyššími náklady,
- potřeba doplňkových ovládacích prvků, jako jsou vzduchové okruhy, hadice a ventily. [2]

4.3.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazování je součástí vstřikovacího stroje a je převážně využíváno k ovládání mechanických vyhazovačů. Typickým znakem hydraulického vyhazování je vysoká vyhazovací síla v kombinaci s pomalým a krátkým zdvihem. Hydraulické jednotky, které jsou přímo zabudované do formy, pracují jako vyhazovače, které jsou používány méně často a ve větší míře jsou tyto jednotky nasazovány k ovládání bočních posuvných čelistí. [25]

4.4 Temperování forem

Temperace je využívána k udržování stálého teplotního režimu formy. Jejím účelem je zajištění co nejkratšího pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Toho je dosahováno ochlazováním nebo vyhříváním formy či jejích jednotlivých částí. Během vstřikování je do formy přiváděna roztavená tavenina, která je v dutině formy ochlazována na teplotu umožňující bezpečné vyjmutí výrobku. Proces

temperace tak ovlivňuje plnění dutiny formy a zaručuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. S každým vstřikem dochází k ohřívání formy, a proto musí být přebytečné teplo v průběhu výrobního cyklu odváděno temperační soustavou, aby byla udržena požadovaná teplota pro další vstřikování.

Aby se docílilo kvalitních vstřikovaných výrobků, musí být vstřikovací forma před začátkem výroby dostatečně vyhřáta na pracovní teplotu. Mezi hlavní úkol temperace se zařazuje:

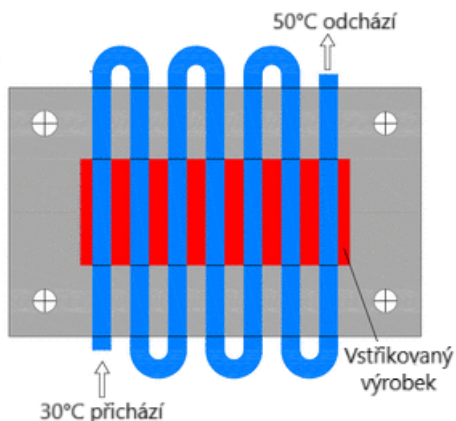
- zajištění rovnoměrného rozložení teploty na optimální úrovni po celém povrchu dutiny formy, a to v závislosti na druhu zpracovávaného plastu,
- teplo z dutiny formy, která je naplněna taveninou, musí být odváděno takovým způsobem, aby byla zajištěna ekonomicky přiměřená délka celého pracovního cyklu. [25]

4.4.1 Temperační kanálky

Přenos tepla z formy na temperační médium je zajišťován prostřednictvím bočního povrchu temperačních kanálků. Za nejúspornější řešení temperace je považováno využití chladicích kanálků s kruhovým průřezem. Každý výrobek vyrobený vstřikováním musí být temperován samostatně. Při návrhu temperačních kanálků je třeba dodržet následující obecná pravidla:

- průměry kanálků musí být navrhovány obvykle v rozmezí 6 až 14 mm,
- je upřednostňováno použití více kanálků s menším průměrem před menším počtem kanálků s větším průměrem,
- u dlouhých kanálků s malými průměry je třeba počítat s výraznými tlakovými ztrátami.

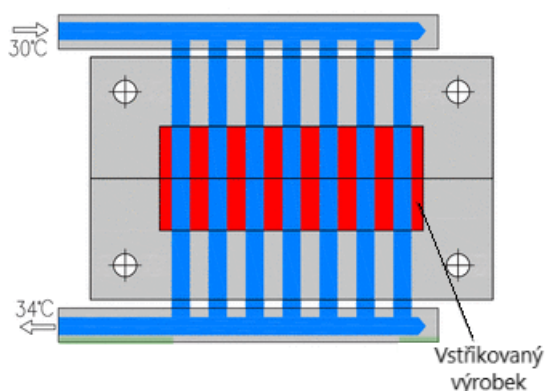
Při sériovém způsobu temperování je formou veden pouze jeden kanálek s jedním vstupem a výstupem. V průběhu průchodu kanálkem je médium postupně ohříváno, což způsobuje rozdílné teploty v jednotlivých částech formy. Tato nerovnoměrnost teplotního rozložení je považována za nevýhodné.



Obrázek 40 Sériové temperování

(zdroj: [31])

U paralelního způsobu temperování bývá přívodní kanál rozdělen do více paralelních větví, čímž je umožněno rovnoměrné rozložení teploty v celé formě. Za nevýhodu této metody je považováno to, že případné ucpání některé z větví může být odhaleno jen velmi obtížně. [31]



Obrázek 41 Paralelní temperování

(zdroj: [31])

4.5 Odvzdušnění forem

Aby bylo zajištěno správné vyplnění dutiny formy taveninou, musí být vzduch z dutiny formy odváděn. Za tímto účelem jsou do formovacích bloků vytvářeny odvzdušňovací kanálky. Pokud vzduch není účinně odvzdušněn, dochází k jeho stlačení a přehřátí, což vede k tzv. Dieselova efektu na vstřikovaných výrobcích. Tím může být způsobeno připálení taveniny nebo vznik nevyplněných oblastí, což má za následek vznik neúplných výrobků. Dlouhodobým působením vysokého tlaku vzduchu v určitých místech, obvykle na koncích

plnění nebo v rozích formy, kde se hromadí vzduch a tavenina, může být ocel formy poškozena.



Obrázek 42 Spálené místo po Dieselově efektu

(zdroj: [29])

Při nedostatečném odvzdušnění může být v dutině formy vytvářen nadměrný tlak, v jehož důsledku dochází k neúplnému uzavření formy a ke vzniku otřepů na dělicí rovině. U některých vstřikovacích strojů bývá využívána funkce tzv. dýchání formy, kdy je forma před zahájením dotlakové fáze mírně pootevřena, aby mohl být vzduch uvolněn, a následně je těsně před dotlakem opět pevně uzavřena. [29]

4.5.1 Odvzdušňovací kanálky

Odvzdušňovací kanálky bývají nejčastěji vytvářeny na dělicí rovině formy, kde jsou do povrchu vybroušeny velmi malé zářezy, umožňující únik vzduchu. Tyto zářezy musí být navrženy tak, aby jejich hloubka umožnila účinné odvzdušnění a zároveň zabránila proniknutí taveniny plastu. Obvykle je hloubka kanálků volena v rozmezí 0,015 až 0,03 mm a jejich šířka činí přibližně 2 mm. Vzduch je z těchto kanálků odváděn do záchytných prostorů o hloubce přibližně 0,5 mm, odkud je následně vypuštěn do okolního prostředí. Mezi výhody odvzdušnění umístěné na dělicí rovině formy je považována jeho snadná čistitelnost

V určitých speciálních případech, kdy nemohou být odvzdušňovací kanálky vhodně umístěny, bývá k odsátí vzduchu z dutiny formy využíváno vakuum. Dutina formy musí být v takových případech utěsněna pomocí těsnění. [30]

4.6 Výběr materiálu pro vstřikovací formu

Volba vhodného materiálu pro konstrukci vstřikovací formy je podmíněna a ovlivňována mnoha různorodými faktory, určenými:

- druhem vstřikovaného plastu,
- přesností a jakostí plastu,
- vstřikovacím strojem,
- podmínkami vstřikování. [25]

K dalším faktorům, které jsou považovány za rozhodující při výběru vhodného materiálu, patří například:

- výrobní množství – je považováno za jedno z nejdůležitějších faktorů za celou dobu životnosti vstřikovací formy. V případech, kdy je forma určena pouze pro malou kusovou výrobu, může být jako vhodný materiál zvolena slitina hliníku. Pro tyto účely bývá používána speciální slitina hliníku s vyšší pevností, která je určena pro výrobu forem. Pokud je vstřikovací forma navržena pro středně velké série, například okolo 100 000 výrobků, bývá kladen důraz na použití kvalitnějších materiálů. Z tohoto důvodu je konstrukce formy často zhotovována z předem kalené nástrojové oceli,
- povrch – pro pohledové části výrobku nemohou být použity všechny druhy ocelí, neboť ne všechny umožňují dosažení požadovaného vzhledu. Pokud má být získán vysoce lesklý povrch, musí být použita nástrojová ocel obsahující chrom. Mezi vhodné materiály jsou v tomto ohledu považovány oceli 19 433, 19 552 nebo 19 554 ESR. Tyto typy ocelí mohou být rovněž využívány tam, kde je povrch formy opracováván elektrojiskrovým obráběním (EDM),
- abrazivní plasty – při výrobě nepřetržitého množství plastových výrobků z materiálů se skleněnými vlákny bývá u vstřikovacích forem vyrobených z měkké nebo nevhodné oceli často pozorováno rychlé opotřebení. Vlivem abrazivního působení skelných vláken dochází zejména v oblasti vtokových kanálů k postupnému narušování a opotřebení oceli,
- nerez – při zpracování některých plastů může během zahřívání docházet k chemickým reakcím, při nichž jsou uvolňovány plyny. Uvolněné plyny mohou

způsobovat korozi a rezivění částí formy i jejího okolí. Z tohoto důvodu jsou formy běžně vyráběny z nerezové oceli. [28]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je:

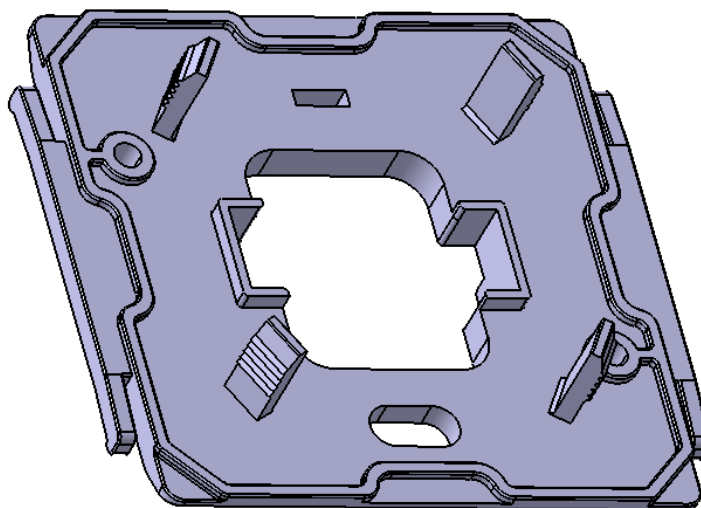
- vypracování literární studie na dané téma,
- vytvoření 3D modelu zadaného dílu v SW CATIA V5,
- provedení konstrukce 3D sestavy vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu,
- nakreslení výkresu 2D sestavy vstřikovací formy.

V teoretické části bakalářské práce byly popsány základní informace týkající se polymerů a jejich zpracování. Dále byla popsána technologie vstřikování plastů, požadavky na konstrukci plastového výrobku se zaměřením na technologičnost výroby a nakonec vstřikovací forma.

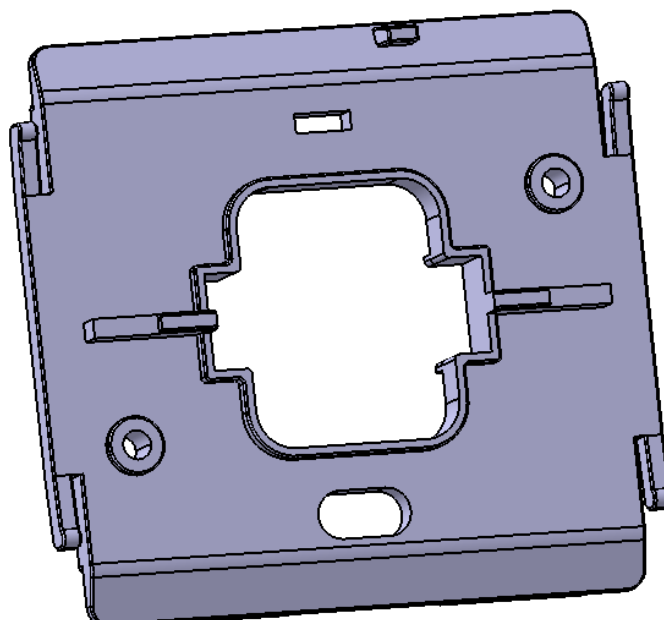
V praktické části bakalářské práce bylo úkolem vytvořit 3D model zadaného dílu v softwaru CATIA V5 a provést konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy pro zadaný díl. Po vytvoření 3D sestavy vstřikovací formy byl následně vytvořen 2D výkres sestavy vstřikovací formy. V této části je také popsán vstřikovaný výrobek a materiál, ze kterého byl vytvořen.

6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaným výrobkem pro návrh vstřikovací formy bude sloužit vnitřní ochranný kryt mechanismu pro elektrické vypínače. Základní rozměry výrobku jsou 66 x 60 x 18 mm a hmotnost je 7 g. Vstřikovaný materiál je polykarbonát (PC).



Obrázek 43 Model vstřikovaného výrobku shora



Obrázek 44 Model vstřikovaného výrobku zespodu

6.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Materiálem výrobku je zvolen polykarbonát (PC), který je amorfni čirý termoplast a obsahuje lepší propustnost světla než sklo. Jeho vlastnosti jsou obdobné jako u plexiskla (PMMA), avšak vyznačuje se vyšší pevností, rázovou houževnatostí a maximální pracovní teplotou až do 135 °C. Zpracování polykarbonátu je možné i při pokojové teplotě, například pomocí ohýbačky. Díky svým dielektrickým vlastnostem je široce využíván v elektrotechnickém průmyslu, zatímco jeho nízká hmotnost, rozměrová stabilita, světelná propustnost a tepelně izolační schopnosti jej činí oblíbeným stavebním prvkem s minimálními nároky na údržbu. Výhodou polykarbonátu je snadné tvarování, jelikož ohýbání lze provádět nejen za tepla, ale i za studena. [33]

Tabulka 1 Technické vlastnosti polykarbonátu PC

Vlastnosti polykarbonátu	
Hustota	1,20 [g/cm ³]
Nasákavost při teplotě 23 °C	0,4 [%]
Mechanické vlastnosti	
Pružnost	2300 [N/mm ²]
Tažnost	10-110 [%]
Napětí na mezi kluzu	65 [MPa]
Modul pružnosti v tahu	2300-4500 [MPa]
Tepelné vlastnosti	
Tepelná vodivost	0,21 [W/mK]
Elektrické vlastnosti	
Elektrická pevnost	15-30 [kV/mm]
Doporučené hodnoty zpracování	
Teplota taveniny	280-320 [°C]
Teplota formy	80-120 [°C]

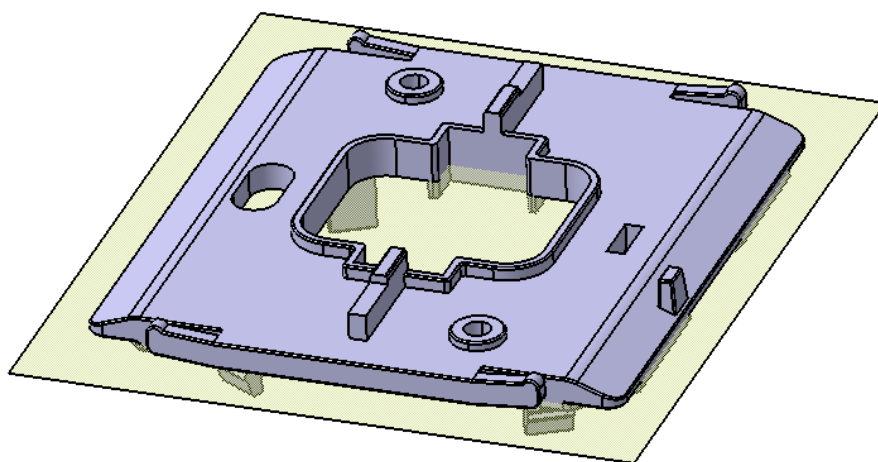
(zdroj: [7, 33])

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při návrhu vstřikovací formy je vycházeno z konkrétního výrobku, pro jehož výrobu je forma určena. Před samotným návrhem formy musí být zvažována zejména její jednoduchost a možnost minimalizace nákladů. Aby se docílilo snížení nákladů, bylo při konstrukci vstřikovací formy použito normalizovaných součástí od společností Hasco a Meusburger.

7.1 Dělicí rovina

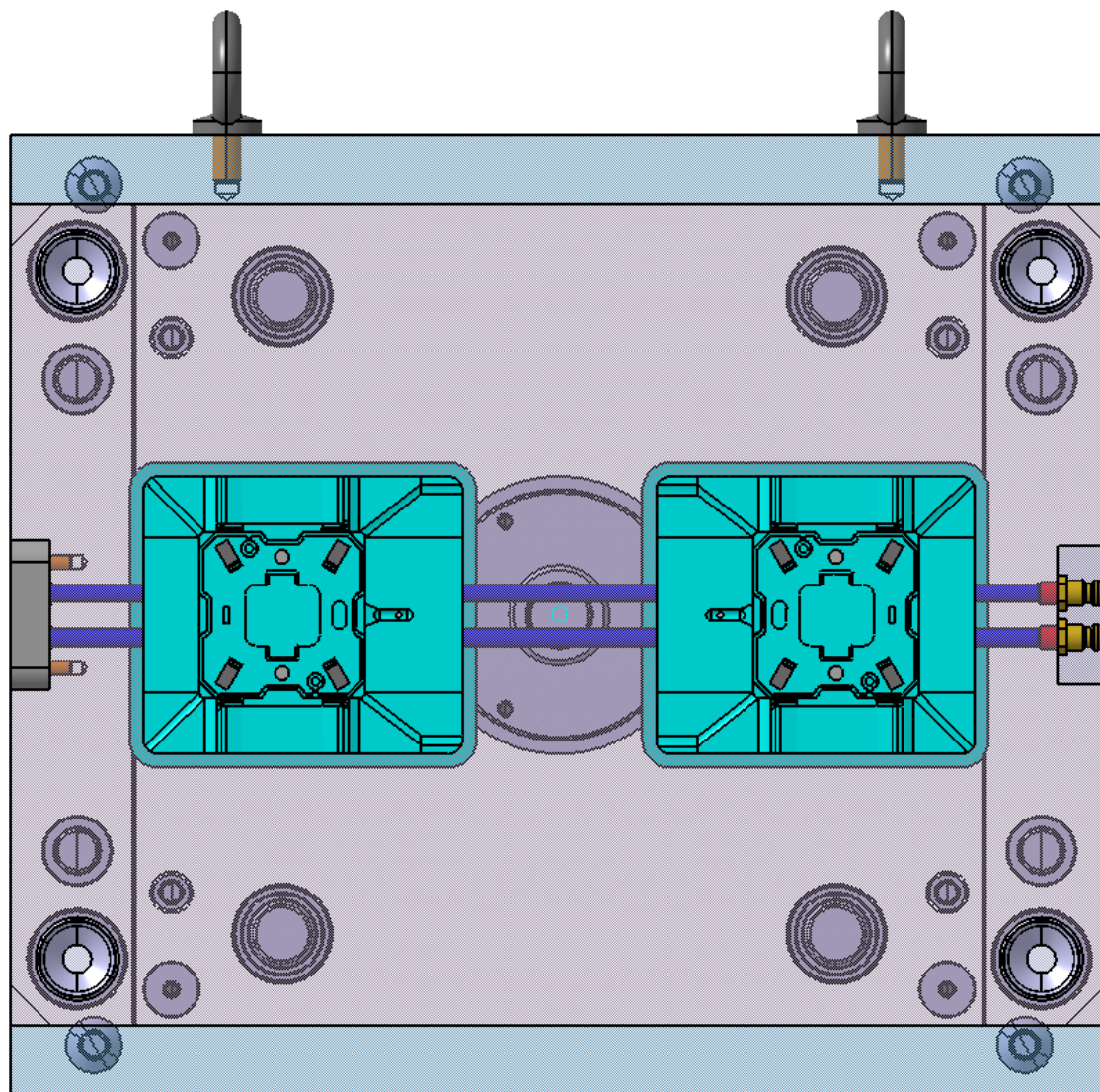
Určení dělicí roviny je považováno za jeden z klíčových kroků při návrhu tvárníku a tvárnice. U vstřikovaného výrobku byla navržena jedna hlavní dělicí rovina, která je umístěna na styčné ploše mezi tvárníkem a tvárnici. Dělicí rovina byla realizována tak, aby vstřikovaný výrobek po otevření formy zůstal na pohyblivé levé části formy a mohl být následně odformován pomocí válcových a pružných vyhazovačů.



Obrázek 45 Dělicí rovina

7.2 Násobnost formy

Optimální volba násobnosti formy je ovlivněna řadou faktorů, mezi které patří například přesnost vstřikovaného výrobku, ekonomičnost výroby nebo požadované množství výrobků. Vzhledem k tomu, že vstřikovaný výrobek je tenkostěnný a rozměrově malý, byla pro tuto aplikaci zadána dvojnásobná vstřikovací forma. Tím se rozumí, že při jednom vstřikovacím cyklu jsou vyrobeny dva výrobky.



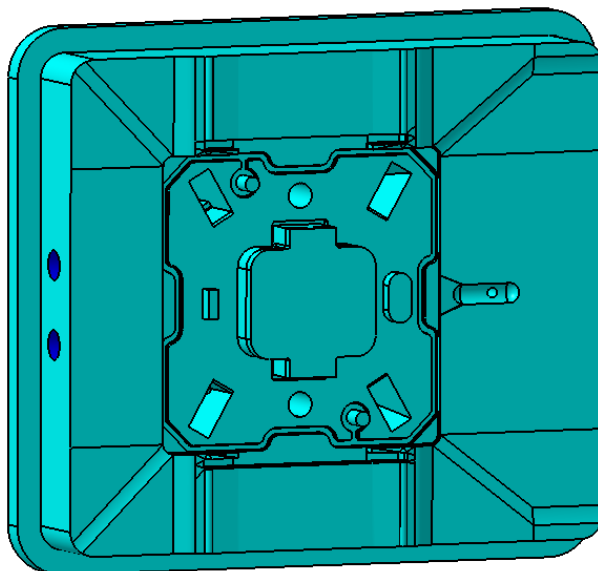
Obrázek 46 Násobnost formy

7.3 Tvarové části formy

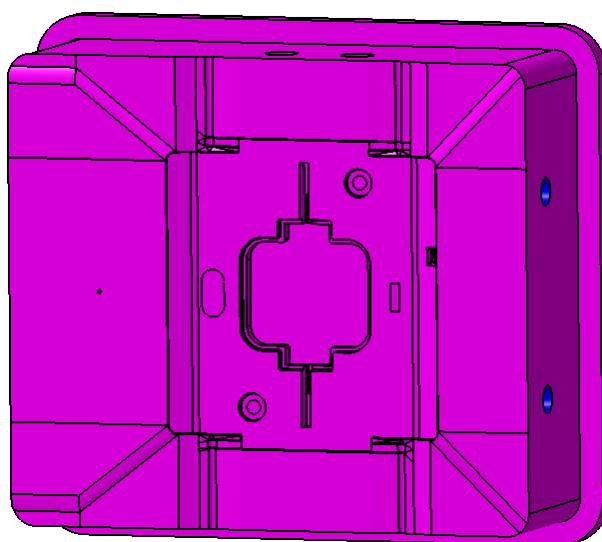
Tvarové části jsou určeny k vytvoření dutiny, která představuje negativní tvar vstřikovaného výrobku. Vzhledem k tomu, že výrobek je rozdělen jednou hlavní dělicí rovinou, je dutina tvořena dvěma částmi – tvárníkem, jenž je umístěn v levé pohyblivé části formy a tvárnicí, která je součástí pravé nepohyblivé části formy. Obě části dutiny musí být navrženy se zvětšením odpovídajícím smrštění vstřikovaného materiálu. Pro polykarbonát (PC) je tato hodnota stanovena na 0,5 %.

Tvárník společně s tvárnicí je na jednom konci rozšířen o menší výstupky, které jsou vkládány do kotevních desek a následně zajišťovány opěrnými deskami. Tvárník je vybaven temperačními kanály, jimiž je umožněn průchod temperačního média (vody) a dále vějířovým vtokovým ústím, které je vyústěno přímo do dutiny formy. V této části jsou

rovněž provedeny otvory pro válcové a pružné vyhazovače. Tvárnice je také opatřena temperačními kanály pro vedení temperačního média a otvorem určeným pro umístění trysky horkého rozvodného systému.



Obrázek 47 Tvárník

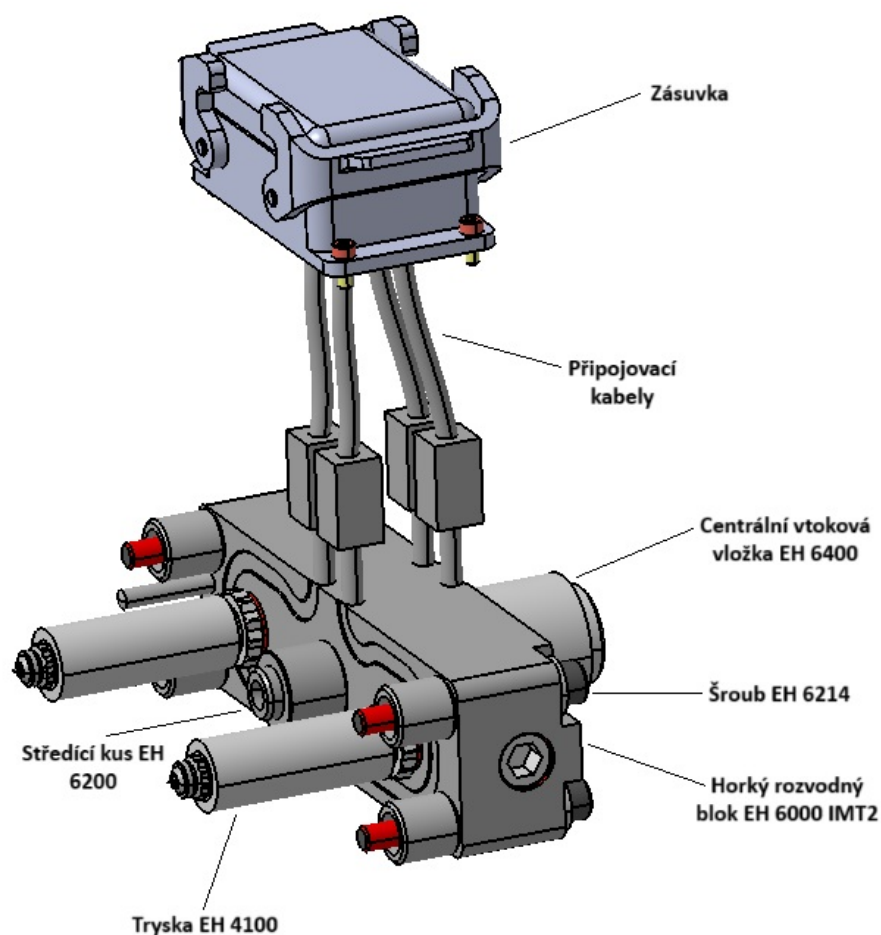


Obrázek 48 Tvárnice

7.4 Vtokový systém

Vtokový systém je navrhován tak, aby bylo zajištěno co nejrychlejší a nejefektivnější zaplnění dutiny formy taveninou, a to při co nejnižších odporech proudění. V rámci konstrukce vstřikovací formy byl zadán kombinovaný vtokový systém, jehož součástí je horký rozvodný blok EH 6000 IMT2 od společnosti Meusburger ve tvaru písmene I. Tento

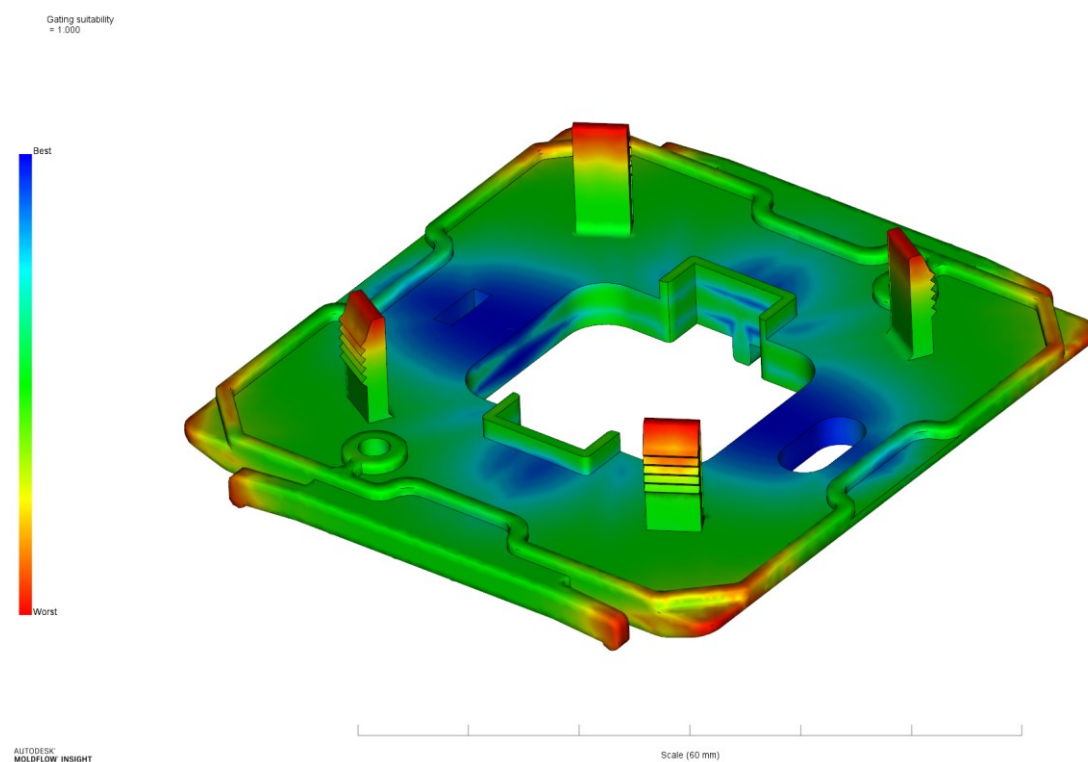
blok je tvořen dvěma vyhřívanými tryskami EH 4100, které jsou uloženy v tvarové části tvárnice. Na trysky navazuje studené vtokové ústí, které dále rozvádí taveninu do dutin formy. Horký rozvodný blok je uložen ve vyfrézované kapse pravé opěrné desky, která se nachází mezi upínací deskou pravou a kotevní deskou tvárnice v nepohyblivé části formy. Blok je vystředěn pomocí středícího kusu EH 6200 a proti pootočení je zajištěn sadou šroubů EH 6214. K bloku je připojena centrální vtoková vložka EH 6400, na kterou je přisunuta tryska vstřikovacího stroje, přes niž je roztavený plast veden do rozváděcích kanálů rozvodného bloku a následně do jednotlivých trysek. Součástí horkého systému jsou také připojovací kabely, které jsou vedeny pravou opěrnou deskou a připojeny k zásuvce zajišťující přívod elektrické energie pro ohřev komponent. Zásuvka je k pravé opěrné desce přichycena pomocí čtyř šroubů.



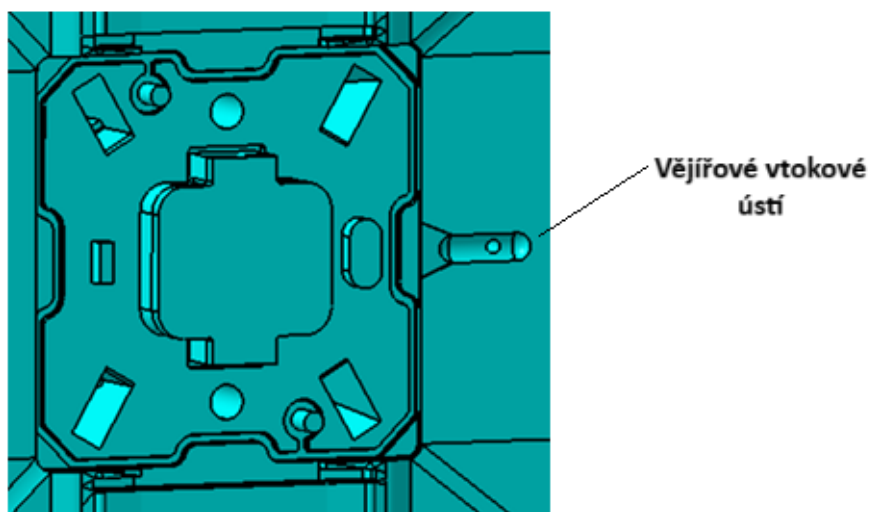
Obrázek 49 Horká vtoková soustava

Studená vtoková soustava je navržena jako vějířové vtokové ústí, které je umístěno v tvarové části tvárníku. Tímto uspořádáním je zajištěno, aby vtokový zbytek zůstal při otevření formy na pohyblivé levé části formy spolu se vstřikovaným výrobkem.

Nejvhodnější umístění vtoku bylo určeno pomocí programu Autodesk Moldflow Insight. Modrou barvou je označeno nejvhodnější místo pro umístění vtoku, zatímco červenou barvou je vyznačeno místo nejméně vhodné.



Obrázek 50 Umístění vtoku



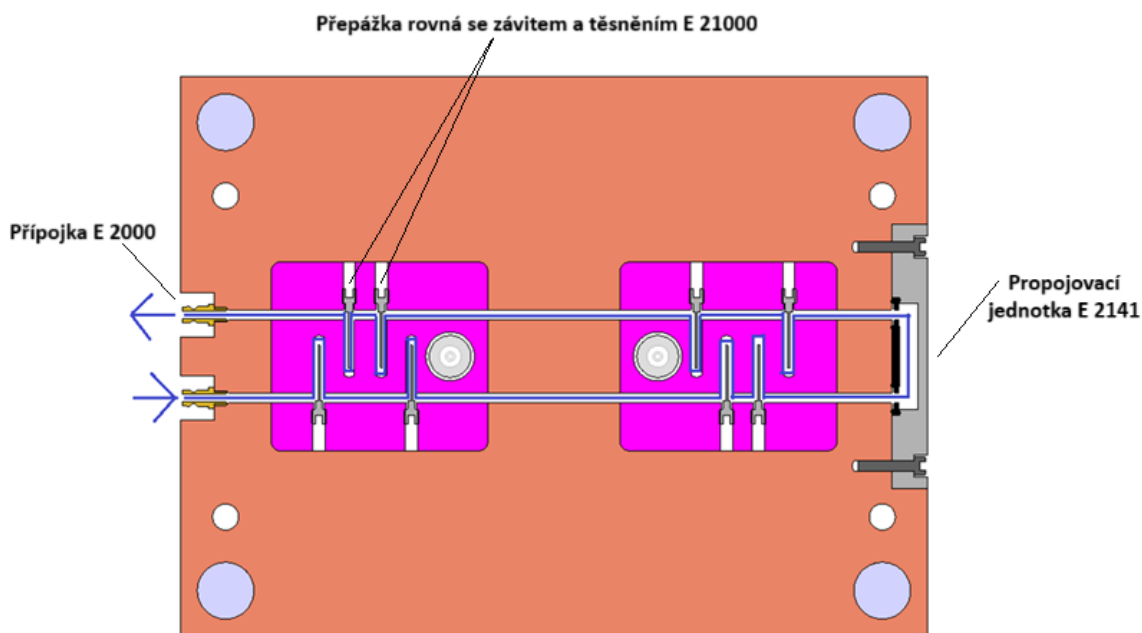
Obrázek 51 Studená vtoková soustava

7.5 Temperační systém

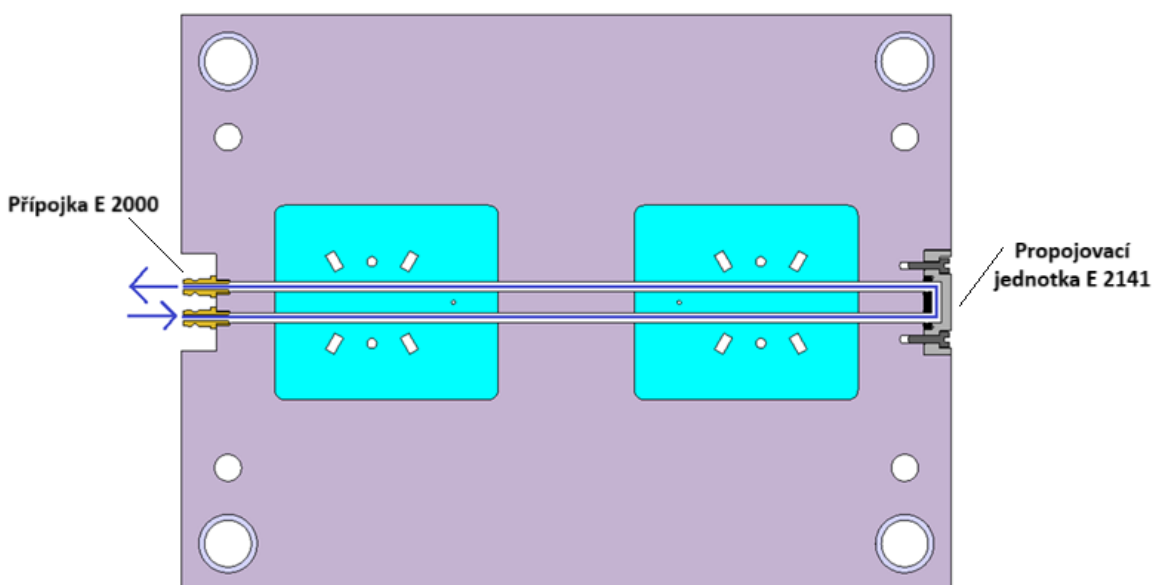
Temperace je využívána k zajištění stálé teploty formy. Hlavním cílem temperování je dosažení co nejkratšího vstřikovacího cyklu při současném splnění všech technologických požadavků na výrobu. Jako temperační médium při návrhu formy byla zvolena voda, neboť představuje ekonomicky výhodnější a cenově dostupnější variantu oproti oleji. Temperační systém byl navržen jak pro tvarové části tvárníku a tvárnice, tak i pro jejich kotevní desky. Průměry temperačních kanálů byly vyvrtány o průměru 6 mm. Normalizované součásti byly použity ze stránky Meusburger.

Při temperaci pravé strany formy, tedy tvárnice, byl použit jeden temperační okruh. Vstup temperačního média (vody) byl zajištěn přes přípojku E 2000 umístěnou na okraji kotevní desky, odkud bylo médium vedeno do tvarových částí tvárnice. Uvnitř každé tvarové části byly instalovány čtyři rovné přepážky se závitem a těsněním E 21000, kterými bylo dosaženo rovnoměrného rozložení teploty v celé tvarové oblasti. Na protilehlém okraji kotevní desky byla umístěna propojovací jednotka E 2141, kterou bylo médium nasměrováno zpět přes tvarové části tvárnice na opačný okraj kotevní desky, kde byla umístěna výstupní přípojka zajišťující odvod ohřátého temperačního média.

Při temperaci levé strany formy, tedy tvárníku, byl rovněž využit jeden temperační okruh. Vstup temperačního média byl zajištěn přes přípojku E 2000 umístěnou na okraji kotevní desky, odkud bylo médium vedeno až do tvarových částí tvárníku. Temperační kanály byly vyvrtány středem mezi otvory pro vyhazovače. Stejně jako u temperace tvárnice, byla i zde na protilehlém okraji kotevní desky osazena propojovací jednotka E 2141, kterou bylo temperační médium navraceno zpět do tvarových částí a následně odváděno přes výstupní přípojku mimo formu.



Obrázek 52 Temperace tvárnic



Obrázek 53 Temperace tvárnků

7.6 Odvzdušnění formy

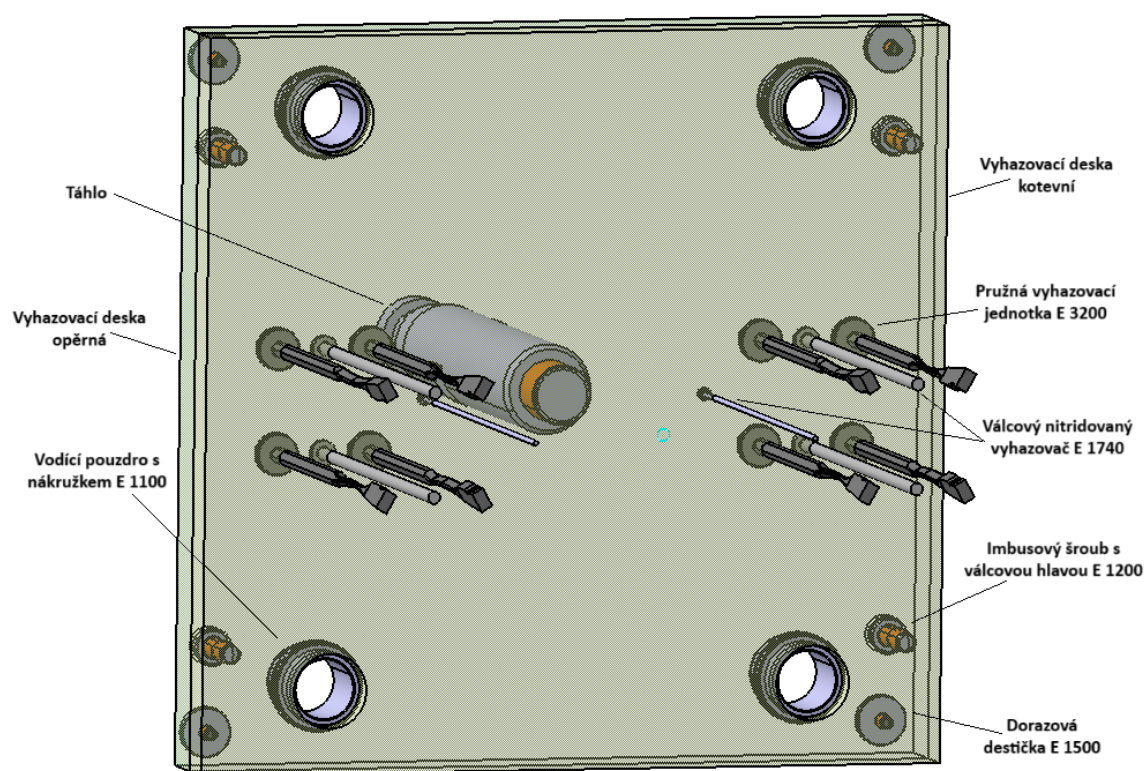
Před vstřikováním taveniny do dutiny formy je v této dutině přítomen vzduch, který je během plnění taveninou stlačován, čímž je způsobováno zvyšování jeho tlaku. Pokud by tlak dále narůstal, mohlo by dojít k výraznému zahřátí vzduchu a tím způsobenému spálení polymeru. Aby těmto případným vadám bylo zabráněno, musí být zajištěno účinné odvzdušnění formy. Odvzdušnění nebylo v rámci konstrukce formy realizováno, protože se počítá s tím, že

vzduch nashromážděný uvnitř dutin unikne přirozeným způsobem mezerou v dělicí rovině formy nebo vůlí kolem vyhazovacích kolíků.

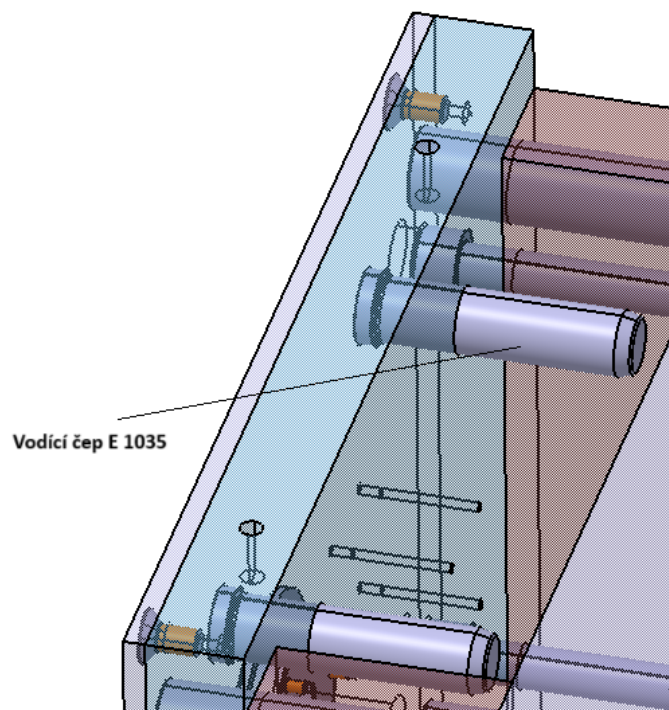
7.7 Vyhazovací systém

Po odjetí pohyblivé levé části formy od nepohyblivé pravé části je vstřikovaný výrobek společně s vtokovým zbytkem vyhazován do prostoru pomocí vyhazovacího systému. Aby mohlo být vyhození vůbec umožněno, musí být ztuhlý a ochlazený výrobek přidržen na tvarové části tvárníku. Vyhazovací systém je tvořen osmi pružnými vyhazovacími jednotkami E 3200, které jsou uloženy ve vyfrézovaných otvorech vyhazovací desky kotevní. Na každý vstřikovaný výrobek jsou určeny čtyři tyto vyhazovací jednotky. Dále jsou použity čtyři válcové nitridované vyhazovače E 1740 o průměru 5 mm, přičemž na každý výrobek připadnou dva kusy. Kromě nich jsou využity i dva válcové nitridované vyhazovače E 1740 o průměru 2 mm, z nichž jeden náleží každému výrobku. Všechny tyto vyhazovače jsou stejně jako pružné vyhazovací jednotky uloženy ve vyhazovací desce kotevní.

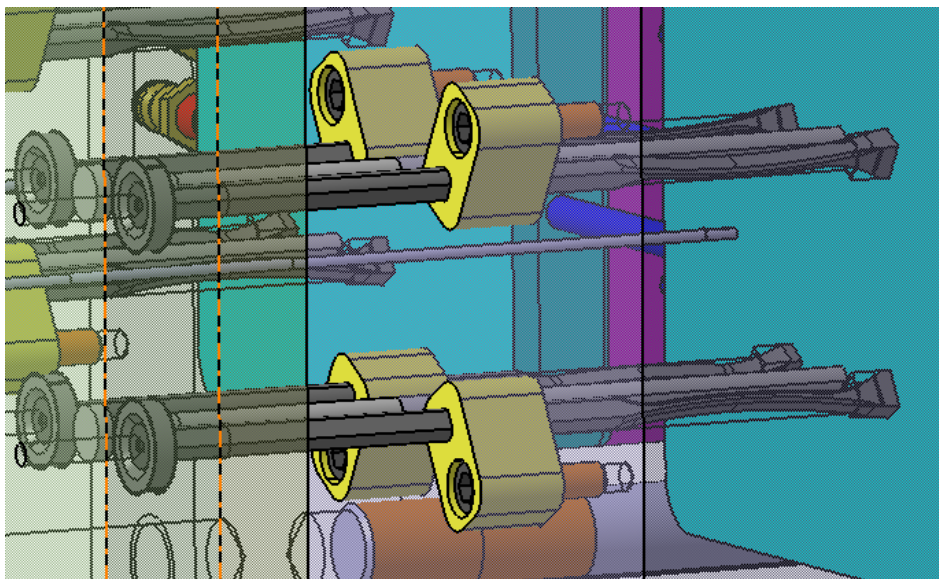
Vyhazovací deska kotevní je opřena o vyhazovací desku opěrnou a obě desky jsou spojeny čtyřmi imbusovými šrouby s válcovou hlavou E 1200. Pro zajištění správné funkce vyhazovacího systému musí být desky opatřeny čtyřmi vodicími pouzdry s nákrůžkem E 1100, do nichž jsou vloženy čtyři vodicí čepy E 1035 uložené na levé upínací desce. Na vyhazovací desce opěrné jsou upevněny čtyři dorazové destičky E 1500, jejichž použitím je zajištěna bezpečnost systému a je zabráněno jeho poškození. Součástí vyhazovacího systému je rovněž táhlo, které je na jednom konci opatřeno závitem a je zašroubováno do vyhazovací desky opěrné. Druhý konec táhla je zasouván do hydraulického systému vstřikovacího stroje, kterým je vykonáván potřebný pohyb pro vyhození výrobků. Při konstrukci vyhazovacího systému bylo využito normalizovaných součástí od společnosti Meusburger.



Obrázek 54 Vyhazovací systém



Obrázek 55 Vodící čepy

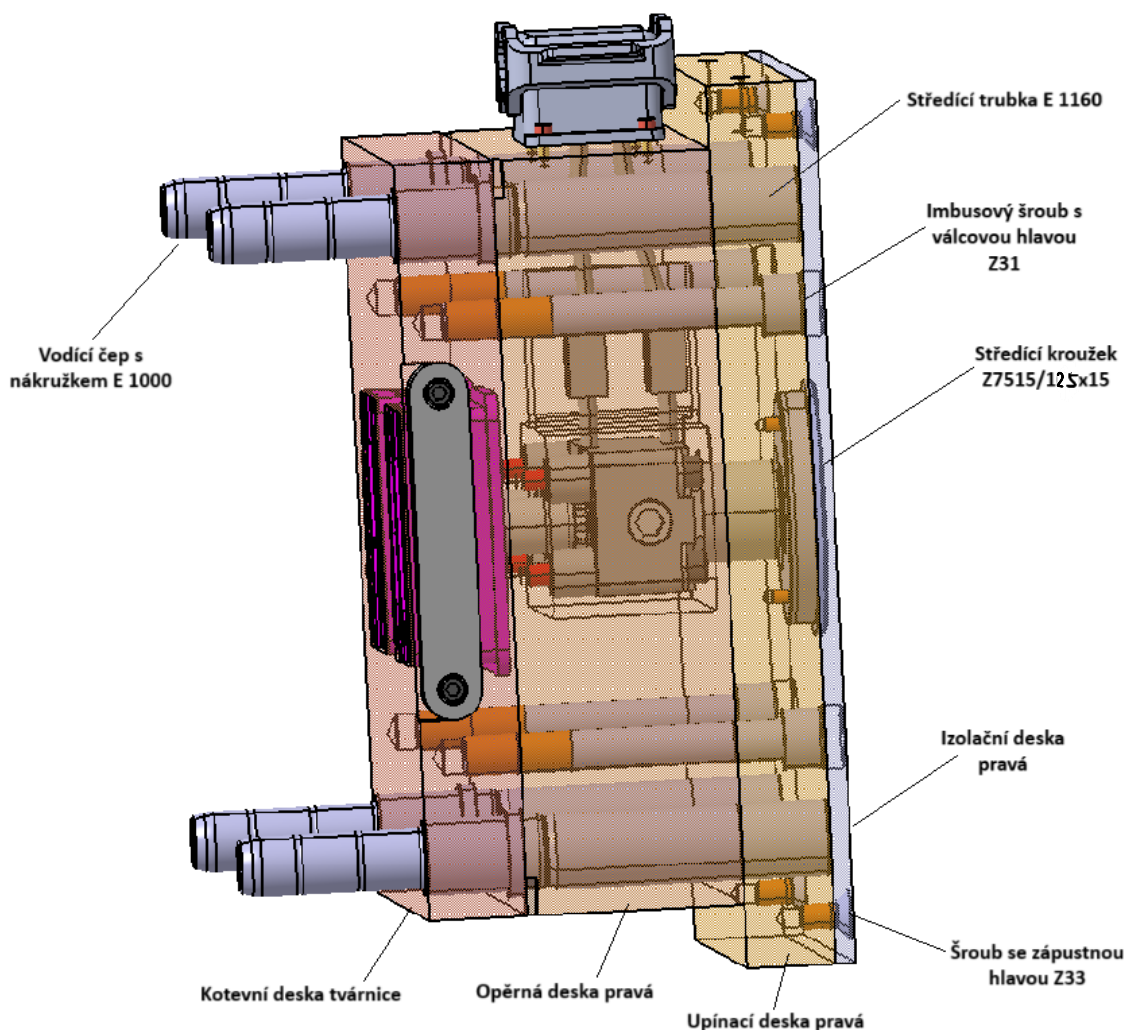


Obrázek 56 Uložení vyhazovačů

7.8 Rám vstřikovací formy, vodící a upínací prvky

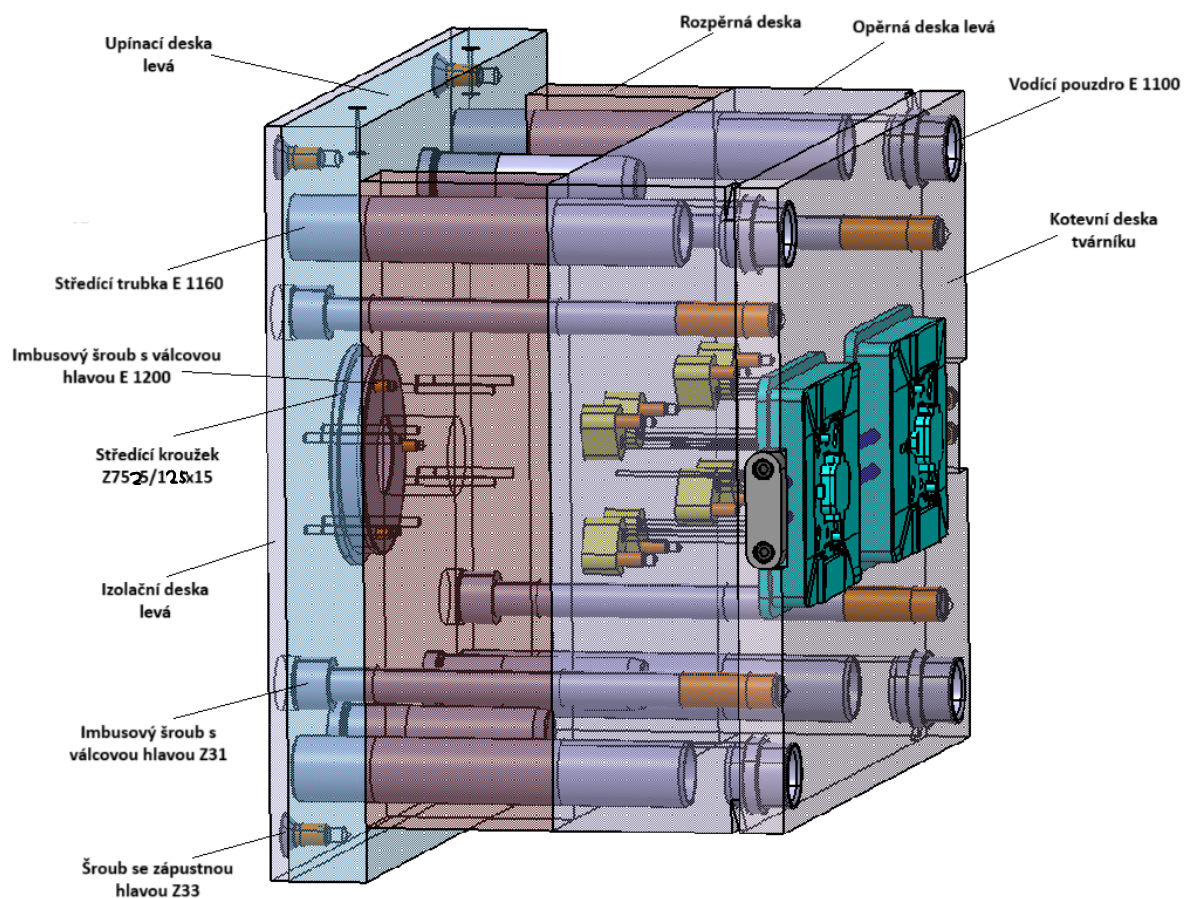
Vstřikovací forma je tvořena pohyblivou levou částí, nepohyblivou pravou částí a vyhazovacím systémem. Izolační a upínací desky jsou vyrobeny v rozměrech 346 x 396 mm. Ostatní desky jsou navrženy s rozměry 296 x 396 mm. Celkové rozměry formy byly stanoveny na 346 x 396 x 564,3 mm. Tloušťky jednotlivých desek jsou přizpůsobeny podle součástí, které jsou do nich uloženy.

Nepohyblivá pravá část formy je tvořena pravou izolační deskou, pravou upínací deskou, pravou opěrnou deskou a kotevní deskou tvárnice. Izolační deska je k pravé upínací desce připevněna čtyřmi šrouby se zápusťnou hlavou typu Z33 od společnosti Hasco. Ostatní desky, s výjimkou izolační, jsou navzájem spojeny čtyřmi imbusovými šrouby Z31 od firmy Hasco, čtyřmi středícími trubkami E 1160 a čtyřmi vodícími čepy s nákrůžkem E 1000, obojí od společnosti Meusburger. Tyto vodící prvky jsou použity k zajištění vzájemné polohy jednotlivých částí. Vodící čepy na pravé straně formy jsou vystředěny vůči vodícím pouzdrům na levé straně formy a jsou využívány k otevírání a zavírání formy. Středící trubky na pravé straně slouží k vystředění mezi pohyblivou levou a nepohyblivou pravou částí formy. V této části formy je rovněž umístěn středící kroužek Z7515/125x15 od společnosti Hasco, který je zasazen jak do upínací, tak do izolační desky. Kroužek je k upínací desce přišroubován skrz izolační desku pomocí imbusového šroubu s válcovou hlavou typu E 1200.



Obrázek 57 Pravá strana formy

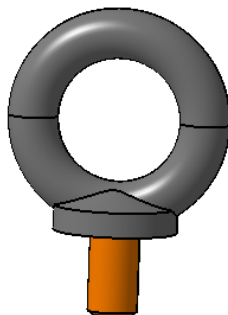
Pohyblivá levá strana formy je tvořena levou izolační deskou, levou upínací deskou, rozpěrnými deskami, levou opěrnou deskou a kotevní deskou tvárníku. Izolační deska je k levé upínací desce připevněna čtyřmi šrouby se zápusťnou hlavou typu Z33 od společnosti Hasco. Ostatní desky, s výjimkou izolační, jsou navzájem spojeny čtyřmi imbusovými šrouby Z31 od firmy Hasco. Deska upínací, rozpěrná a opěrná je spojena čtyřmi středícími trubkami E 1160. Deska opěrná a kotevní je spojena čtyřmi vodícími pouzdry E 1100 od společnosti Meusburger. Jednotlivé desky jsou mezi sebou vystředěny pomocí těchto středících trubek a vodících pouzder. V této části formy je rovněž umístěn středící kroužek Z7520/125x15 od společnosti Hasco, který je zasazen jak do upínací, tak do izolační desky. Kroužek je k upínací desce přišroubován skrz izolační desku pomocí imbusového šroubu s válcovou hlavou typu E 1200.



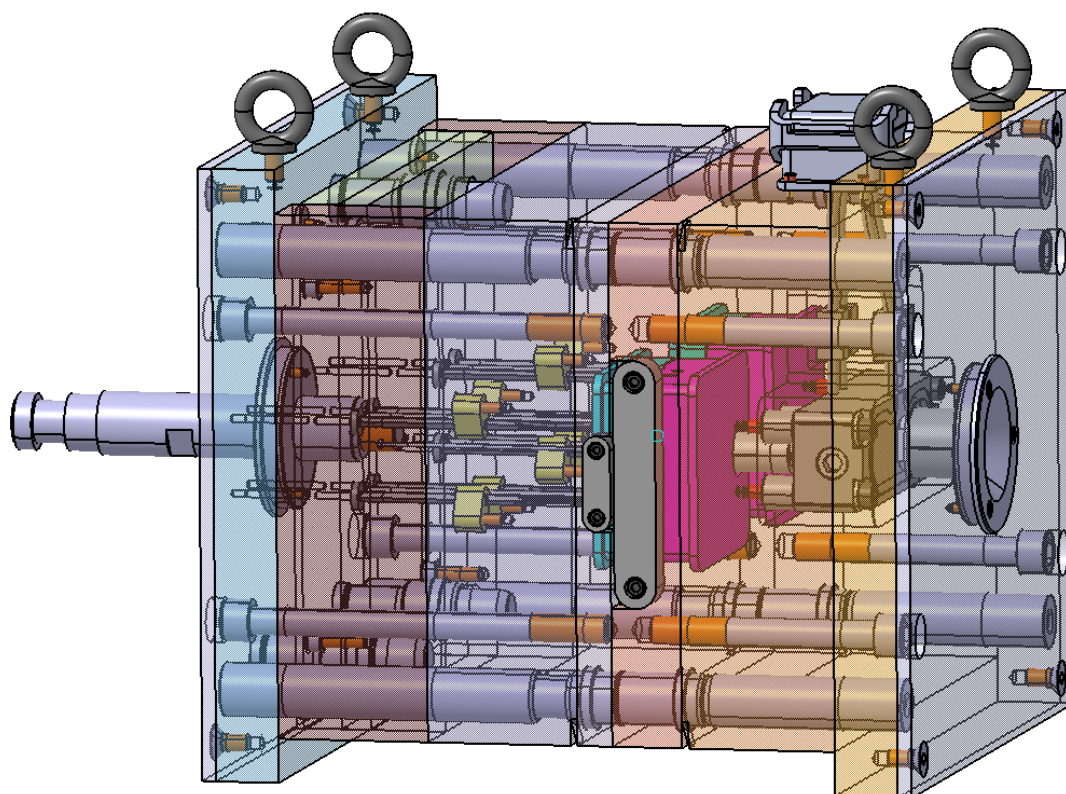
Obrázek 58 Levá strana formy

7.9 Transport formy

Transportní systém je navržen pro usnadnění manipulace s formou. Při konstrukci formy byla použita čtyři závěsná oka se závitem E 1270, přičemž každé z nich disponuje nosností 230 kg. Oka byla zašroubována do levé a pravé upínací desky.



Obrázek 59 Závěsné oko



Obrázek 60 Sestava formy

8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Na základě parametrů vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 420 C Golden Edition od společnosti Arburg. Při jeho výběru bylo dbáno na to, aby se forma vešla mezi vodící sloupky stroje a zároveň, aby vyhovoval objemem vstřikovací dávky.



Obrázek 61 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420 C Golden Edition

Tabulka 2 Parametry uzavírací jednotky

	Stroj	Forma
Maximální uzavírací síla [kN]	1000	/
Vzdálenost mezi vodícími sloupky [mm]	420x420	346x396
Maximální rozměry upínacích desek [mm]	570x570	/
Maximální vyhazovací síla [kN]	40	/
Maximální zdvih vyhazovače [mm]	175	/
Minimální délka uzavřené formy [mm]	250	416
Maximální hmotnost pohyblivé části formy [kg]	600	

(zdroj: [34])

Tabulka 3 Parametry vstřikovací jednotky

	Stroj	Forma
Průměr šneku [mm]	30	/
Poměr šneku L/D [-]	23,3	/
Maximální vstřikovací tlak [bar]	2500	/
Maximální kroutící moment šneku [Nm]	320	/
Maximální objem vstřikovací dávky [cm ³]	106	28,9

(zdroj: [34])

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnutí a zkonstruování vstřikovací formy určené pro výrobu vnitřního ochranného krytu mechanismu pro elektrické vypínače.

Na začátku bakalářské práce je věnován prostor literární studii, která je součástí teoretické části. V této části jsou uvedeny základní informace o polymerech, technologii vstřikování plastů a vstřikovací formě. V praktické části práce bylo zadáno vytvoření modelu plastového výrobku v softwaru CATIA V5, jenž má dále sloužit jako podklad pro konstrukci vstřikovací formy. Po dokončení konstrukce formy je zpracován výkres 2D sestavy, který je doplněn o kusovník.

Pro plastový výrobek byl jako materiál zvolen polykarbonát. Konstrukce vstřikovací formy byla provedena na základě zadaných parametrů, mezi nimiž bylo požadováno využití dvojnásobné formy a kombinovaného vtokového systému. Za účelem snížení pořizovacích nákladů formy byly použity normalizované součásti od firem Hasco a Meusburger. Při návrhu tvarových částí bylo vycházeno z jedné hlavní dělicí roviny, která byla umístěna na styčné ploše mezi tvárníkem a tvárnici. Jelikož byl specifikován kombinovaný vtokový systém, bylo zvoleno použití horkého rozvodného bloku s horkými tryskami a následného studeného vtokového ústí. Toto ústí bylo umístěno na straně tvárníku pro zajištění efektivnějšího vyhazování výrobku. Při konstrukci byl kladen důraz na odpovídající teplotu, která byla vedena skrz tvarové části tvárníku a tvárnice, stejně jako skrze kotevní desky obou těchto částí. Naopak menší pozornost byla věnována odvětrávacímu systému, protože se předpokládalo, že vzduch bude odváděn přirozeně mezerami v dělicí rovině nebo vůlí kolem vyhazovacích kolíků. Pro zajištění bezproblémového vyhození dílu z formy byly na každou tvarovou část tvárníku použity čtyři pružné vyhazovací jednotky a tři válcové nitridované vyhazovače. Manipulace s formou byla umožněna pomocí čtyř závěsných ok, která byla zašroubována do upínacích desek.

Pro vstřikovací formu byl vybrán vhodný typ vstřikovacího stroje, který vyhovuje parametrům formy. Vybrán byl stroj od společnosti Arburg, konkrétně model Allrounder 420 C Golden Edition.

V závěru práce jsou přiloženy potřebné přílohy k návrhu vstřikovací formy. K bakalářské práci je rovněž přiložen výkres 2D sestavy vstřikovací formy doplněný o kusovník.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš; BRDLÍK, Pavel; BORŮVKA, Martin a LENFELDOVÁ, Irena. *Úvod do technologií zpracování plastů*. Online. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. ISBN 978-80-7494-460-4. Dostupné z: <https://publi.cz/book/2537-uvod-do-technologie-zpracovani-plastu>. [cit. 2024-12-10].
- [2] CATOEN, Bruce a REES, Herbert. *Injection mold design handbook*. Online. Munich: Hanser, [2021]. ISBN 978-1-56990-815-0. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMDH0003/toc>. [cit. 2024-12-10].
- [3] FAKTORY AUTOMATION. *Co jsou to termoplasty? 6 věcí, které byste o nich měli vědět*. Online. 2022. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-termoplasty-6-veci-ktere-byste-o-nich-meli-vedet/>. [cit. 2024-11-26].
- [4] BENEŠ, Libor. *PLASTY*. Online. In: ČVUT Fakulta strojní. 2006. Dostupné z: https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/polymvsauto/PLASTY_presentace_uvodni%20seznameni.pdf. [cit. 2024-12-01].
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk – teorie a praxe*. Online. Grada, 2021. ISBN 978-80-271-4247-7. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/vstrikovani-plastu-2-10379/>. [cit. 2024-12-10].
- [7] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů. I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vydání. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [8] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Online. Verze knihy: 15. 2015. ISBN 978-80-88058-66-3. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/?book=180-polymery>. [cit. 2024-12-10].
- [9] KOHJIYA, Shinzo a IKEDA, Yuko. *Chemistry, Manufacture, and Applications of Natural Rubber*. Online. 2nd Edition. Elsevier, 2021. ISBN 978-0-12-818843-9. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpCMANRE02/toc>. [cit. 2024-12-10].
- [10] JAROSCHEK, Christoph. *Injection Molding for Practitioners*. Online. Hanser Publishers, 2024. ISBN 978-1-56990-178-6. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMP00003/toc>. [cit. 2024-12-13].

- [11] *Vstřikovaný výrobek*. Online. In: Fatra. 2024. Dostupné z: <https://www.fatra.cz/produkty/vstrikovane-vyrobky-vstrikovani-plastu/>. [cit. 2024-12-13].
- [12] *Barevné granuláty*. Online. In: Depositphotos. 2024. Dostupné z: <https://depositphotos.com/cz/photo/heaps-of-dyed-plastic-granulate-71669189.html>. [cit. 2024-12-13].
- [13] HELŠTÝN, Josef a MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
- [14] TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 2. nezměn. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1980. ISBN (brož.).
- [15] BRUDER, Ulf. *User's Guide to Plastic*. Online. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-56990-734-4. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpUGPE0007/toc>. [cit. 2024-12-14].
- [16] RAO, Natti S. *Basic polymer engineering data*. Online. Munich: Hanser Publications, 2017. ISBN 978-1-56990-649-1. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpBPED0001/toc>. [cit. 2024-12-14].
- [17] OSSWALD, Tim A. *Understanding Polymer Processing – Processes and Governing Equations*. Online. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2017. ISBN 978-1-56990-647-7. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpUPPPGEE4/toc>. [cit. 2024-12-15].
- [18] EBNESAJJAD, Sina. *Fluoroplastics, Volume 2 - Melt Processible Fluoropolymers – The Definitive User's Guide and Data Book*. Online. Latest edition. Elsevier, 2015. ISBN 978-1-4557-3197-8. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpFVMPFTD1/toc>. [cit. 2024-12-15].
- [19] FAKTORY AUTOMATION. *Stroje na vstřikování plastů? Pomůžeme vám vyznat se v nich*. Online. 16 července 2017. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/stroje-na-vstrikovani-plastu-pomuzeme-vam-vyznat-se-v-nich/>. [cit. 2025-02-21].

- [20] HELŠTÝN, Josef a MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje 2*. Učební texty vysokých škol. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0213-X. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:e21dbcc0-5a1c-11e2-bcaf-005056827e52>.
- [21] LANXESS. *Engineering Plastics: Part and Mold Design*. Online. 2007. Dostupné z: http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015. [cit. 2025-02-26].
- [22] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Online. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, [2022]. ISBN 978-1-56990-891-4. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMDE0011/toc>. [cit. 2025-03-03].
- [23] LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices*. Online. Munich: Hanser Publishers, [2020]. ISBN 978-1-56990-689-7. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpPIMSMRB7/toc>. [cit. 2025-03-04].
- [24] HOPMANN, Christian; GREIF, Helmut a WOLTERS, Leo. *Training in plastics technology*. Online. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, [2024]. ISBN 978-1-56990-910-2. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpTPT00008/toc>. [cit. 2025-03-07].
- [25] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vydání. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [26] BHARGAVA, Vikram. *Robust plastic product design: a holistic approach*. Online. Munich: Hanser Publishers, [2018]. ISBN 978-1-56990-580-7. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpRPPDAHA6/toc>. [cit. 2025-03-08].
- [27] HASCO – *Enabling with System*. Online. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/>. [cit. 2025-03-10].
- [28] DANGEL, Rainer. *Injection molds for beginners*. Online. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, [2023]. ISBN 978-1-56990-911-9. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMB00018/toc>. [cit. 2025-03-10].
- [29] KULKARNI, Suhas. *Robust Process Development and Scientific Molding – Theory and Practice*. Online. 3rd Edition. Hanser Publishers, 2024. ISBN 978-1-56990-908-9. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpRPDSMT1D/toc>. [cit. 2025-03-11].

- [30] STOKES, Vijay K. *Introduction to Plastics Engineering*. Online. 2020 Edition. John Wiley & Sons, 2020. ISBN 978-1-119-53657-4. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIPE0003L/toc>. [cit. 2025-03-11].
- [31] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. *Understanding Injection Molds*. Online. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-843-3. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpUIME0002/toc>. [cit. 2025-03-11].
- [32] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. Online. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, [2019]. ISBN 978-1-56990-590-6. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/kn/resources/kpRGDHTSI1/toc>. [cit. 2025-03-12].
- [33] *Polykarbonát PC*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.plastics.cz/prehled-plastu/polykarbonat-pc>. [cit. 2025-03-22].
- [34] *ARBURG*. Online. ARBURG. 2025. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/>. [cit. 2025-05-14].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů	13
Obrázek 2 Amorfni struktura	14
Obrázek 3 Semikrystalická struktura	14
Obrázek 4 Struktura reaktoplastu	15
Obrázek 5 Struktura elastomeru	16
Obrázek 6 Surový přírodní kaučuk	16
Obrázek 7 Vstřikovaný výrobek	20
Obrázek 8 Barevné granuláty	21
Obrázek 9 Vstřikovací cyklus	22
Obrázek 10 Vstřikovací stroj	23
Obrázek 11 Vstřikovací jednotka	24
Obrázek 12 Hydraulická uzavírací jednotka	25
Obrázek 13 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka	25
Obrázek 14 Nesprávný a správný návrh rovnoměrnosti tloušťky stěny	27
Obrázek 15 Tvorba vnějšího a vnitřního rádiusu	27
Obrázek 16 Přechody tlouštěk stěn	28
Obrázek 17 Vznik propadliny na opačném povrchu stěny	28
Obrázek 18 Návrh žebra	29
Obrázek 19 Nesprávný a správný návrh úkosů	30
Obrázek 20 Vnitřní a vnější podkoso	30
Obrázek 21 Nesprávný a správný návrh zaoblení rohů	31
Obrázek 22 Návrh komínku	32
Obrázek 23 Nesprávný a správný návrh komínků	32
Obrázek 24 Nesprávný a správný návrh výztuhy	33
Obrázek 25 Návrhy konstrukce průřezového profilu nápisů	33
Obrázek 26 Studený vtokový systém	35
Obrázek 27 Kruhový, parabolický a lichoběžníkový tvar	37
Obrázek 28 Štěrbínový vtok	38
Obrázek 29 Vějířový vtok	38
Obrázek 30 Filmový vtok	39
Obrázek 31 Prstencový vtok	39
Obrázek 32 Tunelový vtok	40
Obrázek 33 Bodový vtok	40
Obrázek 34 Tryska s vnitřním ohřevem	42

Obrázek 35 Rozvodný blok ve tvaru H.....	43
Obrázek 36 Válcový vyhazovací kolík	44
Obrázek 37 Prizmatický vyhazovací kolík	45
Obrázek 38 Trubkový vyhazovací kolík	45
Obrázek 39 Stírací deska.....	46
Obrázek 40 Sériové temperování	49
Obrázek 41 Paralelní temperování	49
Obrázek 42 Spálené místo po Dieselově efektu.....	50
Obrázek 43 Model vstřikovaného výrobku shora	55
Obrázek 44 Model vstřikovaného výrobku zespodu.....	55
Obrázek 45 Dělicí rovina	57
Obrázek 46 Násobnost formy	58
Obrázek 47 Tvárník	59
Obrázek 48 Tvárnice.....	59
Obrázek 49 Horká vtoková soustava	60
Obrázek 50 Umístění vtoku	61
Obrázek 51 Studená vtoková soustava.....	61
Obrázek 52 Temperace tvárnic	63
Obrázek 53 Temperace tvárníků	63
Obrázek 54 Vyhazovací systém.....	65
Obrázek 55 Vodící čepy.....	65
Obrázek 56 Uložení vyhazovačů	66
Obrázek 57 Pravá strana formy.....	67
Obrázek 58 Levá strana formy.....	68
Obrázek 59 Závěsné oko.....	68
Obrázek 60 Sestava formy	69
Obrázek 61 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420 C Golden Edition	70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Technické vlastnosti polykarbonátu PC	56
Tabulka 2 Parametry uzavírací jednotky	70
Tabulka 3 Parametry vstřikovací jednotky	70

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

např.	Například
mm	Milimetr
atd.	A tak dále
obr.	Obrázek
μm	Mikrometr
%	Procento
°	Stupeň
MPa	Megapascal
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
°C	Stupeň Celsia
tzv.	Takzvaně
3D	Třírozměrný prostor
2D	Dvourozměrný prostor
g/cm^3	Gram na centimetr krychlový
N/mm^2	Newton na milimetr čtvereční
W/mK	Watt na metr kelvin
kV/mm	Kilovolt na milimetr
ESR	Elektrostruskově přetavený materiál

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list polykarbonátu

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace vstřikovací formy + kusovník

Příloha P IV: CD

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST POLYKARBONÁTU (PC)



Polycarbonate

Colour: Clear

Density: 1.20g/cm³

Material Data Sheet

Mechanical Properties	Parameter	Value	Unit	DIN/EN/ISO
Tensile strength at yield	50mm/min	60	MPa	527
Tensile strength at break	50mm/min	70	MPa	527
Tensile strain at yield	50mm/min	6	%	527
Tensile strain at break	50mm/min	120	%	527
Flexural strength at yield	2mm/min	90	MPa	178
Modulus of elasticity (flexural test)	2mm/min	2300	MPa	178
Izod impact strength 23 °C	Notched	65	kJ/m ²	180/4A
Izod impact strength -30 °C	Notched	10	kJ/m ²	180/4A
Impact strength (Charpy)	Notched	35	kJ/m ²	179/1C
Hardness	H358/30 95	95	Mpa	2039/1

Thermal Properties	Parameter	Value	Unit	DIN/EN/ISO
Vicat softening temperature	B/120	145	°C	306
HDT/Ae, 1.8 MPa edgew.	120*1*04/sp=100	127	°C	75
Thermal conductivity	-	0.2	W/m.°C	8302
Coeff. Of lin. Therm. Exp. Extr.	23-80 °C	7.00 E-05	1/°C	11359-2
Ball pressure test	125 +2 °C	Passes	-	60695-10-2
Relative thermal index	Electrical Prop.	130	°C	746B
Relative thermal index	Mech. Prop. With impact	125	°C	746B
Relative thermal index	Mech. Prop. w/o impact	125	°C	746B

Electrical properties	Parameter	Value	Unit	DIN/IEC
Volume resistivity	-	10E15	Ohm.cm	60093
Relative permittivity	50/60Hz	2.7	-	60250
Relative permittivity	1Mhz	2.7	-	60250
Dissipation factor	50/60Hz	0.001	-	60250
Dissipation factor	1Mhz	0.01	-	60250

Other properties	Parameter	Value	Unit	DIN/EN/ISO/IEC
Water absorption	50%RH / 23°C	0.15	%	62
Water absorption	Saturation/23°C	0.35	%	62
Light transmission	3mm	-	119	D495

Direct Plastics Ltd. Rother Valley Way, Holbrook, Sheffield, S20 3RW

The following information corresponds with our current knowledge and indicates our products and possible applications. We cannot give a legally binding guarantee of certain properties or the suitability for a specific application. Existing commercial patents must be observed. A definitive quality guarantee is given in our general conditions of sales. Unless otherwise stated, these values represent averages taken from injection moulding samples. We reserve the right of technical alterations.

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE

TECHNICAL DATA | 420 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		420 C GOLDEN EDITION
with clamping force	max. kN	1000
Opening force stroke	max. kN mm	250 500
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---
Platen daylight fixed variable	max. mm	750 ---
Distance between tie bars (w x h)	mm	420 x 420
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	570 x 570
Weight of movable mould half	max. kg	600
Ejector force stroke	max. kN mm	40 175
Dry cycle time EUROMAP ²	min. s - mm	1,8 - 294

Injection unit		290		
with screw diameter	mm	30	35	40
Effective screw length	L/D	23,3	20	17,5
Screw stroke	max. mm	150		
Calculated stroke volume	max. cm ³	106	144	188
Shot weight	max. g PS	97	132	172
Material throughput	max. kg/h PS	17	20,5	24,5
	max. kg/h PA6.6	8,5	10,5	12,5
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530
Injection flow ²	max. cm ³ /s	102	140	182
Screw circumferential speed ²	max. m/min	46	54	62
Screw torque	max. Nm	320	380	430
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 240		
Heating capacity zones	kW	6,4 5		
Feed hopper	l	50		

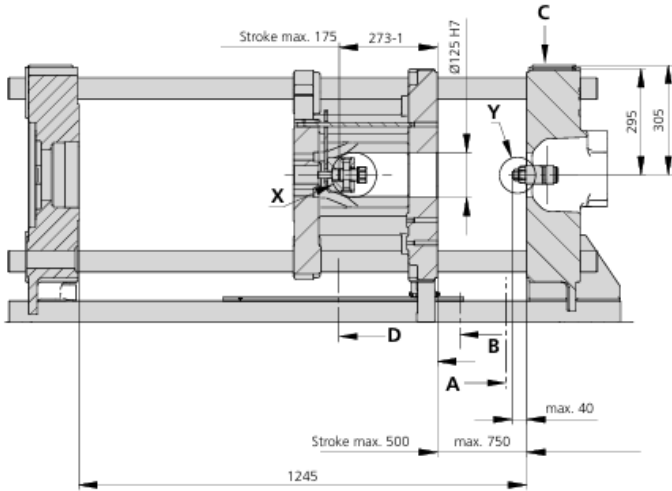
Drive and connection		2 pumps		
with injection unit		290		
Net weight of machine	kg	3650		
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	68 3		
Oil filling	l	235		
Drive power ²	max. kW	15		
Electrical connection ³	kW	24		
	Total A	80		
	Machine A	---		
	Heating A	---		
Cooling water connection	max. °C	30		
	min. Δp bar	1,5 DN 25		

Machine type	
with EUROMAP size designation ¹	
420 C GOLDEN EDITION 1000-290	

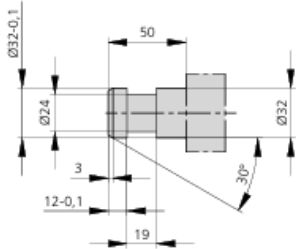
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

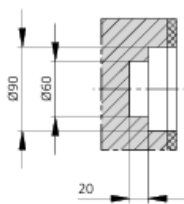
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 420 C GOLDEN EDITION



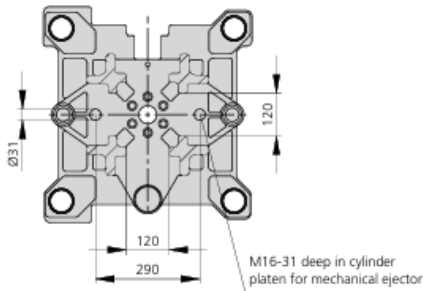
Ejector bolt | X



Bore in mould (if required) | Y



D view



Robotic system mounting | C

