

Návrh nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování

Ondřej Daniel

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Ondřej Daniel
Osobní číslo:	T21028
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování

Zásady pro vypracování

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s kusovníkem.

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

Seznam doporučené literatury:

- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, [2018], 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
CATOEN, Bruce a Herbert REES. Injection mold design handbook. Munich: Hanser publishers, [2021], xxviii, 786 s. ISBN 978-1-56990-815-0.
KAZMER, David. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016], xxiv, 529 s. ISBN 9781569905708.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 4. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- 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 autorského zákona mohu užit 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 samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Téma bakalářské práce se zabývá návrhem nástroje pro výrobu plastového dílu technologií vstřikování. Práce je rozdělena na dvě hlavní části. První část je teoretická a věnuje se informacím zabývajícím se polymery, vstřikováním, vstřikovací formou, vstřikovacím strojem, výstřikem a jeho konstrukcí.

Druhá část je praktická a je zaměřena na 3D konstrukci zadaného dílu a postup konstruování vstřikovací formy pro zadaný díl. Vstřikovací forma byla zhotovena společně s dílem v softwaru CATIA V5-6R2020. V poslední části byl vybrán vhodný vstřikovací stroj pro danou formu.

Klíčová slova: polymery, vstřikování plastů, vstřikovací forma, konstrukce, CATIA V5-6R2020

ABSTRACT

The topic of the bachelor thesis is the design of a tool for the production of a plastic part using injection molding technology. The thesis is divided into two main parts. The first part is theoretical and deals with information related to polymers, injection molding, injection mold, injection molding machine, injection and his construction.

The second part is practical and focuses on the 3D design of the specified part and the process of constructing the injection mold for the specified part, which was created together with the part in CATIA V5-6R2020 software. In the final section, a suitable injection molding machine was for the given mold.

Keywords: polymers, injection molding, injection mold, construction, CATIA V5-6R2020

Rád bych vyjádřil upřímné poděkování doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho cenné odborné rady, podnětné připomínky a čas, který mi ochotně věnoval během zpracování této práce.

Velké dík patří také mé rodině, která při mně stála po celou dobu mého studia a byla mi oporou v každé situaci.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERY	11
1.1 TERMOPLASTY	11
1.2 ELASTOMERY	12
1.3 REAKTOPLASTY.....	12
1.4 PŘÍSADY DO POLYMERŮ	13
1.4.1 Tepelné stabilizátory	13
1.4.2 Světelné stabilizátory	13
1.4.3 Stabilizátory se specifickým účinkem.....	13
1.4.4 Barviva	14
1.4.5 Opticky zjasňující látky.....	14
1.4.6 Maziva.....	14
1.4.7 Změkčovadla	14
1.4.8 Retardéry hoření.....	14
1.5 PŘÍPRAVA MATERIÁLU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	14
1.5.1 Míchání termoplastu.....	15
1.5.2 Sušení termoplastu	15
2 VSTŘIKOVÁNÍ	16
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	16
2.1.1 Plastikační fáze.....	17
2.1.2 Vstřikovací fáze	17
2.1.3 Dotlaková fáze	17
2.1.4 Ochlazovací fáze	18
2.2 SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE TERMOPLASTŮ.....	18
2.3 PVT DIAGRAM	18
2.4 VADY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ	20
2.4.1 Skryté vady.....	20
2.4.2 Zjevné vady	20
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	21
3.1 NÁSOBNOST FORMY	21
3.2 OZNAČOVÁNÍ FOREM	21
3.3 VTOKOVÝ SYSTÉM	22
3.3.1 Studené vtokové systémy	22
3.3.2 Vyhřívané vtokové systém.....	23
3.4 TEMPERACE FORMY	28
3.4.1 Účinky temperace.....	28

3.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	29
3.5.1	Mechanické vyhazování.....	29
3.5.2	Vzduchové vyhazování.....	30
3.5.3	Hydraulické vyhazování.....	31
3.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	31
4	VSTŘIKOVACÍ STROJ	33
4.1	ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ.....	33
4.2	VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	34
4.3	UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	35
5	VÝSTŘÍK A JEHO KONSTRUKCE.....	36
5.1	DĚLÍCÍ ROVINA.....	36
5.2	ZAOBLENÍ HRAN.....	36
5.3	ÚKOSY	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
6	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	39
7	POUŽITÝ SOFTWARE.....	40
7.1	CATIA V5-6R2020	40
7.2	MEUSBURGER.....	40
8	VÝROBEK.....	41
8.1	MATERIÁL VÝROBKU	42
9	KONSTRUKCE FORMY	43
9.1	DĚLÍCÍ ROVINA.....	45
9.2	NÁSOBNOST FORMY	47
9.3	TVAROVÉ VLOŽKY	47
9.4	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ.....	48
9.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	50
9.6	VTKOVÝ SYSTÉM	51
9.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	52
9.8	MANIPULACE S FORMOU	54
10	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	55
	ZÁVĚR	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

Polymerní materiály se staly nedílnou součástí našich životů. Jsou s námi denně a představit si život bez nich je téměř nemožné. Od jednoduchých předmětů po složité aplikace, polymery se v mnoha oblastech staly dominantními a často nahradily tradiční materiály. Jejich vliv je zkrátka nepopíratelný.

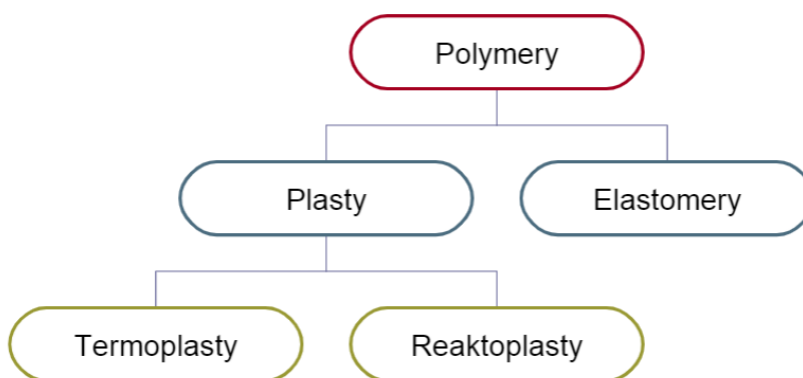
S rozvojem nových materiálů přichází i potřeba inovovat technologie jejich zpracování. Jedním z příkladů je technologie vstřikování, která se přizpůsobuje rozmanitým vlastnostem polymerů a široké škále aplikací. Vstřikování se stalo nejpopulárnější metodou výroby plastových výrobků neboli výstřiků, zejména v oblastech automobilového průmyslu, leteckého průmyslu a v mnoha dalších odvětvích, díky své rychlosti a kvalitě výsledků.

S technologií vstřikování jsou pevně spjaty vstřikovací formy. S vzrůstajícím zájmem o využití polymerů v průmyslu rostou i požadavky na výrobu forem. Možnosti sestavení forem jsou prakticky neomezené a specifické pro každý vyráběný díl. Existují obrovské formy s vysokou násobností nebo jenom jednonásobné, stejně jako formy pro tvarově náročné díly s mnoha odformovacími prvky. Velkou výhodou forem je, že z nich vycházejí hotové díly, které nevyžadují další úpravy. Sestavení forem se může provádět u mnoha firem jako je například MEUSBURGER nebo HASCO.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

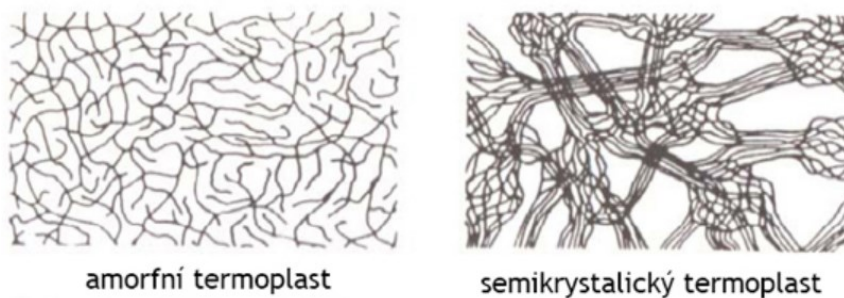
Jsou to látky organického původu, které mohou být vytvořeny uměle nebo se vyskytují v přírodě. Vyznačují se makromolekulární strukturou, v níž se opakuje základní stavební jednotka zvaná mer. Název polymer vychází z řeckých slov poly (mnoho) a meros (část), což odkazuje na řetězovou strukturu složenou z velkého počtu merů. V závislosti na chemickém složení mohou polymery obsahovat různé prvky, nejčastěji uhlík, vodík, kyslík, dusík a chlor, popřípadě i jiné atomy. Díky rozmanitosti stavebních jednotek a jejich uspořádání existuje široká škála polymerů s rozmanitými vlastnostmi a využitím. Polymery se nejčastěji nachází ve stavu pevném ve formě výstřiku (zatuhnutého výrobku), ale ještě před zatuhnutím se nachází ve stavu kapalném (tavenině). [1]



Obrázek 1 Rozdělení polymerů [2]

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymery, jejichž tvar lze opakovaně měnit zahříváním a působením smykového napětí, přičemž po ochlazení nový tvar zůstává zachován. Po zahřátí mohou být lehce tvarovatelné, a to díky přechodu do stavu vysoce viskózních newtonských kapalin (plastického stavu). Jestliže je termoplast ochlazený pod teplotu tání (teplota viskózního toku), potom dochází k tuhnutí. Proces měknutí a tuhnutí může být opakovatelný prakticky nekonečněkrát, protože nedochází k chemickým změnám struktury při zahřívání materiálu. Podle stupně uspořádanosti (nadmolekulární struktury) můžou být děleny plasty na uspořádané (amorfní) a neuspořádané (semikrystalické). [3]



Obrázek 2 Nadmolekulární uspořádání termoplastu [4]

1.2 Elastomery

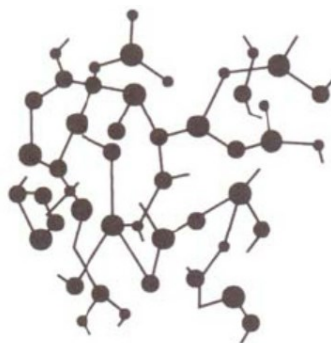
Elastomer je vysoce elastický (pružný) polymer s nízkou tuhostí. Působením menších sil můžeme materiál deformovat bez jeho porušení. Tento děj je převážně vratný. Spoje mezi řetězci jsou aktivovány teplem – vulkanizace. Řetězce se mohou pohybovat okolo spojů. Typickým představitelem elastomeru jsou kaučuky, které lze dělit na přírodní kaučuky a syntetické kaučuky, ze kterých se vyrábí pryže (vysoce pružný materiál). [1]



Obrázek 3 Chování elastomeru při mechanickém namáhání [1]

1.3 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymerní materiály, které lze tvarovat po zahřátí, ale pouze jen určitou dobu. Při delším zahřívání dochází k chemické změně – vytvrzování, která nastává, když se původní molekuly zesílují. Tento proces je nevratný, takže materiál nelze dále tvarovat nebo tavit. Reaktoplasty patří mezi amorfní polymery a definují se vysokou tuhostí, tvrdostí, chemickou a tepelnou odolností. [1]



Obrázek 4 *Prostorové zesíťování struktury neboli vytvrzení* [4]

1.4 Přísady do polymerů

Využití polymerů v čistém stavu je velmi neobvyklé. Často jsou upraveny přidáním různých přísad, aby se dosáhlo požadovaných vlastností pro konkrétní účely. Základní vlastnosti a charakteristiky materiálu jsou určeny typem polymeru. Přísady mohou mít za úkol zlepšit vlastnosti materiálu, ovlivnit jeho zpracovatelnost, chránit ho před degradací nebo snížit náklady na výrobu. Největší nedostatky polymeru jsou: hořlavost, nízká tvrdost, vznik elektrostatického náboje na povrchu polymeru, nízká houževnatost, nízká odolnost proti vysokým teplotám, omezená odolnost vůči chemikáliím, nepříznivé optické vlastnosti.[1]

1.4.1 Tepelné stabilizátory

Primárním účelem těchto látek je omezit degradační reakce a zvýšit tepelnou stabilitu polymerních materiálů během jejich zpracování za zvýšených teplot. V průběhu degradačního procesu nastává oxidační reakce polymeru s kyslíkem obsaženým ve vzduchu, dochází k rozpadu polymerních řetězců na kratší segmenty nebo jejich zesíťování.[1]

1.4.2 Světelné stabilizátory

Mají za úkol zpomalit degradační procesy v důsledku vystavení slunečnímu záření. Sluneční záření (UV záření) je pro polymery velice nebezpečné, protože vyvolávají vznik volných radikálů, které dokážou vyvolat degradaci materiálu.[1]

1.4.3 Stabilizátory se specifickým účinkem

Zabraňují stárnutí polymeru vlivem působení vnějších faktorů, které se nachází v atmosféře, jako jsou například vodní srážky, ozón, kyslík a další mikroorganismy. Tyto látky se mohou taky nazvat jako anidegradanty.[1]

1.4.4 Barviva

Pomáhají plastům dosáhnout požadované barvy nebo odstínu. Barviva lze rozdělit na organické nebo anorganické. Organické barviva jsou v polymerech rozpustné, takže zachovávají polymeru jeho propustnost (propustnost) na rozdíl od anorganických.[1]

1.4.5 Opticky zjasňující látky

Tyto látky pohlcují část UV záření, které přemění na záření o větších vlnových délkách během osvětlování.[1]

1.4.6 Maziva

Zlepšují vzhled polymeru, světelnou a tepelnou stabilitu nebo odolnost proti povětrnostním podmínkám. Celkově usnadňují zpracování polymeru. Maziva málo rozpustné, se při zpracování polymeru, vystupují na povrch polymeru, což nám umožňuje snadnější vyjmutí výrobku z formy. Maziva, která jsou dobře rozpustné, snižují viskozitu polymeru, která zlepšuje jeho zpracovatelnost.[1]

1.4.7 Změkčovadla

Jsou to organické kapaliny vyznačující se vysokou teplotou varu, jejichž přítomnost v polymerech vede ke zlepšení elasticity, rázové houževnatosti a zpracovatelnosti materiálu.[1]

1.4.8 Retardéry hoření

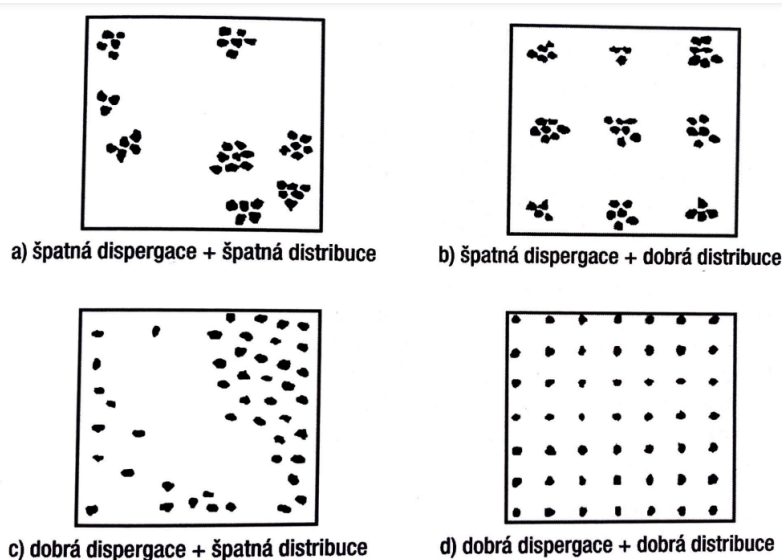
Látky, které zpomalují proces hoření. Mezi retardéry hoření patří tvrdila, díky kterým vznikají příčné vazby a tím vytvrzení nebo urychlovače reakcí.[1]

1.5 Příprava materiálu před vstřikováním

Zpracování termoplastu je prostřední fáze při výrobě polymerní suroviny, které dodá polymeru požadované vlastnosti a tvar. Tato technologická operace se provádí před samotným tvářecím nebo tvarovacím strojem a představuje široký rozsah postupů jako je například míchání nebo sušení, které provádí zpracovatelé polymerů nebo specializované firmy.[5]

1.5.1 Míchání termoplastu

Míchání má za cíl kombinovat základní polymer s přísadami, jako jsou například stabilizátory, plniva, barviva nebo retardéry hoření, které zlepšují vlastnosti polymer nebo se používají zrychlení a zlepšení dalších zpracování. Míchají se všechny stavy polymeru (taveniny, prášky, granuláty). Je to proces, při kterém jsou dva druhy materiálu vloženy do míchacího prostoru, kde se materiál rozptýlí, aby bylo dosaženo rovnoměrného rozložení jednotlivých komponent v promíchávaném materiálu (hmotě). Hlavním požadavkem míchání je dosažení rovnoměrného rozdělení (distribuce) míchaných složek v objemu směsi a jejich rovnoměrné rozptýlení (dispergace).[5]



Obrázek 5: Schématické znázornění dispergačního a distribučního míchání [5]

1.5.2 Sušení termoplastu

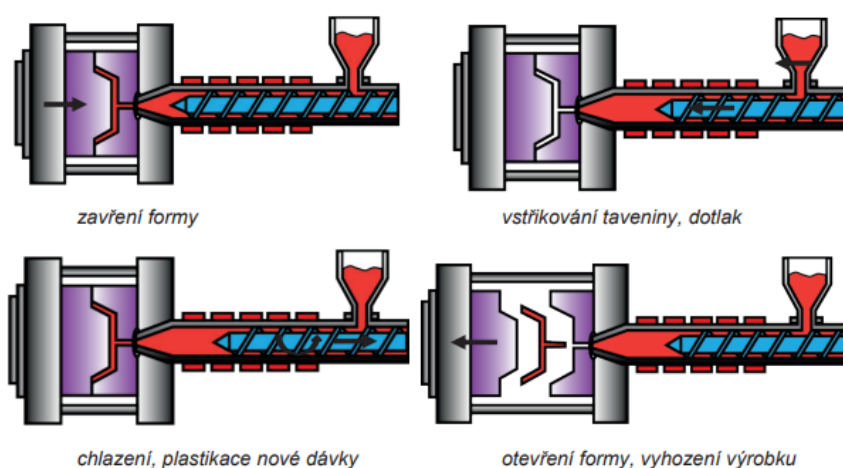
Jedním z hlavních kritérií pro kvalitu termoplastů ve formě granulátu určených ke vstřikování je stanovení jejich obsahu vlhkosti v nich. To zahrnuje provádění vstupní kontroly před vstřikováním a ověření účinnosti sušení. Pro určení správného obsahu vlhkosti polymeru se používají: materiálové listy, databáze nebo zkušenosti, které vychází z údajů výrobce daného granulátu. Obsah vlhkosti uvnitř polymeru ovlivňuje teplota prostředí, nebo relativní vlhkost. Je důležité sledovat teplotní změny při manipulaci s granulátem například z místa studenějšího do místa teplejšího (ze skladu do vstřikovny), protože dochází k procesu vysrážení vlhkosti na povrchu materiálu. Tento proces je nežádoucí, proto se musí taky odstranit. [6]

2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování termoplastu patří v dnešní době mezi nejpopulárnější cyklické procesy založené na termodynamických principech, které se využívají pro produkci konečných výrobků. Tato technologie vyniká schopností vytvářet i velmi komplikované tvary a rozměry z široké škály termoplastických materiálů, což je její hlavní předností. Výsledné produkty, nazývané výstřiky, nacházejí uplatnění především ve spotřebním a automobilovém průmyslu, ale také v domácnostech. [7]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus začíná u správně zvoleného materiálu pro vstřikování, který je dopravován ve formě granulí do násypky vstřikovacího stoje. Materiál je nejčastěji odebírán šnekem do plastikační jednotky, kde se taví pomocí topných těles a tření na požadovanou vstřikovací teplotu. Roztavený granulát ve formě taveniny se pomocí zpětného pohybu šneku dopravuje do čela šneku. Následně se materiál vstříkne dopředným pohybem šneku do temperované vstřikovací formy (teplota temperované vstřikovací formy musí být vždy menší, než je teplota vstřikovaného materiálu). Po zchlazení materiálu (výstřiku) na vyhazovací teplotu je výrobek vyhozen ze vstřikovací formy. Poté se celý proces opakuje. Cyklus vstřikování je rozdělen do čtyř hlavních fází, které mají značný vliv na kvalitu a stav výstřiku.[7; 5]



Obrázek 6 Vstřikovací cyklus [8]

2.1.1 Plastikační fáze

Plastikační fáze se rozumí jako přechod polymeru z pevného skupenství ve formě granulátu na taveninu a dále jeho příprava na vstřík do vstřikovací formy. Celý proces plastikační fáze probíhá v plastikační jednotce, kde je vstřikovaný materiál plastikován (roztaven) pomocí otáčejícího se šneku. Při otáčení šneku dochází ke tření mezi materiálem a stěnou, díky kterému se materiál taví a dopravuje do čela. Teplotu potřebnou k tomu, aby došlo k plastikaci nám vytváří z velké části tření a z menší části topná tělesa.[7]

Ke správnému zaplnění tvarové dutiny formy vstřikovaným materiálem je hlavní dodržet viskozitní a teplotní homogenity a vhodné množství taveniny shromážděné v čele šneku, ke kterému dojde díky správnému dodržení teplot v jednotlivých topných pásmech, které se nachází v plastikační jednotce, rychlosti otáčení šneku a zpětného odporu na šneku.

Při nedodržení teplotní a viskozitní homogenity taveniny se negativně projeví na kvalitě povrchu finálního výrobku (výstřiku) – studené spoje, vnitřní pnutí, tokové čáry, lesk.[5]

2.1.2 Vstřikovací fáze

Vstřikovací fáze neboli tvarové plnění dutiny je nejdůležitější fáze u technologie vstřikování, protože určuje, jaké vlastnosti bude mít finální výrobek (výstřík). Tato fáze má dva hlavní úkoly, a to správně naplnit celou dutinu formy taveninou, která byla připravena v plastikační fázi a dodržet správnou rychlost toku taveniny, která musí být v každém místě tvarové dutiny konstantní.[7; 9]

Doba, za kterou se tvarová dutina formy zaplní, má velký vliv na vady povrchu výstřiku jako jsou – povrch pomerančové kůry, tokové čáry, stopy po studených spojích nebo vrásnění. Proto se musí vhodně zvolit rychlost plnění formy, teplota taveniny a teplota formy, tak aby nedocházelo k vysokým smykovým napětím na povrchu výstřiku.[10]

2.1.3 Dotlaková fáze

Po vstřikovací fázi dochází na fázi dotlaku, která zajišťuje korekci smrštění, deformaci výrobku a snížení tlaku uvnitř formy. Popřípadě odstranění trhlin, bublin, propadlin a správného vykopírování tvaru výstřiku v dutině formy. Dotlakovou fázi lze kontrolovat takzvaným polštářem, který ukazuje množství taveniny, které zůstane před čelem šneku po fázi dotlaku, jestliže bude hodnota polštáře v určitých tolerančních mezích stejná, znamená to, že se proces může opakovat.[10]

2.1.4 Ochlazovací fáze

Ochlazovací fáze začíná již při prvním kontaktu taveniny s formou, která má výrazně nižší teplotu. Chlazení tedy probíhá při vstříknutí taveniny do tvarové dutiny formy a dále pokrčuje během fáze dotlaku. Ochlazování končí, až je materiál úplně ztuhlý uvnitř tvarové dutiny formy. Dále dochází k vyhození výstříku, který ale musím mít správnou teplotu, aby nedošlo k deformaci výstříku. Teplota samotného výrobku po vyhození bude stále vyšší, než je teplota okolí, jelikož ochlazení na teplotu okolí by bylo ve formě poměrně dlouhé, takže se tímto zkrátí celý cyklus a výrobek chladne mimo dutinu vstřikovacího stroje. Obecně platí, že pokud bude ochlazovací fáze pomalejší, tím se zvyšuje smrštění výrobku. [9; 9; 10]

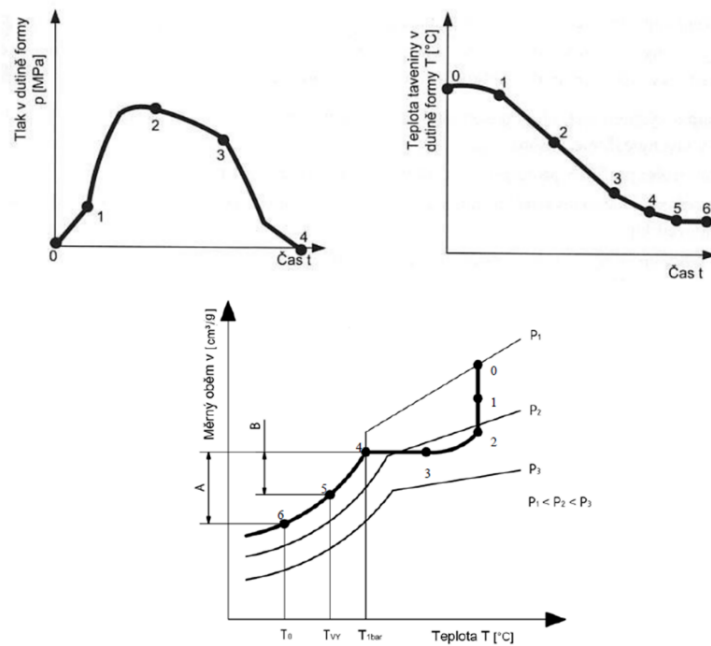
2.2 Smrštění a deformace termoplastů

Deformace výstříku z termoplastu je důsledkem působení řady nežádoucích vlivů. Vznikají tak – propadliny, dutiny, vnitřní pnutí a lineární smrštění. Je to tedy změna tvaru výstříku při konstantním objemu. Hlavní příčinou deformace je působení různých složek celkového smrštění. Smrštění může představovat změnu objemu během tuhnutí taveniny, která nastává hned po vstříknutí polymerní taveniny do tvarové dutiny formy. Její příčinou je tepelná rozpínavost, stlačitelnost a kontrakce plastů. U částečně krystalických plastů k tomu přibývají krystalizační pochody, uspořádání molekul a zmenšení objemu. [10; 11]

2.3 pvT diagram

pvT diagram velmi dobře popisuje, jak termodynamické procesy ovlivňují vývoj objemové kontrakce polymeru neboli smrštění během vstřikovacího cyklu. Diagram tlak – objem – teplota charakterizuje:

1. graficky znázorňuje, jak se mění objem polymeru v závislosti na působícím tlaku během vstřikovacího procesu – kompresibilita
2. přehledně ukazuje, jak se v průběhu vstřikování mění objem polymeru v reakci na změně teploty – tepelné chování [6]



Obrázek 7 Znárodnění změny tlaku, objemu a teploty při vstřikování termoplastů [6]

Bod 0 - šnek uvnitř plastikační komory stlačí roztavený materiál o požadované teplotě, vznikne tak tlak v čele šneku, který dopraví taveninu do vtokového systému.

Bod 0 - 1 – objemové plnění.

Bod 1 - 2 – stlačování taveniny uvnitř dutiny formy.

Bod 2 – přeměna ze vstřikovacího tlaku na dotlak, a to z plnicí fáze na dotlakovou fázi.

Bod 2 - 3 – izobarický dotak.

Bod 3 – zamrzlo vtokové ústí, a proto další působení dotlaku je neúčinné. Taveninu nelze dopravit do tvarové dutiny, a proto je tlačena pouze do vtokového systému.

Bod 3 - 4 – tlak přenášený do tvarové dutiny je zablokovan. Uvnitř vstřikovaného výrobku dochází k tlakovému poklesu za stálého objemu. V bodě 4 dosáhl tlak uvnitř dutiny vstřikovací formy 1 baru (hodnota atmosférického tlaku). Díky smrštění se povrch výstřiku separuje, to znamená, že se oddaluje od stěn dutiny formy.

Bod 4 - 5 – dochází ke ochlazení výstřiku na považovanou teplotu za konstantního tlaku. Po ochlazení zatuhne celý objem výstřiku. V bodě 5 dochází k vyhození výstřiku ze vstřikovací formy.

Bod 5 - 6 – výstřik se chladí mimo vstřikovací formu na teplotu okolí. Chlazení na požadovanou teplotu může trvat klidně i 16-48 hodin. Kontrola finálního výrobku se provádí běžně po 24 hodinách. [10; 6]

2.4 Vady při vstřikování

Vady u výstřiků se rozumí jako defekt na výsledném výrobku, které se projevují na rozměrech, vzhledu, tvaru nebo vlastnostem předem stanovených. Vady mohou vznikat ve zpracovaném plastu, vstřikovacím stroji, v konstrukci výstřiku, dutině vstřikovací formy nebo ve zvolených technologických podmínkách. Vady mohou být rozděleny na skryté a zjevné. [12]

2.4.1 Skryté vady

Skryté vady představují závažný problém při výrobě plastových dílů vstřikováním, protože nejsou odhalitelné pouhou vizuální kontrolou a mohou významně zhoršovat vlastnosti výstřiku. Tyto defekty jsou obzvláště nebezpečné z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti výrobku. Příčiny vzniku skrytých vad jsou různorodé. Patří mezi ně nerovnoměrná orientace vyztužujících vláken nebo řetězců polymerů, vnitřní napětí ve struktuře materiálu, nerovnoměrný průběh krystalizace u částečně krystalických polymerů nebo degradační procesy, které snižují houževnatost a pevnost výstřiku. Dalšími zdroji skrytých vad mohou být vnitřní defekty, jako jsou bublinky plynu vznikajícího při rozkladu polymeru, dutinky zvané lunkry nebo uzavřený vzduch. [12]

2.4.2 Zjevné vady

Naopak zjevné vady lze zjistit vizuální kontrolou podle předem zadaného a schváleného vzorku. Vady se mohou dělit na – tvarové a povrchové.

Mezi tvarové vady lze zařadit nedostříknuté výrobky, zvlnění nebo vrásnění, přetoky a ořepy, propadliny, deformace po vyhazovačích, vada na výrobku způsobená špatnými parametry vstřikování nebo špatnou konstrukcí tvarové dutiny formy nebo rozměrové vady.

Mezi povrchové vady lze zařadit stříbření, matná místa, nerovnoměrný lesk, povrch pomerančové kůry nebo gramofonové desky, stopy po studeném spoji, mikrotrhliny, změna barvy nebo nedokonalé vybarvení, tokové čáry, žloutnutí, stopy po vlhkosti nebo vzduchu v tavenině. [12]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma pro taveninu musí splňovat několik klíčových požadavků na kvalitu. Zaprvé musí být zajištěna správná funkce formy tak, aby bylo možné vyrábět součásti s požadovanou kvalitou a přesností. To zahrnuje jak technické aspekty, jako je například chlazení a ovládání tlaku, tak i možnost snadné manipulace. Dalším důležitým požadavkem je ekonomická efektivita vstřikovací formy. Je důležité, aby měla nízkou pořizovací cenu a zároveň umožnila rychlou výrobu. Důležité je také efektivní využití plastů (minimalizaci ztrát materiálu a optimalizaci procesu výroby). Mezi další důležité požadavky patří společenskoestetické, které vytváří vhodné a bezpečné prostředí. To znamená, že je nutné dbát na bezpečnostní aspekty jak při manipulaci se vstřikovací formou nebo během výrobního procesu. Důležité je taky, aby forma umožňovala výrobu esteticky pohledných, několiknásobných nebo složitých výrobků. Celkově je důležité dodržet veškeré bezpečnostní zásady při konstrukci, výrobě i provozu formy, aby byla zajištěna ochrana pracovníků a dodržení konstrukčních předpisů.[13; 14]

3.1 Násobnost formy

U formy je důležité správné zvolení násobnosti formy, které se vyhodnocuje z následujících činitelů, kteří formu ovlivňují: požadované množství výrobků, velikost a kapacita vstřikovacího stroje, přesnost výstřiku, ekonomiky výroby, požadovaného termínu dodávky. Výrobky s náročným tvarem nebo s velkorozměrovými tvary se obvykle vyrábí v jednonásobných formách. Pro dosažení vysoké kvality a přesnosti výrobku je žádoucí minimalizovat násobnost vstřikovací formy. Nerovnoměrná teplota formy a plastu během vstřikování do dutiny vstřikovací formy, rozdílné tlaky a odlišné vtokové dráhy vedou k rozměrovým nepřesnostem výrobku. [15]

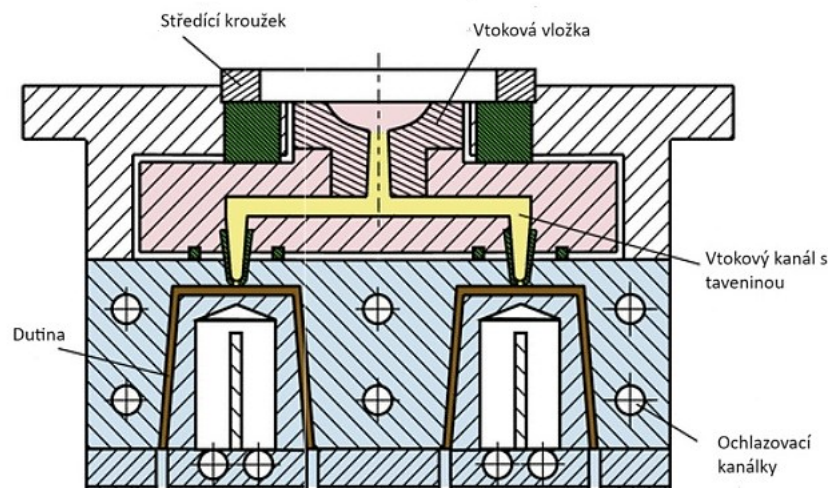
3.2 Označování forem

Cílem označování forem je poskytnout potřebné informace o formě, jejím seřízení ve výrobě a další základní údaje pro evidenci v provozech. Označení výstřiků usnadňuje identifikaci jejich příslušnosti k tvářecí dutině, zejména u vícenásobných forem. Typicky se formy označují kombinací textového popisu a barevných pruhů. Popisové znaky se vyrážejí na formu písmeny a číslicemi podle normy ČSN 227110, přičemž minimální rozměry znaků jsou stanoveny na 6 mm výšky a 0,1 mm hloubky. Označení formy se dělá buď ručním vybrušováním nebo vyjiskřováním. Díky barevnému označení pruhy se identifikuje odvod

a průtok temperančního média a tlakového vzduchu. U forem s vyhřívanými vtokovými soustavami jsou rovněž zahrnuty informace o elektrickém napětí, výkonu a celkový příkon topení. [13]

3.3 Vtokový systém

Vtokový systém představuje klíčový prvek pro přepravu taveniny ze vstřikovacího stroje do vstřikovací formy. Její naplnění termicky homogenní taveninou během vstřikování by mělo probíhat co nejrychleji a s co nejnižším odporem. Průtok taveniny tekoucím vtokovým systémem je spojen se složitými tepelně-hydraulickými podmínkami. Tvar, rozměry a umístění vtoku má vliv na rozměry, vzhled a vlastnosti výrobku, spotřebu polymeru, obtížnost čištění vtoku a energetické nároky na výrobu. Uspořádání vtokového systému je stanoveno podle konstrukce a násobnosti formy. Při volbě správného vtokového systému je nezbytné zohlednit rychlost vstřikování taveniny a zajistit bezpečné naplnění formy. Vtokové systémy lze dělit na studené vtokové systémy, které jsou vhodné pro tvarově jednoduché výrobky a pro malosériovou výrobu nebo na horké vtokové systémy, které jsou vhodné pro tvarově složitější výrobky a pro velkosériovou výrobu. [15]



Obrázek 8 Vtokový systém [16]

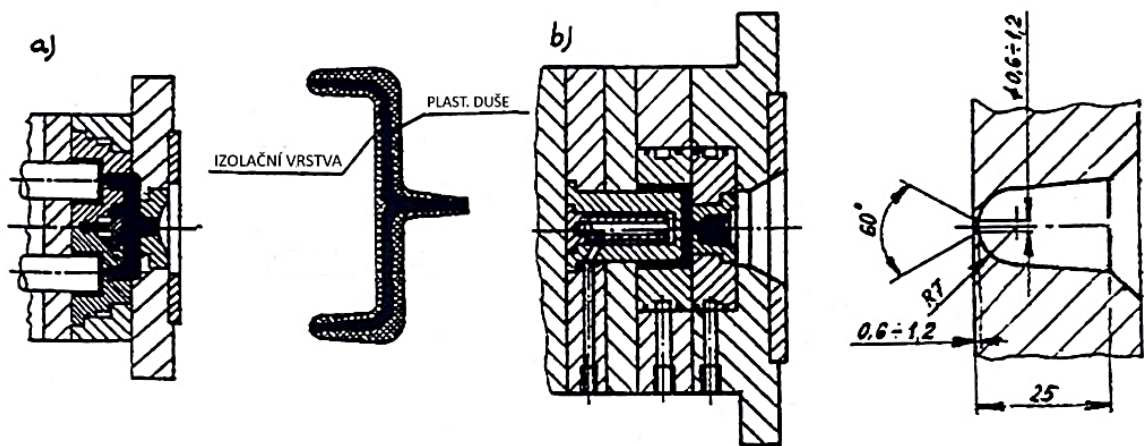
3.3.1 Studené vtokové systémy

Během průtoku taveniny studeným vtokovým systémem dochází k navýšení viskozity taveniny na jejím vnějším povrchu, což je spojeno s procesem tuhnutí plastu. Tento proces vede ke vzniku ztuhlé povrchové vrstvy, která vytváří tepelnou izolaci mezi vnějším již

tuhým plastem a stále tekutým vnitřním proudem. Jakmile je dutina zcela naplněna taveninou, náhle stoupá odpor a dojde ke snížení průtoku taveniny. Tavenina dále pokračuje v postupném tuhnutí v dutině, tak ve vtokových ústích se tepelná energie uvolňuje pod vlivem tlaku, což zpomaluje proces úplného tuhnutí taveniny. Pokud vstřikovací jednotka nedokáže vyvinout dostatečný tlak k překonání odporů při toku taveniny, sníží se rychlost plnění dutiny formy a plast začne předčasně chladnout. [15]

3.3.2 Vyhříváné vtokové systém

Ve snaze redukovat úspory práce a materiálové náklady při vstřikování plastů byla vyvinuta technologie bezzbytkového vstřikování, která využívá vyhříváné vtokové systémy (VVS). Před současnými typy VVS existovaly jednodušší systémy, které postupně procházely zdokonalením. První návrhy zahrnovaly zesílené vtoky a izolované vtokové soustavy s předkomůrkami. Současné vyhříváné vtokové systémy obsahují trysky, které zajišťují jen nepatrný pokles tlaku a teploty během procesu vstřikování, což vede k ideálnímu proudění roztaveného polymeru. Technologie vstřikování s pomocí vyhříváné vtokové soustavy umožňuje, aby tavenina zůstala v tekutém stavu po naplnění formy až po ústí vtokového systému. Tato možnost umožňuje použití malého bodového vyústění, které je výhodné velkou rozmanitostí při výrobě výrobků, i navzdory tomu lze pracovat s dotlakem. [15]



Obrázek 9 Izolovaná vtoková soustava [15]

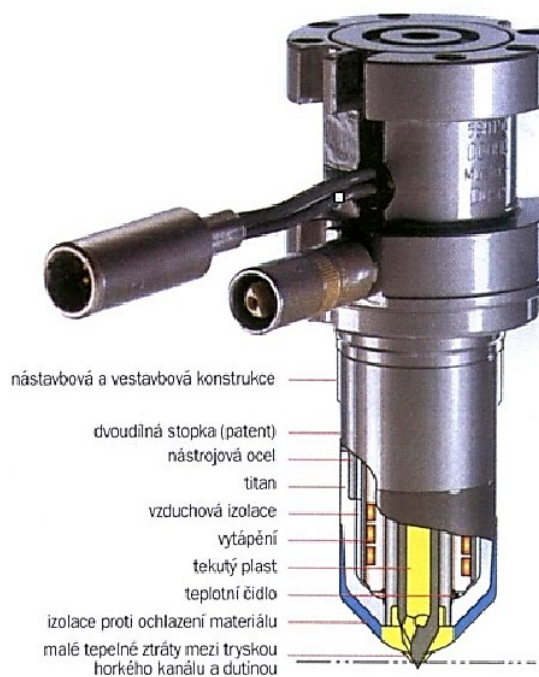
a) zesílené vtoky b) vtoková předkomůrka

Izolované vtokové soustavy jsou v dnešní době méně využívány, protože pracují na základě vlastní termoplastické izolace. Průměr vtokové vložky a rozváděcích kanálů je dostatečně velký po celé délce až k ústí vtoku, což brání předčasnému ztuhnutí roztaveného polymeru

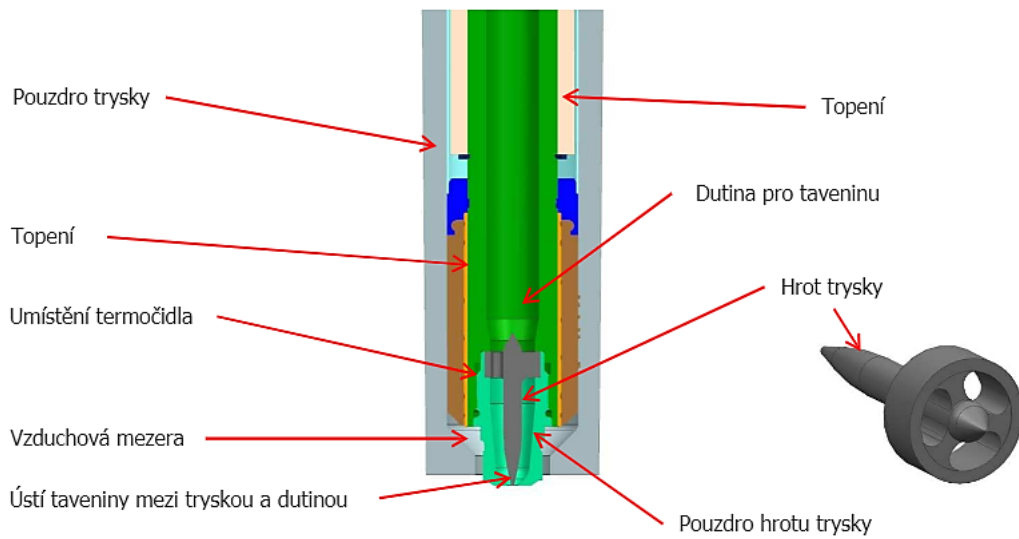
v průběhu vstřikovacího cyklu. Při prvním vstříknutí se naplní kanály nebo předkomůrka taveninou. Ta zůstává ve střední části plastická, díky dostatečné rychlosti pracovního cyklu. Zatuhnutí pouze vnější vrstvy taveniny umožňuje vznik tepelné izolace pro proudící taveninu. Stejný systém se nachází i u předkomůrky, která je zvětšena nebo má uvnitř dutiny trysku, která je vyrobena z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. Vstřikovaný plast je ohříván tryskou, která je ohřívána pomocí válce vstřikovacího stoje. Izolaci zde vytváří ztuhlá tavenina, která je ochlazovaná pomocí vnější straně předkomůrky. Na vnější straně je předkomůrka ochlazena a vrstva ztuhlé taveniny na ní vytváří izolaci, proto potom proudí tavenina bez poklesu teploty z ohřátého nástavce až do dutiny formy. [15]

Vyhřívání trysky

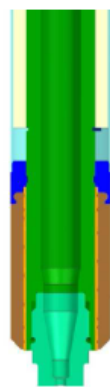
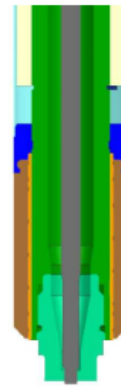
Trysky mohou být rozděleny podle způsobu ohřevu, a to na trysky s vnitřním nebo vnějším ohřevem. U trysek s vnějším ohřevem proudí tavenina skrz vnitřní otvor tělesa trysky, zatím co topné těleso je umístěno na vnější straně. Naopak je to u trysek s vnitřním ohřevem, kde tavenina obtéká ohřívání těleso a topná patrona je vsunuta do středové osy trysky. Ústí lze rozdělit na – s hydraulickou nebo pneumatickou uzavírací jehlou nebo s torpédem a bez torpéda. [15]



Obrázek 10 *Horká tryska* [17]

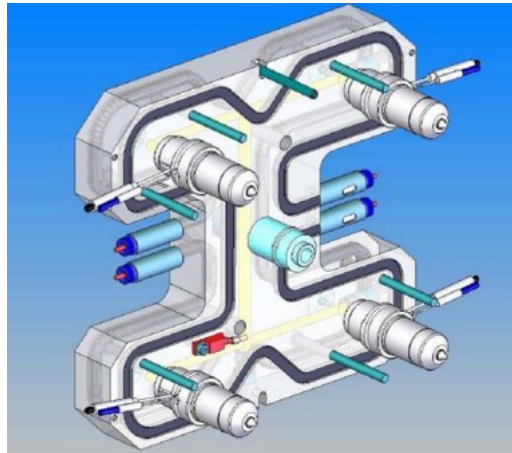
Obrázek 11 *Horká tryska s hrotem* [18]

Jehly uvnitř trysky jsou ovládány buď pneumatickými, hydraulickými válci nebo elektromagnetickým ovládním. Díky hrotu se odstraní zbytková stopa po vstříku do dutiny. Velký průřez ústí trysky pomáhá k rychlejšímu plnění dutiny, proto jsou vhodné pro objemné a tvarově složitější výrobky. [18]

Obrázek 8 *Tryska bez jehly*Obrázek 9 *Tryska s jehlou*Obrázek 12 *Horká tryska bez jehly a s jehlou* [18]

Rozváděcí bloky

Se používají s izolovanými nebo vyhřívanými tryskami v kombinaci s předkomůrkou. Využívají se u vícenásobných forem k rozvodu taveniny do dutiny vstřikovací formy. Rozdělují se podle tvaru: X, Y, H, I, díky kterým jsou konstrukčně přizpůsobené pro správnou polohu rozváděcích kanálů směrem k vyústění trysek. [17]



Obrázek 13 Rozvodný blok pro horké trysky [17]

Vtokové ústí

Představuje zúženou část rozváděcího kanálu. Typicky se používá zúžené vtokové ústí s výjimkou speciálních situací, jako je potlačení propadlin, kdy může být vtok plně nezúžený. Zmenšení průřezu vtokového kanálu v místě ústí do tvarové dutiny formy má za následek nárůst teploty roztaveného polymeru těsně před vstupem do dutiny. Rozměry ústí vtoku by měly být minimální pro usnadnění odstranění vtokového zbytku, ale dostatečné pro zajištění bezproblémového vyplnění tvarové dutiny formy roztaveným polymerem. Tvar vtokového ústí se obvykle volí podle typu výstřiku: kruhový pro rotační díly a štěrbinový pro ploché díly. Parametry vtokového ústí jsou stanoveny na základě objemu výstřiku.[13; 17; 19]

Plný kuželový vtok bez zúženého ústí vtoku přivádí taveninu do formy. Tato metoda je běžně využívána u jednonásobných forem se symetrickou dutinou, zejména pro výrobu tlustostěnných výrobků. Plný kuželový vtok je velmi účinný z hlediska působení dotlaku, protože tavenina tuhne v dutině formy jako poslední. Jeho odstranění může být náročné a může zanechat stopy na výrobcích. Průměr ústí vtoku by měl být větší než je tloušťka stěny

výrobku o 1 až 1,5 mm. Pro výrobky s tenkými stěnami je doporučeno vytvořit proti ústí čočkovité zahloubení.[13; 17]

Bodový vtok je nejběžnějším typem zúženého vtokového ústí, obvykle má kruhový průřez a nachází v dělicí rovině nebo i mimo dělicí rovinu. Vychází z rozváděcích kanálů, vtokového ústí nebo z vtokového kanálu a používá se běžně u třídeskových forem. U tohoto typu je důležité zajistit, aby se nejprve oddělilo vtokové ústí a teprve poté se otevřela forma v dělicí rovině s tvarovou dutinou.[13; 17]

Tunelový vtok je variací bodového vtoku, která umožňuje, aby vtokový zbytek zůstal ve stejné dělicí rovině jako je výstřík. Tento typ vtoku může být umístěn jak v pevné, tak i v pohyblivé části formy, což vyřazuje potřebu více dělicích rovin. Důležitou podmínkou pro správnou funkci tunelových vtoků je existence ostré hrany, která odděluje vtokový zbytek od výstříku při otevření formy. V případě, že není možné umístit vtok do boku výstříku, může se využít umístění do vnitřního nálitku nebo žebra. Odstranění vtokového zbytku může probíhat buď při otevírání formy nebo při vyjmutí hotového výstříku. Umístění vtoku v pevné části formy může být náročnější, protože na začátku otevírání formy není dostatek prostoru pro odpružení vtoku.[13; 17]

Boční vtok je dalším typem vtokového ústí se zúženým průřezem, které se nachází v dělicí rovině. Tento typ vtokového ústí obvykle má obdélníkový průřez, ale může být i jiného tvaru, jako je například kruhový nebo lichoběžníkový. Je to nejpoužívanější a nejrozšířenější typ vtokového ústí. Po vyjmutí z formy je obvykle výstřík neoddělen od vtokového zbytku. V automatickém cyklu se jeho oddělení řeší pomocí speciálního odřezávacího mechanismu, které je nainstalované přímo uvnitř formy.[13; 17; 20]

Filmový vtok je nejvíce používaný z bočních vtokových ústí. Využívá se zejména k plnění trubicových nebo kruhových dutin s vysokými nároky na kvalitu výrobku. Zejména se využívají k: dodržení přímosti, rovnosti, rozměrové přesnosti, odstranění studených spojů, malému vnitřnímu pnutí, zmenšení odporu vtokového systému, vyvážení tlaku, zmenšení

rychlosti taveniny, která je vstřikována do dutiny a podobně. K filmovým vtokům patří deštníkové, diskové, prstencové. [13; 17]

3.4 Temperace formy

Temperace má za úkol udržovat stabilní teplotu formy s cílem dosáhnout co nejkratšího pracovního cyklu v procesu vstřikování plastů a zároveň splnit veškeré technologické požadavky na výrobu. To je dosaženo prostřednictvím chlazení nebo ohřívání celé vstřikovací formy nebo jejích jednotlivých částí. [15; 21]

3.4.1 Účinky temperace

Během procesu vstřikování je tavenina polymeru dopravována do formy, kde se ochlazuje na teplotu vhodnou pro odstranění hotového výrobku. Temperace formy tedy zásadně ovlivňuje správné plnění dutiny vstřikovací formy a zajišťuje ideální ochlazování polymeru a následné tuhnutí. Je nutné, aby se forma při každém novém vstřikovacím cyklu ohřívala, protože je důležité dodržet při novém výstřiku stanovenou teplotu. Toho se docílí pomocí temperančního systému, tím že odvede přebytečné teplo ze vstřikovací formy. Polymery se zpracovávají při různých teplotách formy, ale u polymerů, které potřebují vyšší teplotu zpracování dochází k tepelným ztrátám formy. Důležité je, aby se forma zahřála na pracovní teplotu, ještě před vstřikovacím cyklem, pro dosažení požadované kvality výrobku. [15]

TYP MATERIÁLU	DOPORUČENÁ TEPLOTA FORMY [°C]	TEPLOTA TAVENINY [°C]	DOPORUČENÁ TEPLOTA DÍLU PŘI ODFORMOVÁNÍ [°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
PC + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 130	310 - 330	150
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PBT + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 100	250 - 270	150
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

Obrázek 14 Tabulka požadované teploty formy pro různé plasty [22]

3.5 Vyhazovací systém

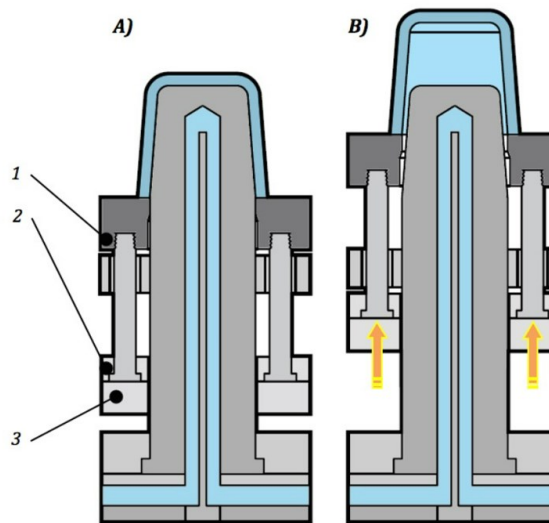
Vyhazování výstřiku z formy je proces, při kterém se hotový výrobek vytlačuje nebo vysouvá z dutiny formy. Tuto činnost obvykle zajišťuje vyhazovací zařízení, které slouží k automatizaci výroby. Proces se dělí na dvě fáze: vlastní vyhazování – dopředný pohyb a zpětného pohybu do počáteční polohy – zpětný pohyb. Hlavní podmínkou pro správné vyhození výrobku je úkos na stěnách výrobků, který by neměl být menší jak 1-2°. Důležité je, aby nedošlo k deformaci výrobku při vyhazování, a proto je nutné, aby vyhazovače vysouvali výrobek rovnoměrně. [15]

3.5.1 Mechanické vyhazování

Jedná se o nejčastěji používaný vyhazovací systém, který se používá prakticky všude, kde je to možné. Mechanické vyhazování rozdělujeme na vyhazování: vyhazovacími kolíky, stírání výstřiků a na šikmé nebo dvoustupňové vyhazování. [15]

Vyhazovací kolíky jsou nejlevnější a nejčastější varianta mechanického vyhazování. Tento systém se uplatňuje tam, kde lze umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhazování. Je výrobně jednoduchý a spolehlivý v provozu. Správné umístění vyhazovacího kolíku a výběr jeho tvaru umožňuje bezpečné vyhození výstřiku, aniž by došlo k jeho poškození. Musí být pevné a zároveň jednoduše vyrobitelné, obvykle mají válcový tvar, ale mohou mít i jiný. Jsou uloženy ve formě s tolerancemi H7/j6, H7/g6, H7/h6 v závislosti na požadované funkci. K odvzdušnění dochází díky vůli v uložení. [15]

Stírací deska má hlavní funkci odstranění výstřiku z tvárníku po jeho obvodu. Velkou výhodou stíracích desek je že nezanechává stopy a nedeformuje výrobek díky velké vyhazovací ploše. Používá se hlavně u výstřiků s tenkými stěnami, kde hrozí jejich deformaci nebo u výstřiků velkých rozměrů, kvůli potřebné vyhazovací síle. Je vhodné, aby výstřik přiléhal na stírací desku rovnoměrně nebo měl mírně zakřivený povrch. [15]



Obrázek 15 Stírací deska a její funkce [22]

1 – stírací deska, 2 – přidržovač stírací desky, 3 – hlavní vyhazovací deska, A – vyhazovací systém v zadní pozici, B – vyhazovací systém v pohybu do přední pozice

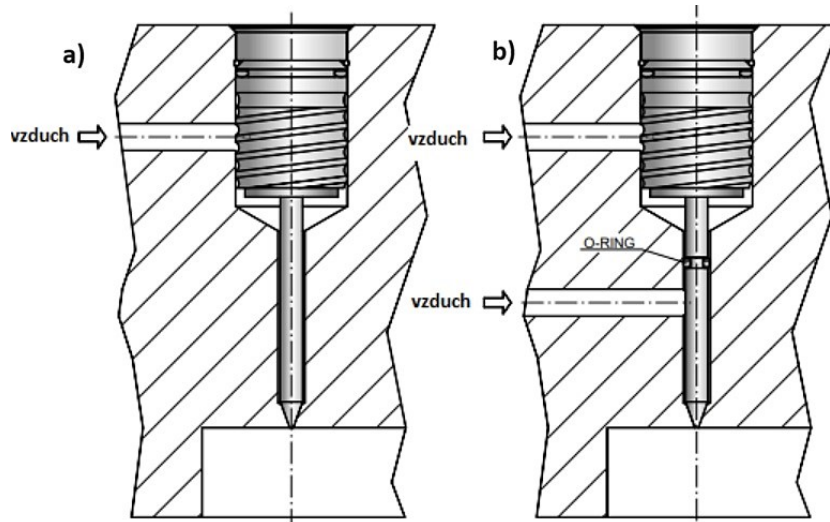
U šikmého vyhazování nejsou vyhazovací kolíky kolmé k dělicí rovině, ale jsou k ní umístěny pod různými úhly. Tato metoda představuje speciální způsob mechanického vyhazování. Používá se u výstřiků, které mají malé nebo středně velké rozměry s mělkými vnějším nebo vnitřním zápichem. [15]

Dvoustupňové vyhazování kombinuje dva různé vyhazovací systémy, které mají na sebe vzájemný vliv. Tato metoda dovoluje vyhazovat výrobky s odlišným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu. Tento způsob lze efektivně využít například při šikmém vyhazování výrobků s vnitřním nebo vnějším zápichem a podobně. [15]

3.5.2 Vzduchové vyhazování

Tento systém je ideální pro vyhazování výrobků o větších rozměrech a výrobků tenkostěnných, zejména ve tvaru nádob. Vzduchové vyhazování není tak často používané, ale u výrobků těchto složitějších tvarů jsou velmi účinné. Pneumatiké vyhazování využívá stlačený vzduch, který se dostane mezi výstřik a formu, což umožňuje rovnoměrné oddělení výrobku od formy. Tímto způsobem se odstraní místní přetížení a zabrání se vytváření stop na výrobku po vyhazovačích, ale je omezeno na určité tvary výrobků. Do dutiny formy se

vzduch přivádí přes ventil, který může být talířový nebo jehlový. Ventil pracuje na principu otevření pomocí tlaku vzduchu a zavření pomocí pružiny. [15]



Obrázek 16 Vzduchový ventil s jehlou [23]

a) jeden přívod vzduchu, b) dva přívody vzduchu

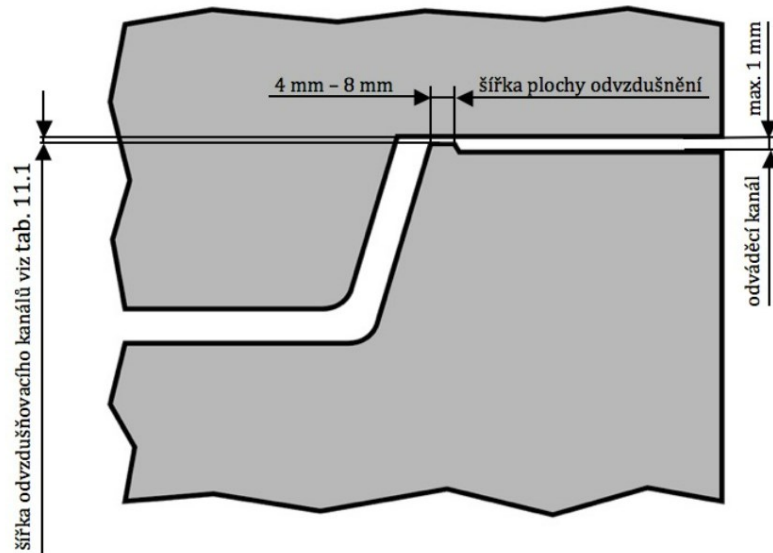
3.5.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazování se nachází ve vstřikovacím stroji a je často využíván k řízení mechanických vyhazovačů. Nahrazuje je pružnějším pohybem a vykazuje větší flexibilitu. V dnešní době se hydraulické vyhazování už téměř nepoužívá, ale používají se k ovládní bočních posuvných čelistí. Hydraulické jednotky, které jsou součástí formy, jsou obvykle uzavřené hydraulické jednotky, které se instalují přímo do připraveného místa ve formě. Tímto způsobem se řídí například stírací desky nebo vyhazovací kolíky a podobně. [15]

3.6 Odvzdušnění formy

Na začátku vstřikovacího procesu se může zdát, že dutina formy je prázdná, ve skutečnosti je naplněna vzduchem. Odvzdušnění je tedy klíčové pro odstranění vzduchu z formy, zároveň nesmí proniknout plast do odvzdušňovacích štěrbin. Nedostatečné odvzdušnění formy výrazně ovlivňuje kvalitu výstřiku. Nejvíce se odrazí na jeho estetičnosti a funkčnosti. Proto je správné odvzdušnění důležité stejně jako pravidelná údržba. Během pravidelného používání dochází k znečištění ventilačních kanálek, což může vést k jejich ucpání.

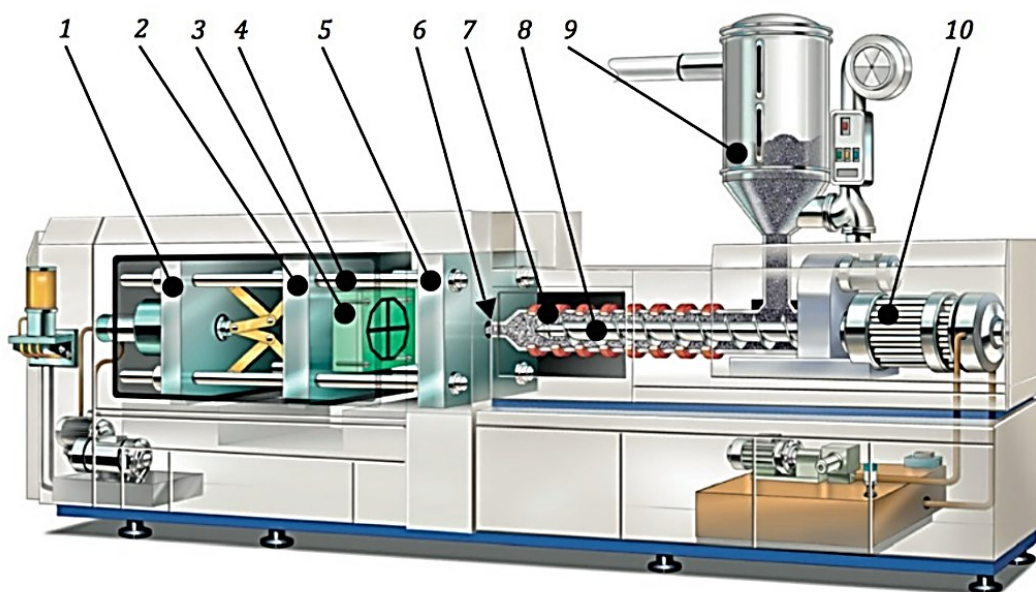
Pravidelné čištění ventilačních kanálků zajišťuje udržení stálé kvality výrobku a ochrany formy. [24; 25]



Obrázek 17 *Správné odvěšnění formy*

4 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro vstřikování polymerů se využívají vstřikovací stroje, které slouží ke vstřikování roztavených polymerů do dutiny vstřikovací formy, kde následně materiál ztuhne, čímž vznikne výstřik. Vstřikovací stroje mohou být hydraulické, elektrické nebo hybridní v závislosti na typu pohonu. Tyto stroje se skládají ze dvou samostatných jednotek – vstřikovací a uzavírací. [8]



Obrázek 18 *Vstřikovací stroj* [22]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá jednotky, 3 – levá strana vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky, 5 – pevná upínací deska, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro polymer, 10 – pohonná jednotka šneku. [22]

4.1 Rozdělení vstřikovacích strojů

Vstřikovací stroje jsou primárně konstruovány pro zpracování polymerů, které jsou nejčastěji ve formě granulí. Je však možné zpracovávat polymery a jejich směsi v práškové formě nebo v podobě těsta. Existuje několik způsobů, jak vstřikovací stroje klasifikovat. Lze je dělit podle typu pohonu, který zajišťuje pohyb v hlavních osách stroje, nebo podle pracovního členu umístěného v tavící komoře plastikační jednotky. Další možná kritéria pro rozdělení jsou směr posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky, druh zpracovaného

materiálu, počet desek uzavírací jednotky, počet šneků v plastikační jednotce nebo rychlost otáčení šneků. [8; 26]

4.2 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje plní několik důležitých funkcí v procesu vstřikování plastů. Jejím primárním úkolem je zajistit roztavení plastového granulátu, jeho homogenizaci a následné vstříknutí taveniny do dutiny formy pod vysokým tlakem. Po naplnění formy pak vstřikovací jednotka udržuje dotlak, aby se kompenzovalo smrštění plastu při chlazení. Mezi klíčové charakteristiky, které definují nastavení a chod vstřikovací jednotky, patří několik důležitých veličin:

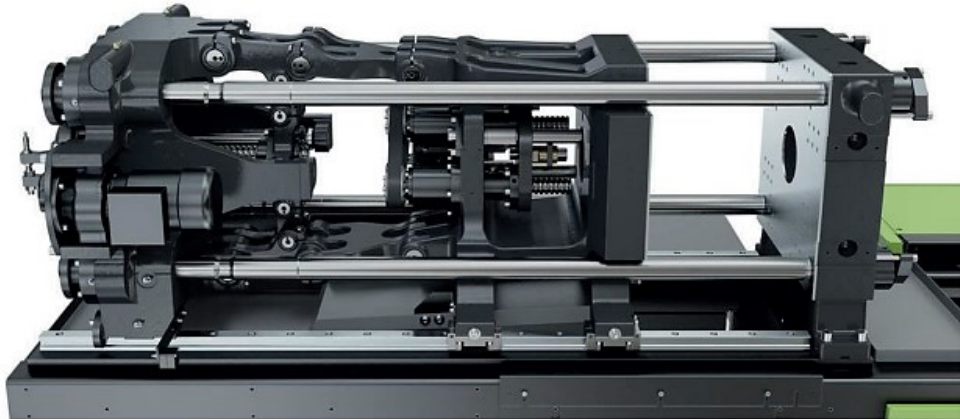
- Vstřikovací kapacita (Q_v) – neboli zdvihový výkon, který určuje největší množství roztaveného plastu, které dokáže vstřikovací jednotka při jednom pohybu šneku dopravit do dutiny formy.[8]
- Plastikační kapacita (Q_p) – nejvyšší možná hmotnost polymeru, již dokáže vstřikovací stroj během jednoho cyklu roztavit a homogenizovat.[8]
- Kompresní poměr – vyjadřuje, kolikrát je objem jednoho závitu šnekového profilu v plastikační zóně pod násypkou větší v porovnání s objemem závitu v části těsně před tryskou.[8]



Obrázek 19 Příklad vstřikovací jednotky [8]

4.3 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka se stará o zavírání a otevírání vstřikovací formy. Udržuje formu uzavřenou při procesu vstřikování a dotlaku. Vstřikovací forma je zadržována silou, která se nazývá uzavírací síla.[8]



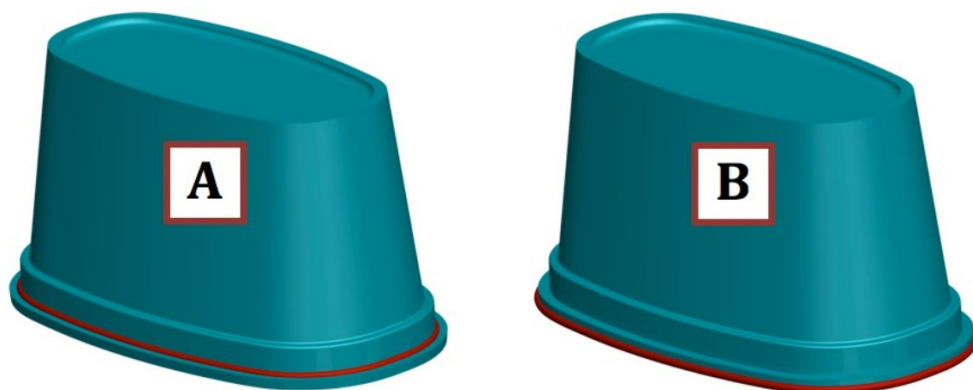
Obrázek 20 Příklad uzavírací jednotky [8]

5 VÝSTŘÍK A JEHO KONSTRUKCE

Různé typy plastů se liší v jejich vlastnostech, což zahrnuje například plněné a neplněné výrobky, amorfní a semikrystalické struktury a podobně. Konstrukční prvky jsou dimenzovány s ohledem na tyto specifické vlastnosti, aby se minimalizovalo riziko vad a zajistila se požadovaná výrobní kvalita. Při návrhu se bere v úvahu jak požadovaný design výrobku, tak i použitá technologie, především technologie vstřikování, která je nejběžnější. Optimální design by měl být jednoduchý, ale měl by zajišťovat požadovanou funkci výstřiku. Při tvarově složitějších výrobcích se zvyšuje riziko výrobních komplikací jako je například odformování výrobku z dutiny formy, a proto je důležité správně navrhnout níže uvedené operace. [8]

5.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina odděluje pevnou a pohyblivou část vstřikovací formy, musí být správně proveden, aby neovlivňovala přesnost a kvalitu povrchu dílu. Je důležité zabránit nepřesnostem způsobených výrobou nebo opotřebením dělicí roviny, což vyžaduje vyhýbat se úzkým tolerančním rozměrům vázaným na ni. Ideálně by měla být kolmá na směr otevírání formy, ale může být natočena pod úhlem. Umístění dělicí roviny a její profil významně ovlivňují například odvzdušnění. [8]

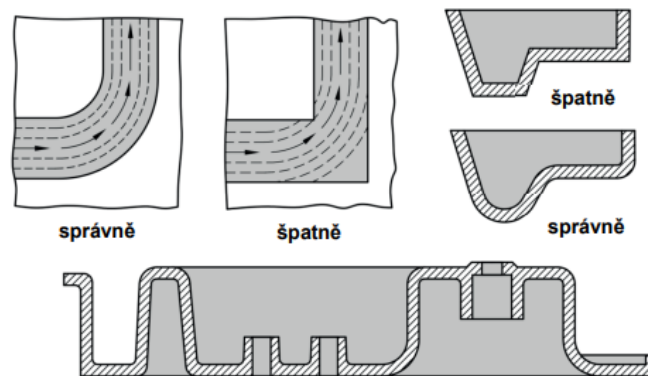


Obrázek 21 Různé možnosti dělicí roviny [22]

5.2 Zaoblení hran

Při procesu vstřikování plastu je důležité zaoblení všech rohů rádiusem v tvarové dutině formy, aby se minimalizoval pokles tlaku na čele taveniny a zabránilo se vzniku vrubového efektu. Ostré rohy mohou být pouze u dělicí roviny, kde způsobují uzavření vzduchu uvnitř formy. Ostré hrany mohou být umístěny v místech kde je zhotovené správné odvzdušnění

v oblasti ostré hrany. Z bezpečnostních důvodů se hrany zaoblují, aby nedošlo k ohrožení pracovníka pořezáním. Minimální rádius rohů by měl být 0,25 mm. Mohou být používány rádiusy větších rozměrů z důvodu, že u rádiusů menších rozměrů se musí řešit složité chlazení. [8]



Obrázek 22 Závislost rádiusů na plnění dutiny formy [8]

5.3 Úkosy

Významné smrštění polymerního materiálu nastává na konci výrobního procesu, kdy tavenina začíná tuhnout. Tento jev je proměnlivý v závislosti na konkrétním typu polymeru a stanovených výrobních parametrech. Síly vytvořené tímto smrštěním udržují výrobek v požadovaném tvaru i po odebrání z formy. Aby byl výrobek jednoduše odebrán z formy, tak se používají úkosy. Smrštění dílů se zejména projevuje na částech formy, které určují vnitřní obrysy, jako je jádro a tvárník. Z tohoto důvodu je doporučeno použít pro tyto části dílů úkos, který je až dvakrát větší než pro vnější obrysy výrobku. [8]

Směr úkosu	Umístění	Úhel sklonu
	Vnější plochy	(15'), 30', (45'), 1°, 2°
	Vnitřní plochy	(15'), 30', 1°, 2° 3°
	Díry až do hloubky 2d	(15'), 30', 1°
	Žebra, nálitky, atd.	2°, 3°, 5°, 10°

Obrázek 23 Optimální velikost úkosů pro jednotlivé konstrukční prvky [8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Při zhotovování této bakalářské práce byly stanoveny cíle, které jsou formulovány v následujících bodech:

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl.
- Nakreslit 2D řez vstříkovací formou spolu s kusovníkem.

Účelem literárního průzkumu této bakalářské práce bylo sjednotit aktuální poznatky o daném tématu vstříkování, které byly rozepsány v pěti kapitolách. V první kapitola se zabývá klasifikací polymerů a jejich mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. V druhé kapitole je obsažený samotný princip vstříkování, vstříkovací fáze, pVT diagram a deformace výrobku při vstříkování. Třetí kapitola je rozdělena na šest částí, kde je popsáno teoretické vysvětlení formy: násobnost formy, označování forem, vtokový systém, temperace formy, vyhazovací systém, odvzdušnění formy. Další kapitola se zabývá samotným vstříkovacím strojem. V poslední kapitole je rozepsána konstrukce výstříku.

Cílem praktické části bakalářské práce je zhotovení 3D konstrukce vstříkované součásti a 3D konstrukce vstříkovací formy. Výrobek je závěsný box na součástky jako jsou například šroubky, matice a podobně. Pro 3D zhotovení konstrukce byl použit software CATIA V5-6R2020 v modulech: Mold Tooling design, Assemblies design, Part Design. Normálie pro zhotovení formy byly vybrány z katalogu MEUSBURGERU.

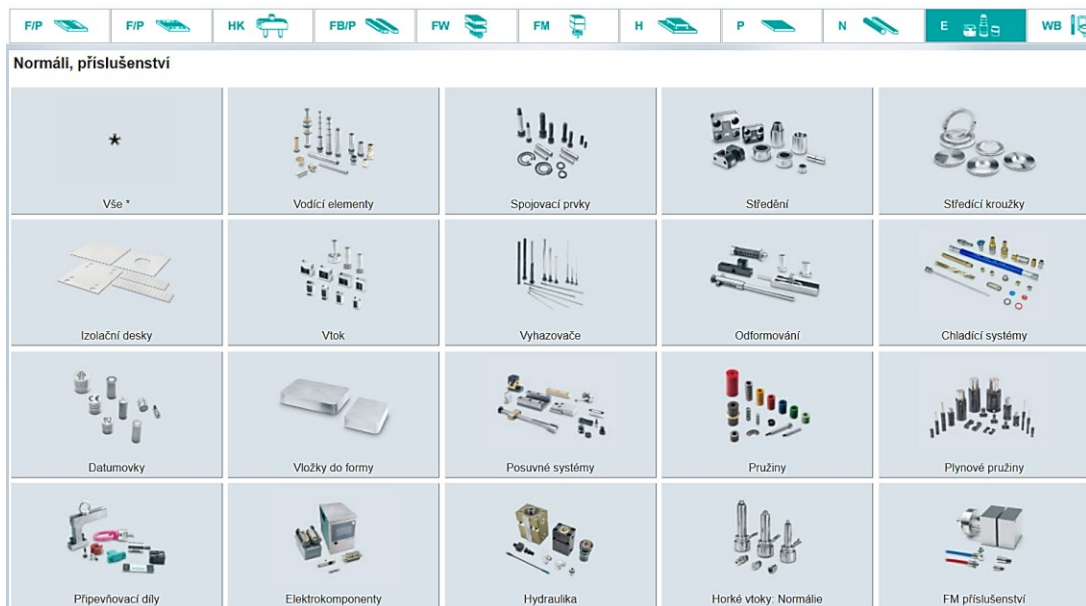
7 POUŽITÝ SOFTWARE

7.1 CATIA V5-6R2020

CATIA V5-6R2020 je software pro 3D modelování, design, konstruování. Nabízí funkce pro vytváření složitých modelů, jako jsou povrchy, tělesa, montáže. Široké rozhraní umožňuje tvorbu a analýzu projektů. CATIA V5-6R2020 je využívána díky schopnosti pracovat s různými daty a formáty.

7.2 MEUSBURGER

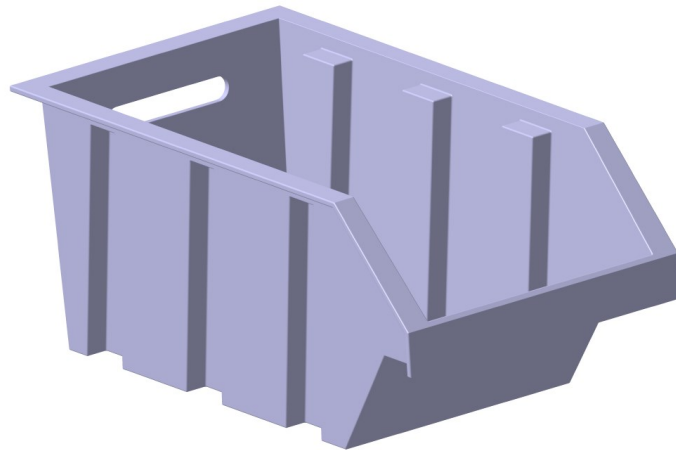
MEUSBURGER je přední dodavatel standardizovaných komponentů. Specializují se na vysoce kvalitní normalizované produkty pro výrobu forem. Jejich sortiment zahrnuje například vodící elementy, spojovací prvky, vyhazovače a podobně.



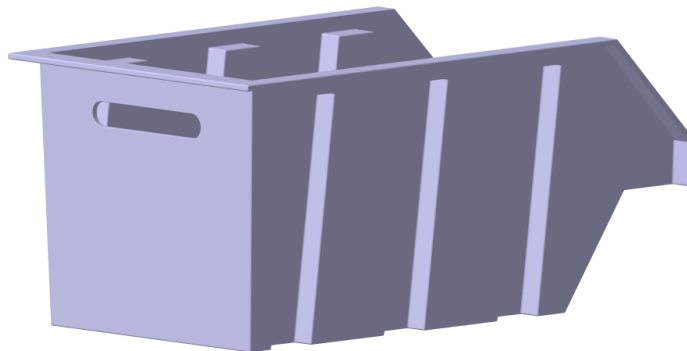
Obrázek 24 Online katalog normálií MEUSEBURGERU [27]

8 VÝROBEK

Vstřikovaným dílem je plastový závěsný box, určený pro uložení různých součástí jako jsou například šroubky, matice, podložky a podobně. Na zadní stěně boxu je průchozí drážka, která slouží k zavěšení například na zeď. Výrobek měří na výšku 107 mm, na šířku 87 mm a na délku 190 mm. Celkový objem je 123 cm^3 .



Obrázek 25. Přední strana výrobku



Obrázek 26 Zadní strana výrobku

8.1 Materiál výrobku

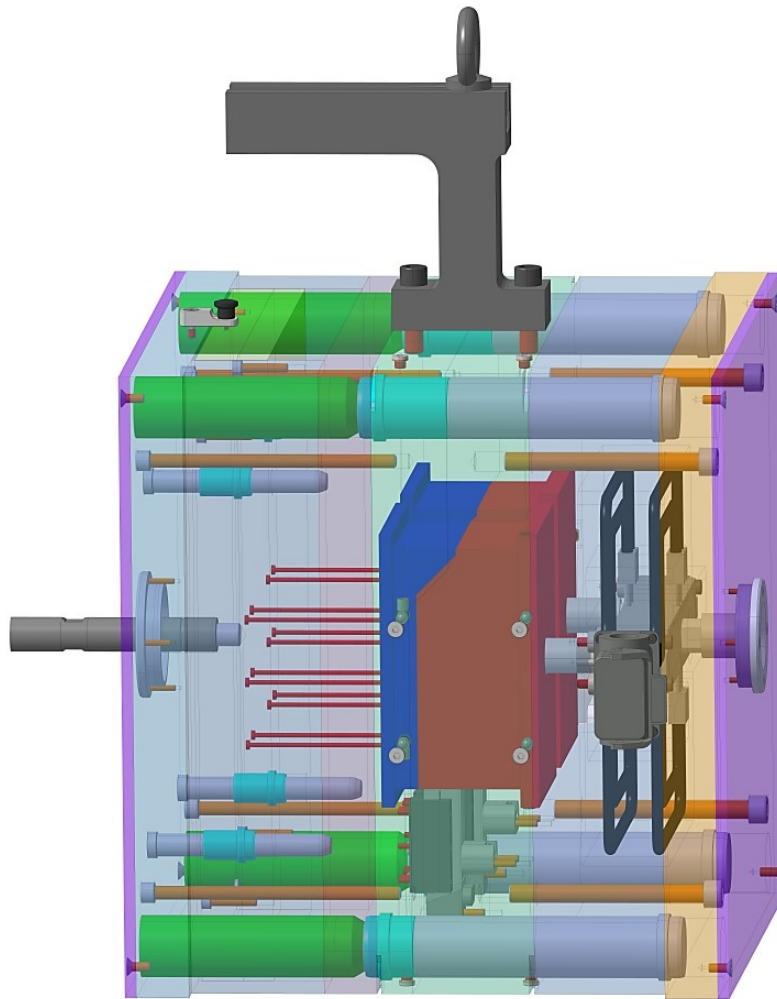
SABIC PP 108MF10 je typ polypropylenu vyráběný společností SABIC, jedním z předních světových výrobců plastů. Tento materiál je známý svou vysokou pevností a odolností v kombinaci s dobrými mechanickými vlastnostmi. MF v názvu značí, že je materiál modifikován a tím se zlepšují jeho zpracovatelské a mechanické vlastnosti a číslo 10 je procento příměsi pro zvýšení tuhosti a tepelné odolnosti. Tento polymer se používá u široké škály produktů, včetně automobilových dílů, spotřebních produktů a průmyslových komponentů. Je známý svou schopností dosahovat vysoké pevnosti a zachování tvaru.

Tabulka 1 *Materiálové vlastnosti polypropylenu*

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota	Norma
Hustota	kg/m ³	905	ISO 1183
Smrštění	%	1,5	SABIC method
Rychlost tání (při 230 °C a 2,16 kg)	dg/min	10	ISO 1133
Pevnost v tahu	MPa	19	ISO 527-2 1A
Modul pružnosti v tahu	MPa	1000	ISO 527-2 1A
Poměrné prodloužení	%	8	ISO 527-2 1A
Vrubová houževnatost při 23 °C	kJ/m ³	Bez přetrhnutí	ISO 179/1eU
Tvrdość podle Shore D	/	52	ISO 868

9 KONSTRUKCE FORMY

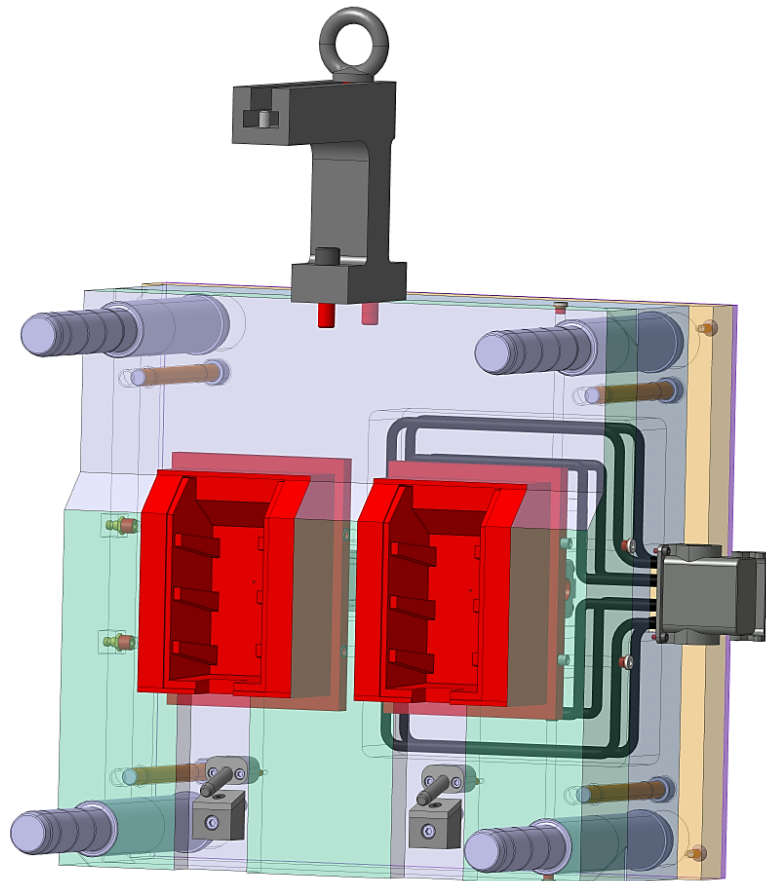
Při konstrukci formy by měla být snaha o co nejjednodušší provedení, které je v souladu s požadavky na vstřikovaný díl. Důraz je zejména kladen na efektivitu výroby s maximální produkcí a přesností. Důležitá je také ekonomická stránka, s ohledem na to, že výroba vstřikovací formy není levná záležitost, proto je vhodné minimalizovat náklady, pokud to vstřikovaný díl dovoluje.



Obrázek 27 Navržená vstřikovací forma

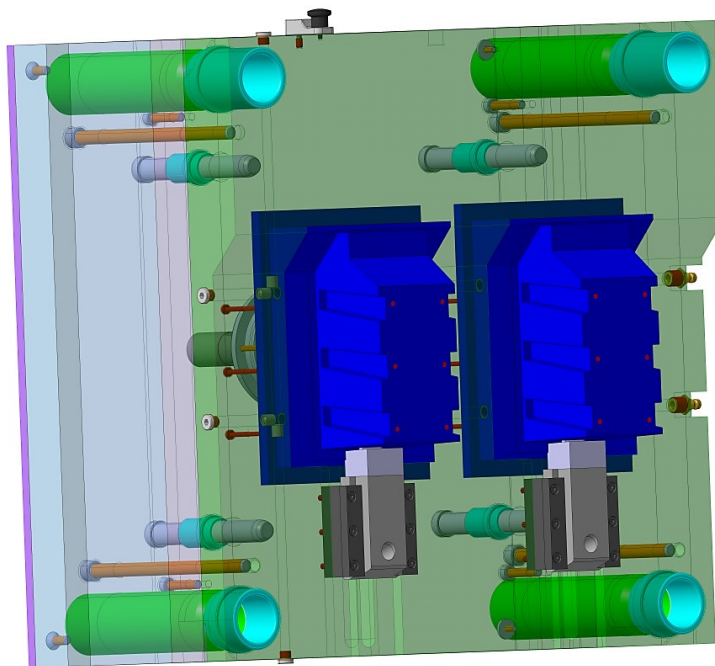
Konstrukční návrh vstřikovací formy vychází z tvaru požadovaného dílu, což ovlivňuje počet dělicích rovin a tvarových částí formy. Po konzultaci s vedoucím byla zvolena dvojnásobná formy. Forma je navržena jako jednoduchá a návrh byl proveden s maximálním využitím normálií z internetového katalogu MEUSBURGERU, což zefektivnilo proces

konstrukce. Samotná konstrukce byla provedena v softwaru CATIA V5-6R2020. Navržená forma má šířku 596 mm, výšku 546 mm a délku 544 mm. Celá sestava formy je rozdělená do tří podsestav. První podsestava je pravá strana formy, která se skládá ze tří desek (upínací deska, deska horkého vtoku, tvarová deska) k sobě přišroubovaných. Na upínací desce je přišroubovaná izolační deska, která má za úkol zabránit prostupu tepla. Na izolační a upínací desce je upevněný středící kroužek, který slouží k vystředění formy na stroji. V desce horkého vtoku je umístěn horký rozvodný blok. Dále je z boku desky zásuvka, z které vedou kabely do horkého vtoku. Tvarová vložka neboli tvárnice je zasazena do tvarové desky. Vodící čepy slouží ke správnému složení a vystředění formy a k vedení desek. Pro boční odformování je v tvarové desce umístěné uchycení pro šikmý kolík, ve kterém je zasazen samotný šikmý kolík a uzavírací klín s přítlačnou deskou.



Obrázek 28 *Pravá strana formy*

Druhá podsestava je levá strana formy, která se skládá ze čtyř desek (upínací deska, rozpěrná deska, opěrná deska a tvarová deska), které jsou k sobě přišroubované. Na upínací desce je přišroubovaná izolační deska, která má za úkol zabránit prostupu tepla z rámu stroje do formy. Na izolační a upínací desce je upevněný středící kroužek. Nachází se zde centrovací a vodící pouzdra, které mají za úkol vystředit pravou a levou stranu formy pomocí vodících čepu umístěných v pravé straně. V upínací desce je zasazena tvarová vložka neboli tvárník. K vytvoření průchozí drážky na výrobku je v upínací desce posuvná jednotka se spodně vedeným šíbrem.



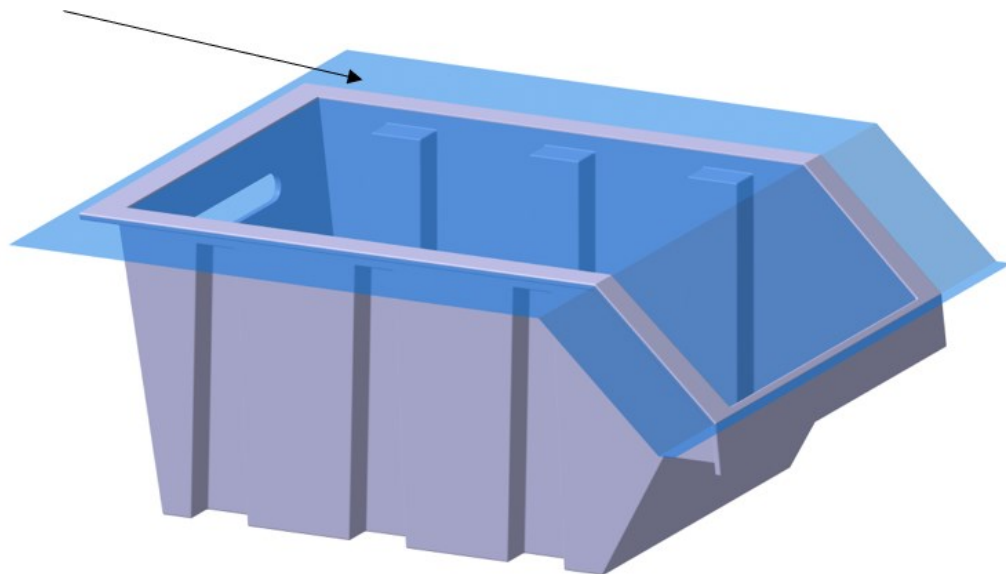
Obrázek 29 *Levá strana formy*

9.1 Dělicí rovina

Místo, kdy dojde ke styku tvárnice s tvárníkem, se nazývá dělicí rovina. Toto místo, také rozděluje formu na pravou a levou část, pokud má forma pouze jednu dělicí rovina. Konstrukčně náročné díly mohou mít více dělicích rovin, kdy je hlavní dělicí roviny kolmá ke směru, kterým se forma vysunuje a vedlejší dělicí rovina může být i kolmá, ale i rovnoběžná.

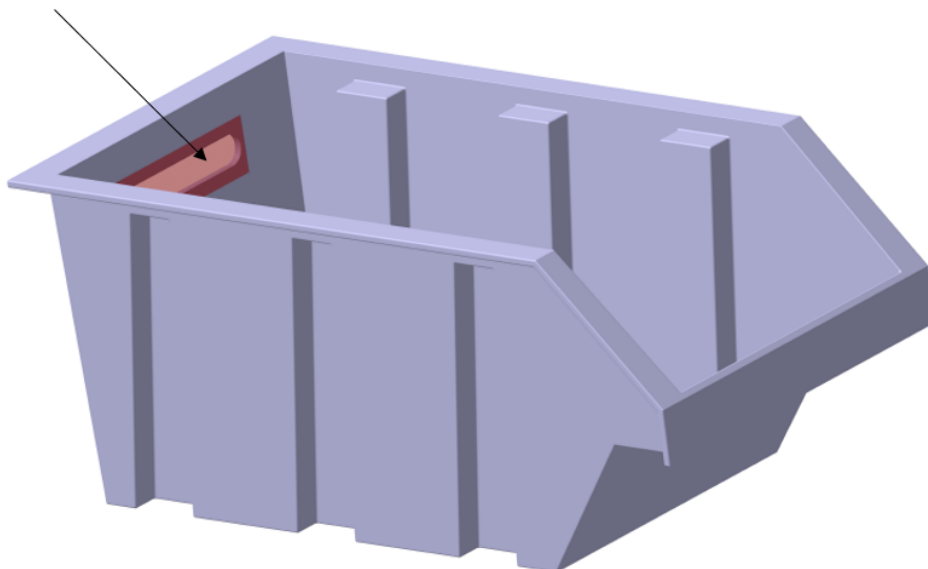
V případě této formy jsou zvoleny dvě dělicí roviny a to hlavní, která odděluje tvárnici s tvárníkem a vedlejší, kterou tvoří spodně vedený šíbr.

Hlavní dělicí rovina



Obrázek 30 *Návrh hlavní dělicí roviny*

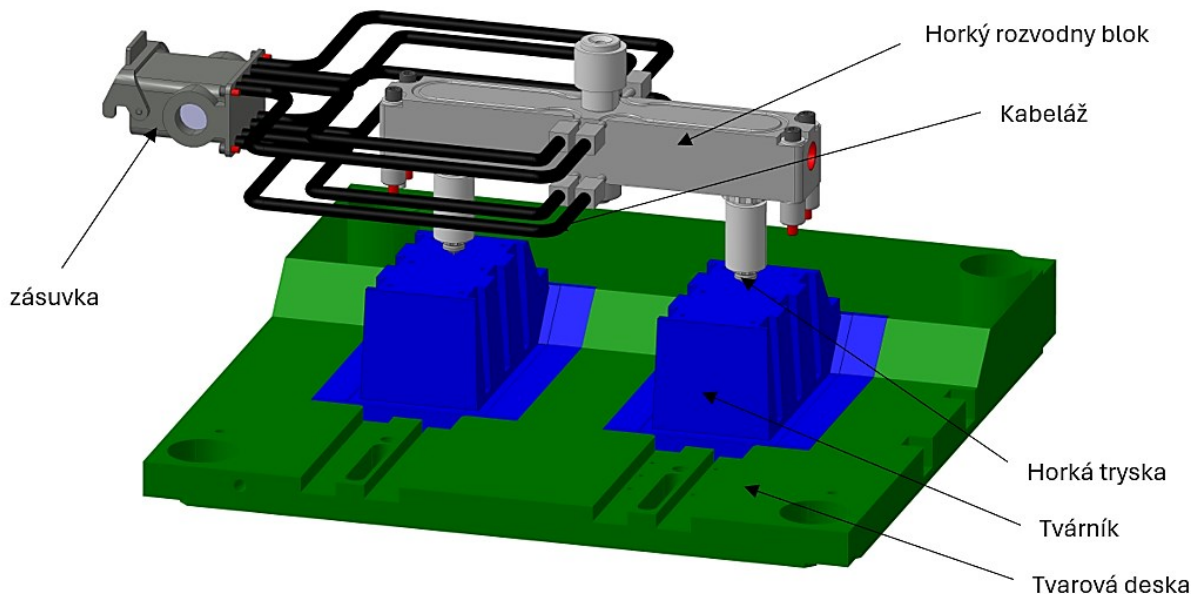
Vedlejší dělicí rovina



Obrázek 31 *Návrh vedlejší dělicí roviny*

9.2 Násobnost formy

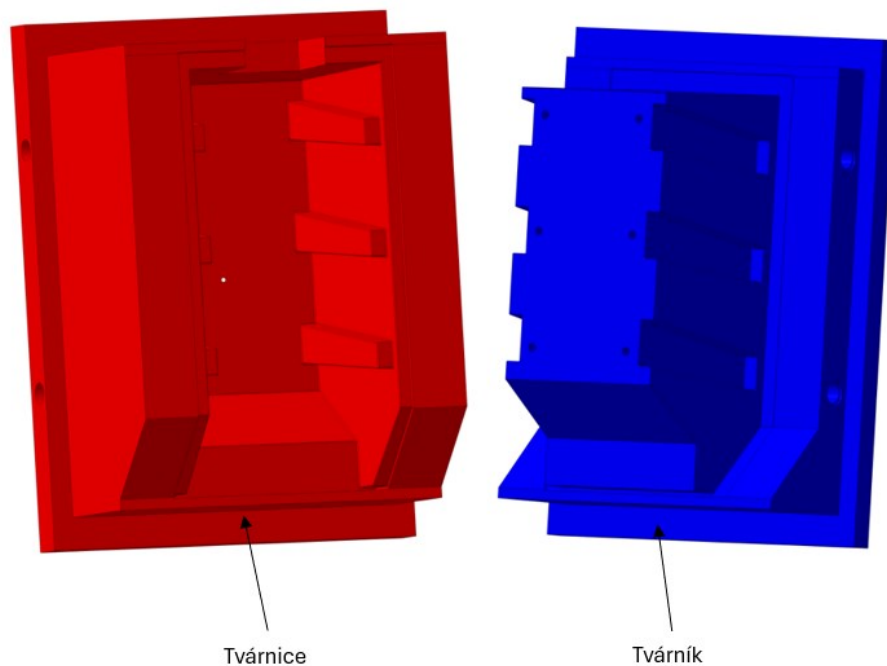
Počet výrobků vyrobených v jednom pracovním cyklu je dán násobností formy. Pokud je forma vícenásobná musí se počítat s více faktory: přesná konstrukce výrobku, délka jednoho pracovního cyklu, ekonomická náročnost, rozsah produkce. U závěsného boxu byla zvolena dvojnásobná forma to znamená, že se na jeden pracovní cyklus vyrobí dva výrobky.



Obrázek 32 Násobnost formy

9.3 Tvarové vložky

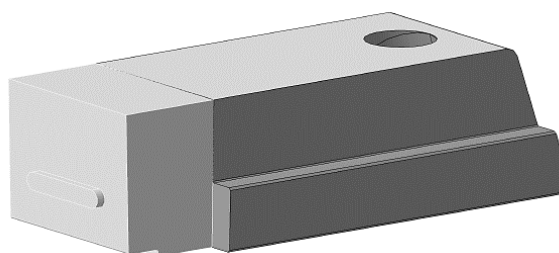
Při navrhování tvarových vložek neboli tvárnice a tvárníku bylo nutné brát v úvahu smrštění výrobku, které vyšlo podle materiálového listu polypropylenu 1,5 %, proto byly dutiny tvarový vložek zvětšeny o tento faktor. Tvárník je zasazen v tvarové desce pravé a tvárnice zase v tvarové desce levé. Obě tvarové vložky jsou vyrobené z materiálu 1.2343 a jsou tepelně zpracovány kalením kvůli životnosti. Tvarové plochy, které tvoří tvar dílu jsou opracovány na předem stanovenou kvalitu drsnosti. Temperační kanály o průměru 10 mm prochází jak tvárníkem, tak i tvárnici a dál pokračuje do upínacích desek. Aby nedošlo k úniku média mezi tvarovými vložkami a deskami, tak jsou zasazené v drážkách kontaktu těsnící O – kroužky. Ve tvárnici je vyvrtaná díra na horkou trysku.



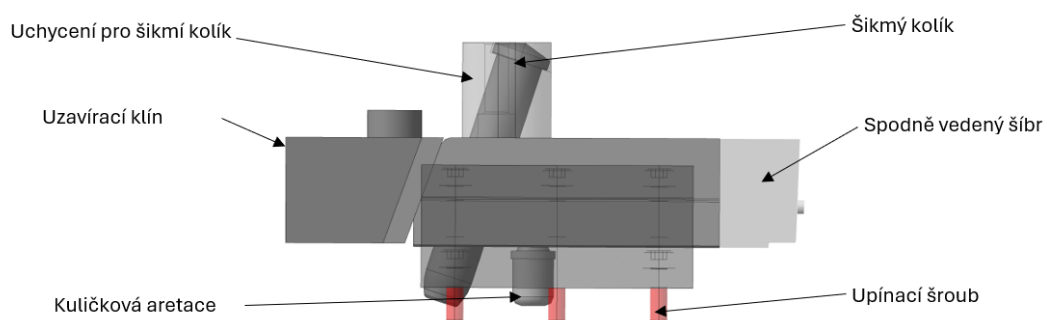
Obrázek 33 Tvarové vložky

9.4 Boční odformování

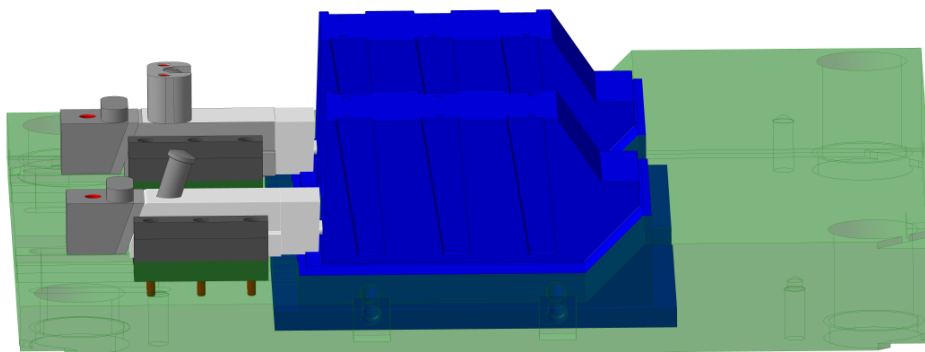
Výrobek neboli závěsný box má na zadní stěně průchozí drážku na zavěšení, která je vyhotovena pomocí spodně vedené posuvné kostky zobrazené na obrázku 34, který tvoří tvar drážky. Velikost drážky má výšku 3 mm a na šířku 20 mm a je vyfrézovaná na posuvné kostce. Při otevírání formy potom odjíždí posuvná kostka pomocí šikmého vodícího čepu po posuvné vodící jednotce a tím dojde k bočnímu odformování. Tento způsob se používá z důvodu možného odformování bočního otvoru, který není možný z hlavní dělicí roviny. Celková sestava (viz obrázek 35) bočního odformování se skládá z posuvné kostky, posuvné vodící jednotky, šikmého čepu, uchycení pro šikmý čep, uzavíracího klínu a kuličkové aretace, díky které se posuvná kostka zastaví v dané poloze, aby nedošlo k vyjetí této kostky z vodící jednotky. Kuličková aretace funguje na pružince, která zapadne do otvoru uvnitř posuvné kostky a zajistí tak jeho polohu.



Obrázek 34 *Spodně vedená posuvná kostka*



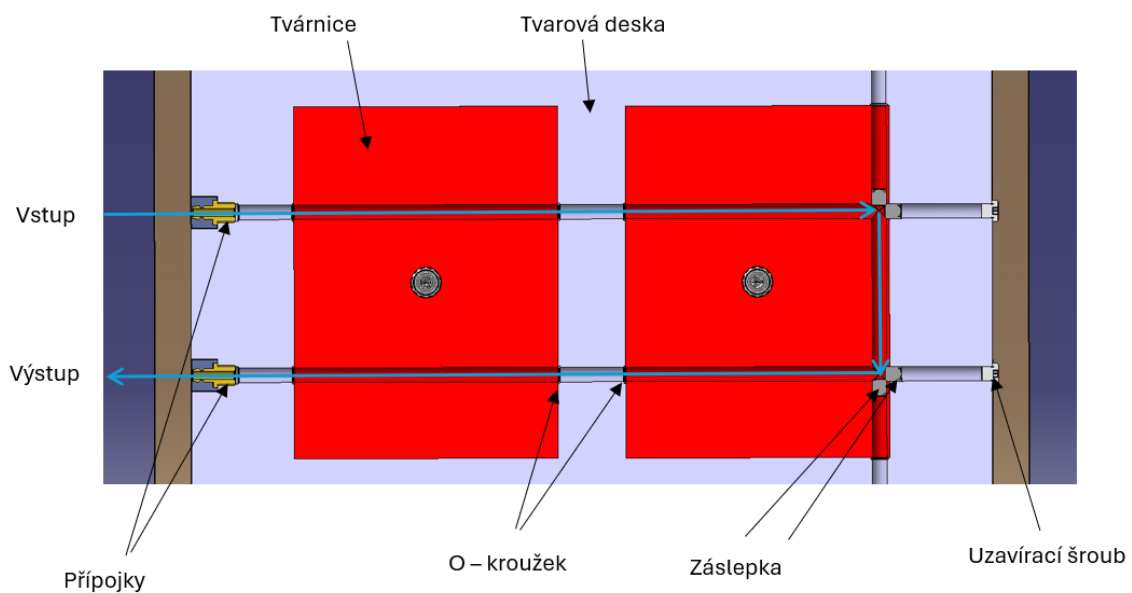
Obrázek 35 *Sestava bočního odformování*



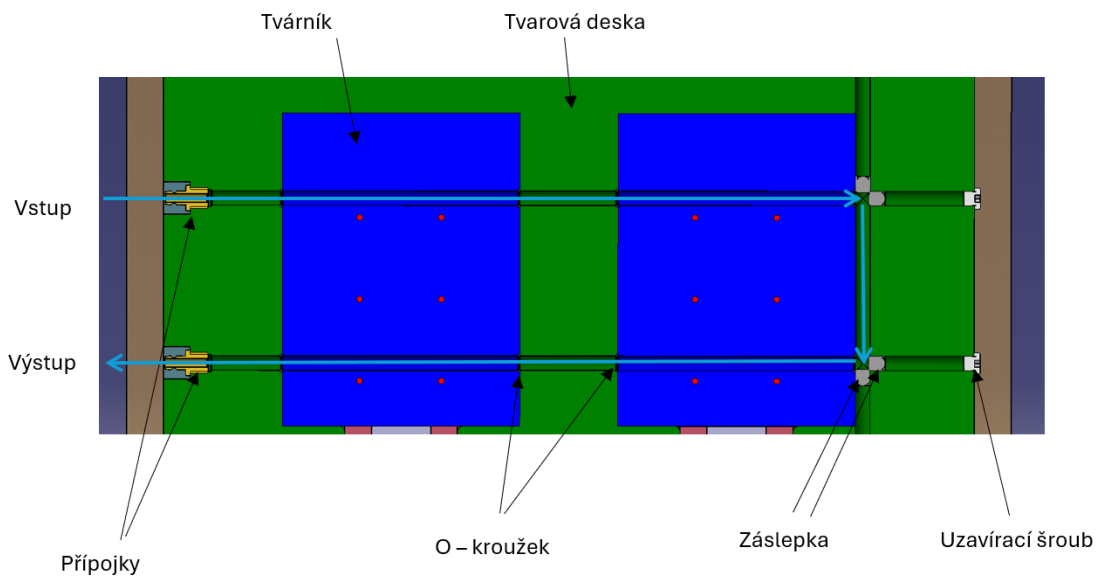
Obrázek 36 *Boční odformování v tvarové desce*

9.5 Temperační systém

Úkolem temperačního systému je udržovat konstantní teplotu v celé formě. Před samotným vstřikováním je třeba ohřát formu na požadovanou teplotu. Během procesu vstřikování se do formy vstříkuje roztavený polymer při vysoké teplotě, který je následně nutné ochladit na vyhazovací teplotu, aby bylo možné výrobek pomocí vyhazovacího systému odstranit z tvarových vložek. Roztavený polymer o vysoké teplotě předává teplo jednotlivým částem formy, a proto se musí temperovat. Při konstrukci formy byly zvoleny dva okruhy. Oba okruhy jsou identické s tím, že se jeden prochází pravou upínací deskou a tvárnici (viz obrázek 37) a druhý levou upínací deskou a tvárníkem (viz obrázek 38). Temperační kanály jsou vrtané na průměr 10 mm. Mezi tvarovými vložkami a deskami jsou zajištěné O – kroužky před únikem média, kterým je v tomto případě voda. Okruh je ve tvaru „U“ a je tvořen vloženými záslepkami. Aby se vyvrtané díry uvnitř desek nezanesli jsou desky z boku zajištěny uzavíracími šrouby. Vstup a výstup média zajišťují přípojky. Všechny komponenty použité pro temperaci jsou staženy z internetového katalogu MEUSBURGERU.

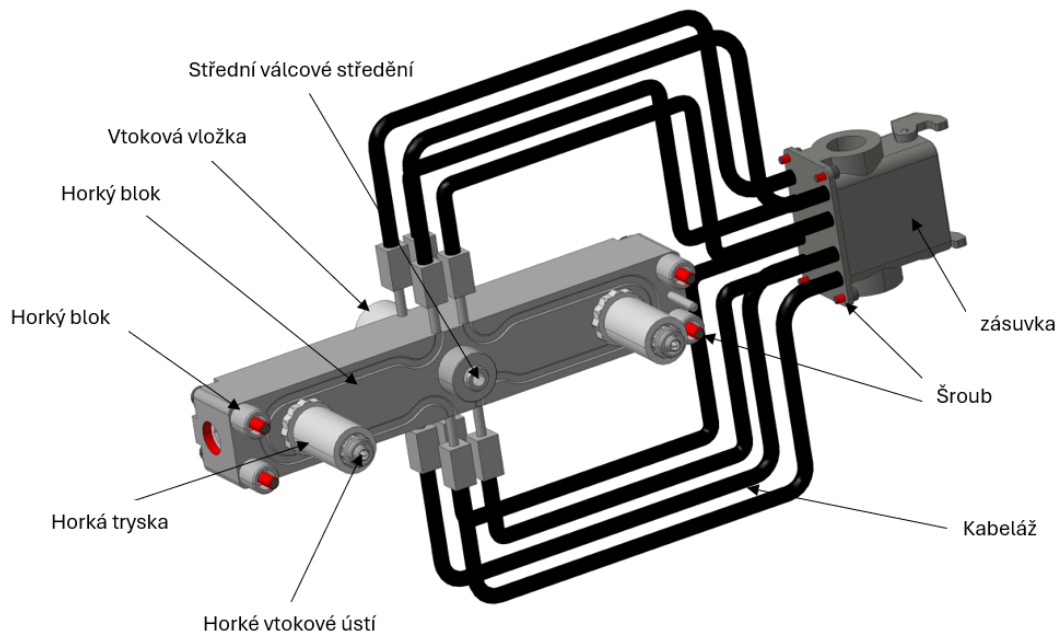


Obrázek 37 Temperační okruh tvárnice

Obrázek 38 *Temperační okruh tvárníku*

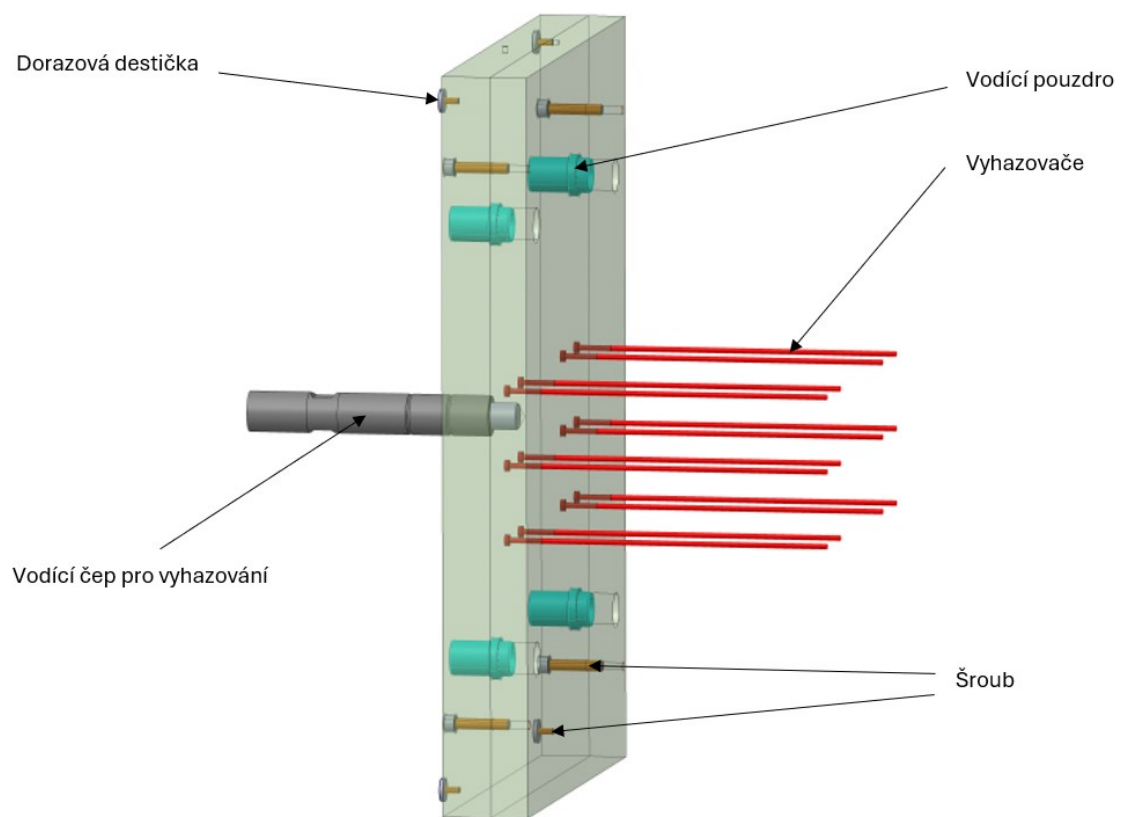
9.6 Vtokový systém

Zvolený vtokový systém je složen z rozvodného bloku, z horkých trysek a vtokové vložky. Pomocí kabelů je napojen do zásuvky, která je uložena z boční strany formy. Celý vtokový systém znázorněný na obrázku 39, byl zvolen na internetových stránkách MEUSBURGERU, kde se vybíral typ horké trysky podle vstříkovaného materiálu. Pro polypropylen byla zvolena nejvhodnější tryska EH 4200. Dále se volil vzdálenost trysek, úhel natočení horkého rozvodného vtoku, množství vstříkovaného materiálu na jeden vstříkovací cyklus a rádius u centrální vtokové vložky, který byl zvolen R16.

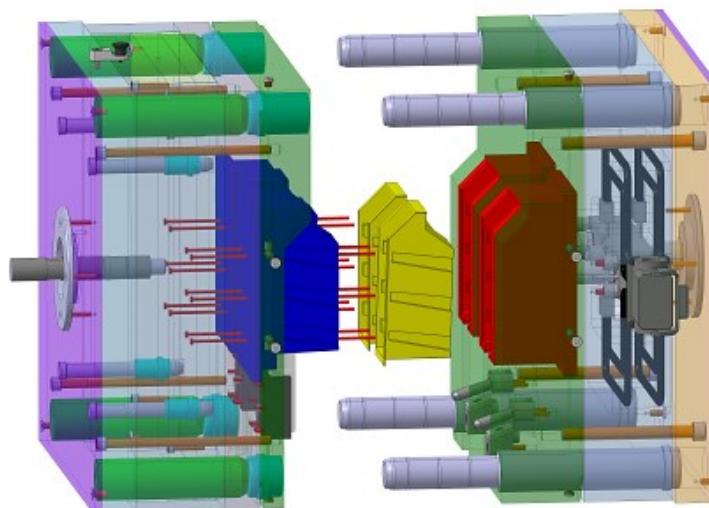
Obrázek 39 *Horký vtokový systém*

9.7 Vyhazovací systém

Poslední podsestava formy je vyhazovací systém, který se skládá z kotevní desky, opěrné desky, které jsou k sobě přišroubované. V kotevní desce jsou zasazených dvanáct vyhazovačů, které jsou tepelně zpracované kalením kvůli delší životnosti a odolnosti proti opotřebení, ke kterému dochází díky jejich častému namáhání. Dále se v obou deskách nachází vodící pouzdra, které jezdí po čepech zasazených v levé straně formy viz. obrázek 29, díky kterým vykonávají posuvný pohyb potřebný pro vyhození výrobku. Samotný posuvný pohyb zajišťuje vodící čep pro vyhazování, který je zašroubovaný v opěrné desce (viz obrázek 40). Poslední součástí na vyhazovacím systému jsou dorazové destičky, které jsou umístěny na opěrné desce a mají za úkol dosedat na levou stranu formy, a to konkrétně na upínací desku.



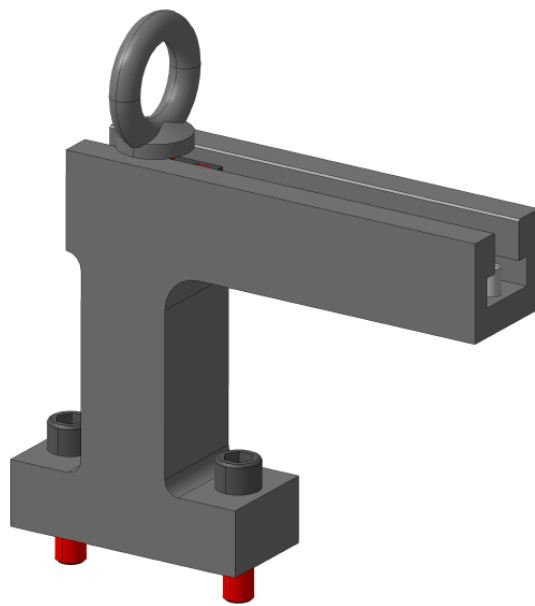
Obrázek 40 *Vyhazovací systém*



Obrázek 41 *Vyhození výrobku po otevření formy*

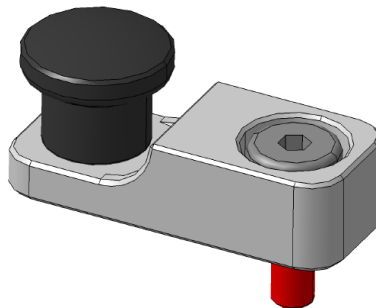
9.8 Manipulace s formou

Při přepravě je forma chráněna proti nechtěnému otevření díky speciálnímu nastavitelnému ramenu od společnosti MEUSBURGER (model E1930). Toto rameno se připevní šrouby M20 k oběma částem formy – pravé i levé části v místě dělicí roviny. Takto je zajištěno, že forma zůstane během transport bezpečně uzavřená. Součástí ramene je také přestavitelné oko, které se nastaví do pozice těžiště celé formy. Tím je dosaženo optimální stability při manipulaci s formou. Před použitím formy se rameno odšroubuje od formy, aby mohlo dojít k otevření formy po vstříknutí.



Obrázek 42 Rameno s manipulačním okem

Zámek (viz obrázek 43) zajišťuje, aby nedošlo při manipulaci k pohybu vyhazovacího systému.



Obrázek 43 Zámek

10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Pro danou vstřikovanou formu byl vybrán vstřikovací stroj od německé společnosti ARBURG. Specifický typ vstřikovacího byl vybrán s ohledem na rozměry formy, počet a objem vstřikovaných výrobků na jeden vystřikovací cyklus, podle maximální délky formy a podobně viz. tabulka 2. Objem výrobku byl zjištěn pomocí softwaru CATIA V5-6R2020 a ten činil 123 cm³ (dvojnásobná forma – 2 x 123 = 246 cm³) Těmito kritérii (znázorněné v tabulce 2) byl vybrán stroj ALLROUNDER 630 S.

Tabulka 2 Vybrané parametry pro volbu vstřikovacího stroje

Parametry	Jednotka	Hodnota stroje	Hodnota formy
Vzdálenost mezi vodícími čepy	mm	630 x 630	546 x 596
Maximální délka formy	mm	600	544
Maximální hmotnost pohyblivé část	kg	2500	585
Průměr středících kroužků	mm	160	160
Uzavírací síla	kN	725	725
Maximální objem vstřikované dávky	cm ³	318	246
Zdvih vyhazovačů	mm	225	50
Otevírací zdvih	mm	600	225
Rádus trysky – vtokové vložky	mm	R16	R16

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem konstrukce vstřikovací formy pro zadaný díl závěsného boxu. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí – teoretické a praktické.

Teoretická část práce se zaměřuje na polymerní materiály a charakteristické vlastnosti. Je zde také popsána technologie vstřikování plastů, včetně principu fungování vstřikovacího stroje a průběhu vstřikovacího cyklu. Pochopení této technologie je klíčové pro porozumění funkce nástroje pro vstřikování, tedy vstřikovací formy. Další částí, kterou obsahuje teoretická část je samotná konstrukce vstřikovacích forem. Je zde rozebrána například násobnost formy, označení forem nebo temperace forem. Poslední kapitola se zabývá výstřikem a jeho konstrukcí.

Získané znalosti z teoretické části byly aplikovány v praktické části při samotném konstruování formy.

Navržená forma je dvojnásobná s horkým vtokovým systémem. Pro snadné vyjmutí výstřiku z formy byla zvolena vhodná poloha hlavní dělicí roviny. Otvor ze zadní strany boxu, který slouží k zavěšení je řešen pomocí bočního odformování. Vyhazování hotového výstřiku z formy je plně automatizované. K zajištění dostatečného chlazení formy byly navrženy dva temperační okruhy ve tvaru „U“. Celkový návrh formy představuje možné řešení konstrukce forem pro díly podobného tvaru.

Výsledkem bakalářské práce byla literární rešerše na dané téma, 3D modely zadaného výrobku a jednotlivých součástí formy a příslušná výkresová dokumentace s kusovníkem, tím byly splněny všechny předem určené cíle bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2015 [cit. 2024-02-05]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Uvod.html>
- [2] SEDLÁČKOVÁ, Hana. *Podstata plastů [1] Polymery* [online]. 2017 [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15817342-Podstata-plastu-1-polymery.html>
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
- [4] *Plasty a jejich zpracovatelské schopnosti. Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [7] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastu* [online]. 14. 2015 [cit. 2024-05-16]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Uvod.html>
- [8] BĚHÁLEK, Luboš, Pavel BRDLÍK, Martin BORŮVKA a Irena LENFELDOVÁ. *Úvod do technologií zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019 [cit. 2024-02-22]. ISBN 978-80-7494-460-4. Dostupné z: <https://publi.cz/download/publication/2537?online=1>
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Svitavy, 2015 [cit. 2024-05-16]. ISBN 978-80-88058-74-4. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Uvod.html>
- [10] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [11] TRES, Paul A. *Designing Plastic Parts for Assembly*. 9. Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-820-4.
- [12] NEUHÄUSL, Emil. *Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje*. In: *Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>
- [13] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů 1. Díl - Vstřikování termoplastů*. Brno: UNIPLAST BRNO, 1999.
- [14] CATOEN, Bruse a Herbert REES. *Injection Mold Design Handbook*. Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.
- [15] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 2. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
- [16] CRAWFORD, R. J. a Peter J. MARTIN. *Plastics engineering*. Fourth edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier, [2020]. ISBN 978-0-08-100709-9.
- [17] *VSTŘIKOVACÍ FORMY vtoková soustava* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/27154061-Vstrikovaci-formy-vtokova-soustava.html>
- [18] HYNEK, Martin a Štěpán HELLER. *Horké vtoky* [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/14044724-Horke-vtoky-k-5-plastove-doc-ing-martin-hynek-ph-d-a-kolektiv-verze-1-0.html>

- [19] VALERO, José R. Lerma. *Plastics Injection Molding - Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices*. Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-689-7.
- [20] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding injection mold*. 2nd edition. Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-843-3.
- [21] DANGEL, Rainer. *Injection moulds for beginners*. Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-631-6.
- [22] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015 [cit. 2024-02-18]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/07.html>
- [23] *SVOBODA rozdíl je v kvalitě* [online]. [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: <https://jansvoboda.cz/Vzduchovy-vyhazovac-s-jehlou-VASP-d1792278>
- [24] KAZMER O., David. *Injection Mold Design Engineering*. Hanser Publishers, 2007. ISBN 978-1-56990-417-6.
- [25] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection Molding Advanced Troubleshooting Guide. 2*. Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-834-1.
- [26] KAZMER O., David. *Injection Mold Design Engineering. 2*. Hanser pubn, 2016. ISBN 9781569905708.
- [27] Meusbürger. *Meusbürger* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/index>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Obr.	Obrázek
kg	Kilogram
mm	Milimetr
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
°C	Stupeň celsia
cm ³	Centimetr krychlový
g	Gram
UV	Ultrafialové
p	tlak
V	Objem
t	Teplota
MPa	Megapascal
ČSN	Česká státní norma
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
max.	Maximální
Q _v	Vstřikovací kapacita
Q _p	Plastikační kapacita
m ³	Metr krychlový
%	Procento
kJ	Kilojoule
min	Minuta
PP	Polypropylen
R	Rádus

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení polymerů [2]	11
Obrázek 2 Nadmolekulární uspořádání termoplastu [4].....	12
Obrázek 3 Chování elastomeru při mechanickém namáhání [1]	12
Obrázek 4 Prostorové zesíťování struktury neboli vytvrzení [4]	13
Obrázek 5: Schématické znázornění dispergačního a distribučního míchání [5]	15
Obrázek 6 Vstřikovací cyklus [8].....	16
Obrázek 7 Znázornění změny tlaku, objemu a teploty při vstřikování termoplastů [6].....	19
Obrázek 8 Vtokový systém [16].....	22
Obrázek 9 Izolovaná vtoková soustava [15]	23
Obrázek 10 Horká tryska [17]	24
Obrázek 11 Horká tryska s hrotem [18]	25
Obrázek 12 Horká tryska bez jehly a s jehlou [18].....	25
Obrázek 13 Rozvodný blok pro horké trysky [17].....	26
Obrázek 14 Tabulka požadované teploty formy pro různé plasty [22].....	28
Obrázek 15 Stírací deska a její funkce [22].....	30
Obrázek 16 Vzduchový ventil s jehlou [23]	31
Obrázek 17 Správné odvzdušnění formy.....	32
Obrázek 18 Vstřikovací stroj [22].....	33
Obrázek 19 Příklad vstřikovací jednotky [8]	34
Obrázek 20 Příklad uzavírací jednotky [8].....	35
Obrázek 21 Různé možnosti dělicí roviny [22]	36
Obrázek 22 Závislost rádiusů na plnění dutiny formy [8]	37
Obrázek 23 Optimální velikost úkosů pro jednotlivé konstrukční prvky [8].....	37
Obrázek 24 Online katalog normálií MEUSEBURGERU [27]	40
Obrázek 25. Přední strana výrobku	41
Obrázek 26 Zadní strana výrobku	41
Obrázek 27 Navržená vstřikovací forma	43
Obrázek 28 Pravá strana formy.....	44
Obrázek 29 Levá strana formy.....	45
Obrázek 30 Návrh hlavní dělicí roviny.....	46
Obrázek 31 Návrh vedlejší dělicí roviny.....	46
Obrázek 32 Násobnost formy.....	47
Obrázek 33 Tvarové vložky.....	48
Obrázek 34 Spodně vedená posuvná kostka	49

Obrázek 35 <i>Sestava bočního odformování</i>	49
Obrázek 36 <i>Boční odformování v tvarové desce</i>	49
Obrázek 37 <i>Temperační okruh tvárnice</i>	50
Obrázek 38 <i>Temperační okruh tvárníku</i>	51
Obrázek 39 <i>Horký vtokový systém</i>	52
Obrázek 40 <i>Vyhazovací systém</i>	53
Obrázek 41 <i>Vyhození výrobku po otevření formy</i>	53
Obrázek 42 <i>Rameno s manipulačním okem</i>	54
Obrázek 43 <i>Zámek</i>	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 <i>Materiálové vlastnosti polypropylenu</i>	42
Tabulka 2 <i>Vybrané parametry pro volbu vstřikovacího stroje</i>	55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list SABIC PP 108MF10

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje ALLROUNDER 630 S

Příloha P III: CD s 3D modelem sestavy vstřikovací formy

Příloha P IV: Výkresová dokumentace formy

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST SABIC PP 108MF10



SABIC® PP 108MF10

PP SUPER HIGH IMPACT

DESCRIPTION

SABIC® PP 108MF10 is a super high impact copolymer which exhibits an unmatched cold impact resistance, high flow and excellent paint adhesion characteristics. Because of this unique and well balanced property profile our customers commonly use this material for painted car bumpers.

SABIC® PP 108MF10 is a designated automotive grade.

IMDS ID: 80775790

TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20220317

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
POLYMER PROPERTIES			
Melt Flow Rate (MFR)			
at 230 °C and 2.16 kg	10	dg/min	ISO 1133
Density	905	kg/m ³	ISO 1183
Mould shrinkage ⁽¹⁾			
24 hours after injection moulding	1.5	%	SABIC method
FORMULATION			
Anti static agent	<input type="checkbox"/>	-	-
Nucleating agent	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
MECHANICAL PROPERTIES			
Tensile test			
stress at yield ⁽²⁾	19	MPa	ISO 527-2 1A
strain at yield	8	%	ISO 527-2 1A
Tensile modulus ⁽²⁾	1000	MPa	ISO 527-2 1A
Izod impact notched			
at 23 °C	No Break	kJ/m ²	ISO 180/1A
at 0 °C	No Break	kJ/m ²	ISO 180/1A
at -20 °C	35	kJ/m ²	ISO 180/1A
Charpy Impact Strength Notched			
at 23 °C	No Break	kJ/m ²	ISO 179/1eA
at 0 °C	No Break	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy Impact unnotched			
at 23 °C	No Break	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Hardness Shore D	52	-	ISO 868
THERMAL PROPERTIES			
Vicat Softening Temperature ⁽⁴⁾			
at 10 N (VST/A)	130	°C	ISO 306
at 50 N (VST/B)	50	°C	ISO 306

(1) All measurements on injection molded samples.

(2) Speed of testing: 50 mm/min

(3) Speed of testing: 1 mm/min

(4) Temperature rate: 120°C/h

© 2023 Copyright by SABIC. All rights reserved

CHEMISTRY THAT MATTERS™



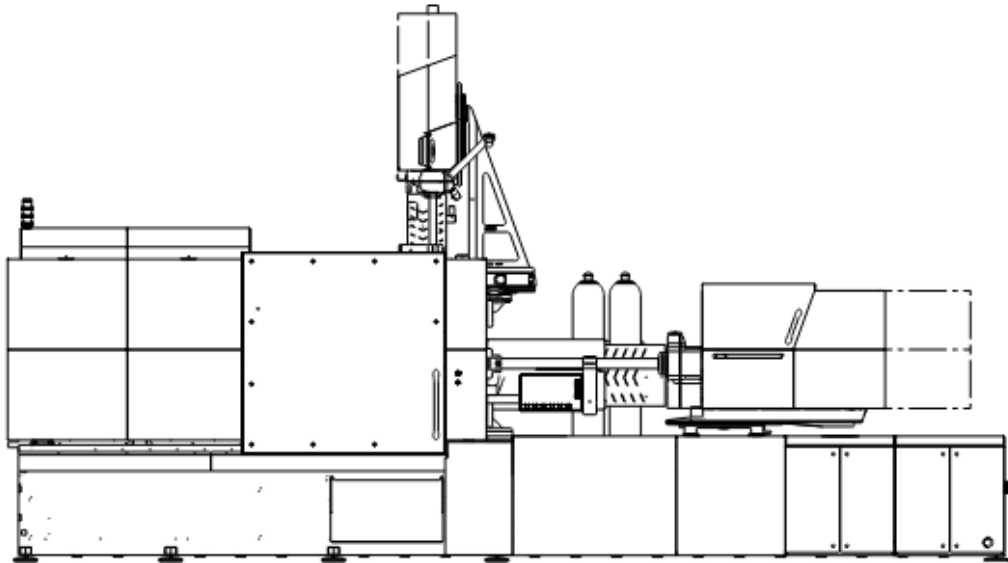
STORAGE AND HANDLING

Avoid prolonged storage in open sunlight, high temperatures (<50 °C) and/or high humidity as this could well speed up alteration and consequently loss of quality of the material and/or its packaging. Keep material completely dry for good processing.

DISCLAIMER

Any sale by SABIC, its subsidiaries and affiliates (each a "seller"), is made exclusively under seller's standard conditions of sale (available upon request) unless agreed otherwise in writing and signed on behalf of the seller. While the information contained herein is given in good faith, SELLER MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY AND NON-INFRINGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY, NOR ASSUMES ANY LIABILITY, DIRECT OR INDIRECT, WITH RESPECT TO THE PERFORMANCE, SUITABILITY OR FITNESS FOR INTENDED USE OR PURPOSE OF THESE PRODUCTS IN ANY APPLICATION. Each customer must determine the suitability of seller materials for the customer's particular use through appropriate testing and analysis. No statement by seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right.

**PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE
ALLROUNDER 630 S**



ALLROUNDER 630 S

Clamp-Design

Multi-component

Distance between tie bars: 630 x 630 mm

Clamping force: 2500 kN

Injection unit: 800, 1300, 2100 – horizontal

70, 100, 170, 290, 400 – vertical

ARBURG

TECHNICAL DATA | 630 S MULTI-COMPONENT

Clamping unit		630 S
with clamping force	max. kN	2500
Opening force stroke	max. kN mm	725 600
Mould height, fixed variable	min. mm	700 [300-700]
Platen daylight: fixed variable	max. mm	1300 [900-1300]
Distance between tie bars (w x h)	mm	630 x 630
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	900 x 900
Weight of movable mould half	max. kg	2500
Ejector force stroke	max. kN mm	90 225
Dry cycle time EUROMAP 2	min. s - mm	1,7 - 441

Injection unit		70			100			170		
with screw diameter	mm	18	22	25	20	25	30	25	30	35
Effective screw length	L/D	24,5	20	17,5	25	20	16,7	24	20	17
Screw stroke	max. mm	90			100			120		
Calculated stroke volume	max. cm ³	23	34	44	31	49	71	59	85	115
Shot weight	max. g PS	21	31	40	29	45	65	54	77	105
Material throughput	max. kg/h PS	4,1	5,5	6,5	5,5	8	9,5	10	13,5	16
	max. kg/h PA6.6	2,1	2,8	3,3	2,8	4	4,9	5	7	8
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Injection flow 2	max. cm ³ /s	138	208	268	172	268	388	216	312	424
Screw circumferential speed 2	max. m/min	49	60	68	34	43	51	43	52	60
Screw torque	max. Nm	90	110	120	120	150	180	210	250	290
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	50 150			50 180			50 210 300 *		
Heating capacity zones	kW	4,2 4			6,7 5			9 5		

Drive and connection		800				
with horizontal/vertical injection unit		70	100	170	290	400
Net weight of machine	kg	13850	13850	14020	14010	14190
Sound press. level Insecurity 4	dB(A)	< 70				
Oil filling	l	360				
Drive power 2	max. kW	75				
Electrical connection 3	kW	102	104	107	105	107
	Total	---				
	Machine	160	160	160	160	160
	Heating	40	50	50	50	63
Cooling water connection	max. °C	30				
	min. Δp bar	1,5 DN32				

Machine type	
with EUROMAP size designation 1	
630 S 2500-800/70 800/100 800/170 800/290 800/400	

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
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) Emission sound pressure level at the workplace. Detailed information in the operating instructions.
- 5) The second value applies to a vertical arrangement of the injection unit.
- 6) Specifications apply to alternative equipment.