

Konstrukce vstřikovací formy se sofistikovanou dělicí rovinou

Ondřej Molnár

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:	Ondřej Molnár
Osobní číslo:	T22208
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce vstřikovací formy se sofistikovanou dělicí rovinou

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Připravte 3D model vyráběné součásti.
- Provedte konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy pro výrobu zadané plastové součásti.
- Nakreslete výkres 2D sestavy vstřikovací 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.

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

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh nástroje pro výrobu plastového komponentu technologií vstřikování. Práce je rozdělena na dvě hlavní části. V první, teoretické části, jsou popsány polymerní materiály, proces vstřikování, vstřikovací formy a stroje pro vstřikování.

Druhá část je praktická a zaměřuje se na 3D návrh zadaného dílu a postup při konstruování vstřikovací formy pro tento díl. Forma byla vytvořena spolu s dílem pomocí softwaru CATIA V5-6R2020. V závěrečné části byl vybrán vhodný vstřikovací stroj pro použitou formu

Klíčová slova: polymerní materiály, proces vstřikování, vstřikovací forma, CATIA V5-6R2020

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design of a tool for the production of a plastic component by injection moulding technology. The thesis is divided into two main parts. In the first, theoretical part, polymer materials, injection molding process, injection molds and injection molding machines are described.

The second part is practical and focuses on the 3D design of a given part and the procedure for constructing an injection mould for this part. The mould was created along with the part using CATIA V5-6R2020 software. In the final part, a suitable injection moulding machine was selected for the mould used

Keywords: polymer materials, injection moulding process, injection mould, CATIA V5-6R2020

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce prof. Ing. Michalu Staňkovi Ph.D. za čas a cené rady, které jsem využil u této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Štachovi, za jeho dlouholeté zkušenosti, které mi po celou dobu předával. V poslední řadě bych rád poděkoval své rodině, která mě celou dobu podporovala.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	13
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	14
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	14
1.2.1 Uzavírací jednotka	15
1.2.2 Vstřikovací jednotka	16
1.2.3 Regulační a řídicí jednotka.....	17
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	18
2.1 TERMOPLASTY	18
2.2 REAKTOPLASTY.....	19
2.3 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	19
2.4 PŘÍPRAVA POLYMERU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	20
2.4.1 Sušení	20
2.4.2 Míchání	21
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	22
3.1 VTOKOVÝ SYSTÉM	22
3.1.1 Studený vtokový systém	22
3.1.2 Horký vtokový systém	23
3.2 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	24
3.3 TEMPERACE FORMY	25
3.4 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	26
3.5 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVACÍ FORMY	27
3.6 NÁSOBNOST	28
4 NORMALIZOVANÉ SOUČÁSTI.....	29
4.1 MEUSBURGER	29
4.2 HASCO	29
4.3 KNARR.....	29
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	30
5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	31
6 POUŽITÝ SOFTWARE.....	32
6.1 CATIA V5-6R2020	32
6.2 MEUSBURGER.....	32
7 VÝROBEK.....	33
7.1 MATERIÁL VÝROBKU	34

8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	35
8.1	DĚLÍCÍ ROVINA	36
8.2	VOLBA NÁSOBNOSTI FORMY	37
8.3	TVAROVÉ VLOŽKY	38
8.4	RÁM FORMY	39
8.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	40
8.6	ODVZDUŠNĚNÍ	41
8.7	VTOKOVÝ SYSTÉM	42
8.7.1	Horký vtokový systém	43
8.7.2	Studený vtokový systém	43
8.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	44
8.9	MANIPULACE	47
9	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	48
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	52
	SEZNAM TABULEK	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
	SEZNAM PŘÍLOH	55

ÚVOD

Úvod této bakalářské práce se zabývá problematikou konstrukce vstřikovacích forem pro polymerní materiály, které hrají klíčovou roli v moderní výrobě plastových dílů. Vstřikování plastů patří mezi nejrozšířenější technologie v oblasti zpracování polymerů, a to díky své efektivitě, přesnosti a schopnosti produkovat komplexní tvary s vysokou opakovatelností. Klíčovým prvkem celého procesu je vstřikovací forma, která musí být pečlivě navržena s ohledem na požadavky daného výrobku, vlastnosti materiálu a technologické podmínky.

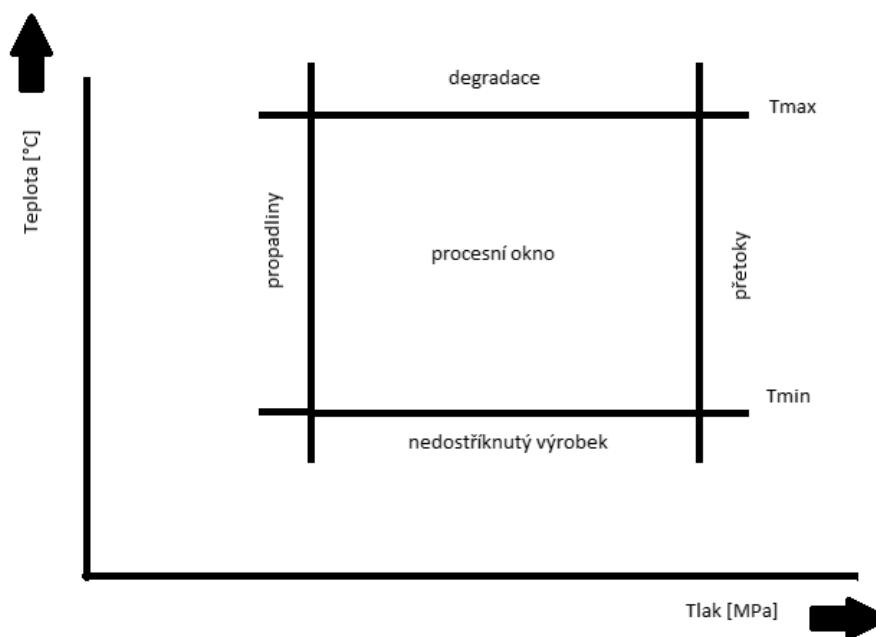
Tato práce si klade za cíl podrobně analyzovat postup návrhu vstřikovací formy pro zadaný polymerní díl, přičemž důraz bude kladen na konstrukční aspekty formy, volbu materiálu. Teoretická část se zaměří na přehled technologií vstřikování plastů a charakteristiku polymerních materiálů, zatímco praktická část se bude věnovat konkrétnímu návrhu vstřikovací formy a volbě vstřikovacího stroje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Vstřikování je metodou pro sériovou výrobu a často se dává přednost před jinými postupy díky schopnosti ekonomicky vyrábět složité díly s vysokou přesností. Před samotným procesem vstřikování je však nezbytné navrhnout, zhotovit a uvést do provozu vhodnou vstřikovací formu. [1]

Kvalita vstřikovaného dílu a efektivita výroby závisí přímo na návrhu formy, která je komplexním systémem složeným z několika komponent podléhajících opakovaným teplotním a mechanickým zatížením. Návrh formy často zahrnuje určitý kompromis – formy s nižšími náklady mohou mít za následek nižší kvalitu produktů nebo méně efektivní procesy. Inženýři by proto měli usilovat o návrhy forem, které jsou „vhodné k danému účelu“ – což znamená, že forma by měla být schopna produkovat díly přijatelné kvality při co nejnižších celkových nákladech a s minimálními požadavky na čas, peníze a riziko během vývoje.[4]

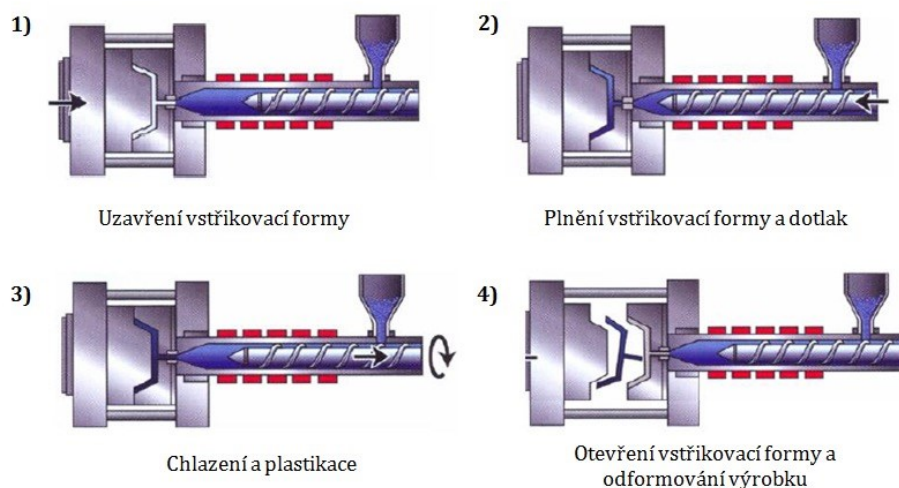


Obrázek 1 Procesní okno u technologie vstřikování

(zdroj: [2])

1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikování je cyklický proces, při kterém se materiál během výrobního cyklu nikdy nedostane do rovnovážného stavu s okolními podmínkami. Teploty, tlak a rychlosti deformace se rychle mění a jsou rozdílné v různých částech formy, což tvoří tzv. „historii“ materiálu – tu, která ovlivňuje konečné vlastnosti výstřiku. Výrobní cyklus zahrnuje uzavření formy, vstřikování taveniny do dutiny, přepnutí na dotlak, fázi chlazení a plastikaci, otevření formy a vyhození výstřiku. Materiál (termoplast) je v plastikační jednotce zahřátý a dopravený do dutiny formy, kde při ochlazování zatuhne a přejímá její tvar. Poté je výstřik vyjmut a cyklus se opakuje. Tento proces je završen montáží komponent, kontrolou kvality, dokončovacími úpravami a balením.[3]

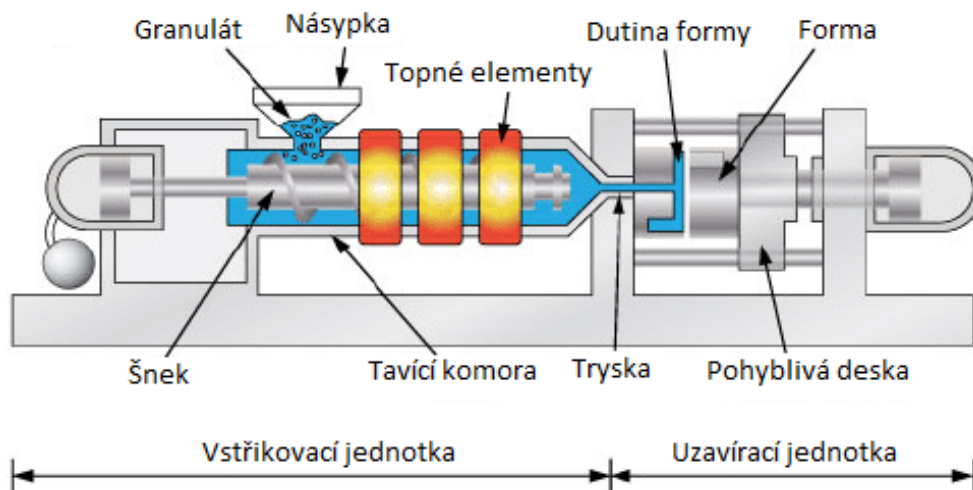


Obrázek 2 Vstřikovací cyklus

(zdroj: [1])

1.2 Vstřikovací stroj

Technologie vstřikování se provádí na vstřikovacím stroji, který obvykle zpracovává polymerní materiály ve formě granulí. Stroj má dvě hlavní části – uzavírací a vstřikovací jednotku, které jsou řízeny kontrolním a řídicím systémem. Pro správný provoz musí být stroj, nástroje a periferie připojeny ke zdroji elektrické energie, vodnímu chladicímu okruhu a případně ke zdroji stlačeného vzduchu. Vstřikovací stroje lze rozdělit podle typu pohonu na elektrické, hydraulické a hybridní, a podle pracovního mechanismu na šnekové a pístové, přičemž šnekové typy jsou dnes nejčastější. Další členění je podle směru pohybu desky, na horizontální nebo vertikální. Výrobci také nabízejí varianty uzavíracích jednotek se sloupky i bez sloupků. [3]



Obrázek 3 Vstřikovací stroj

(zdroj: [4])

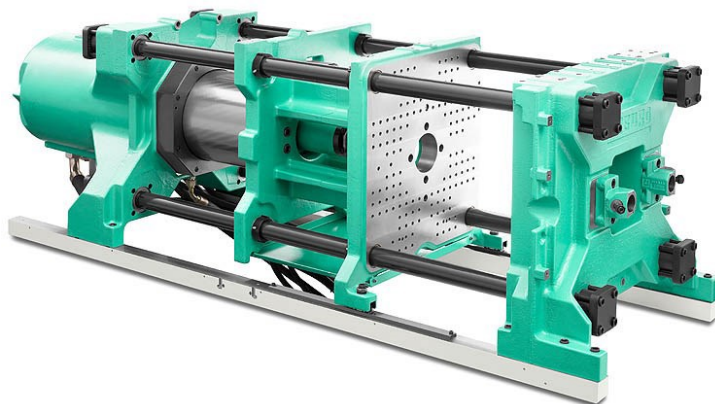
1.2.1 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je otevření a zavření formy, přičemž je nutné vynaložit vysokou sílu k jejímu pevnému uzavření. Tavenina, vstřikovaná pod vysokým tlakem, nesmí způsobit otevření formy ani proniknout do oblasti oddělovací spáry. Síla uzavření je používána k určení velikosti vstřikovacích strojů. Důležitou funkcí je také ochrana formy, která zahrnuje co nejparalelnější vedení a přesné centrování poloviny formy při jejím uzavírání. Nedostatečné vedení vede k opotřebení oddělovacích linií a vzniku otřepů. Existují tři hlavní typy uzavíracích jednotek, které jsou rozlišovány podle pohonové technologie a délky.[5]

Hydraulické systémy jsou poháněny systémem válec-píst. Pro vyšší rychlosti pohybu během cestování jsou používány malé písty, zatímco pro vytvoření uzavírací síly se používá větší píst. Tento dvoudílný systém poskytuje dobrou ochranu formy. Pokud není vstřikovací díl úplně vyjmut a stále zůstává částečně ve formě během dalšího uzavíracího procesu, stroj nemůže formu zcela uzavřít při nízké síle malých pístů pro pohyb a snadno tento problém detekuje. Před tím, než je díl stlačen v oddělovací spáře pod uzavírací silou a způsobí vážné poškození, přepne stroj do režimu poruchy.[5]

Mechanické systémy jsou poháněny systémem kladky a páky. V závislosti na poloze páky mají tyto systémy buď vysokou rychlost pohybu, nebo velkou uzavírací sílu. Jeden hydraulický válec umožňuje jak pohyb, tak i vytváření síly. Díky tomu jsou tyto systémy rychlejší. Protože je páka téměř napnutá těsně před uzavřenou polohou, uzavírací rychlost se zde automaticky stává velmi malou a uzavírací síla stále roste. Ochrana formy je možná pouze s vysokými náklady na silové senzory. Systémy s pákou jsou základně složitější a

mají tendenci mít menší uzavírací síly. Vývoj pohonů na elektrické motory učinil mechanický systém povinným.[5]



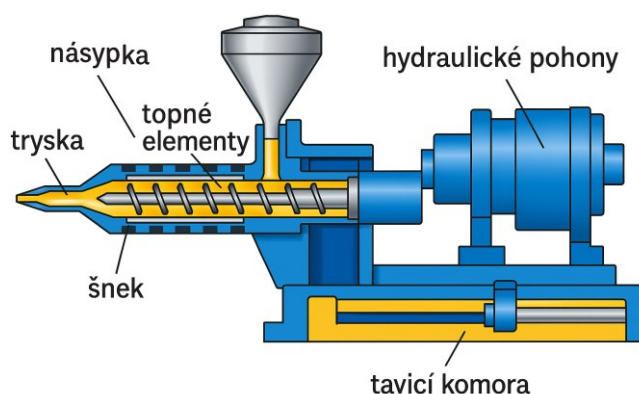
Obrázek 4 Uzavírací jednotka

(zdroj: [6])

1.2.2 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka pro termoplasty převádí pevný polymer na viskózní taveninu a vstřikuje ji do formy s vysokou přesností. Nejčastěji se používá šneková jednotka, kde šnek rotuje a pohybuje se axiálně. Konzole umožňuje přisun trysky k formě a zajišťuje přítlačnou sílu. Hlavní pohony ovládají rotaci šneku při plastikaci a jeho dopředný pohyb při vstřikování, kdy šnek působí jako píst. Moderní jednotky umožňují přesnou kontrolu polohy, rychlosti šneku a tlaků, přičemž design podporuje snadnou výměnu materiálu či šneku.[7]

Vstřikovací jednotka se skládá z několika částí. Násypka slouží jako vstup, za ní následuje tavicí (plastikační) komora obklopená topnými pásy. Komora končí tryskou, která přiléhá k vtokové vložce formy, kudy proudí tavenina plastu do formy. Uvnitř komory je umístěn šnek s přesnou geometrií. Plast se zahřívá nejen působením topných pásů, ale hlavně díky tření mezi polymerem, stěnami komory a šnekem, které přenáší až 70 % tepla. Kvůli špatné tepelné vodivosti plastů je šnek navržen tak, aby vrstva polymeru mezi šnekem a komorou byla co nejmenší. Konstrukce jednotky a komory závisí na zpracovávaném materiálu, a její výkonnost je určována vstřikovací a plastikační kapacitou.[7]



Obrázek 5 Vstřikovací jednotka

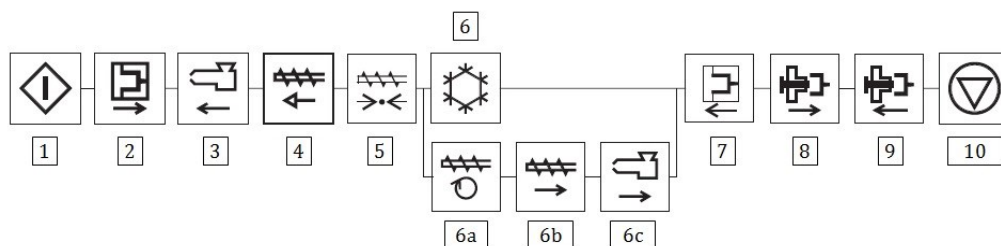
(zdroj: [7])

1.2.3 Regulační a řídicí jednotka

Hlavním prvkem regulační a řídicí jednotky je regulátor, který zpracovává aktuální hodnoty parametrů ze strojních systémů a porovnává je se zadanými hodnotami. Při detekci odchylky se snaží upravit aktuální hodnotu pomocí regulačních prvků, například škrticího ventilu v hydraulickém systému. Tento systém je standardně řízen mikroprocesory, což umožňuje automatickou optimalizaci injekčního vstřikování.[7]

Regulační jednotka obsahuje komunikační rozhraní pro nastavování technologických parametrů a sledování aktuálních hodnot (teplota, rychlost, tlak). Uživatel ovládá rozhraní dotykovým displejem nebo externími zařízeními. Grafické uspořádání se liší podle výrobce, příklad ukazuje obrázek pro stroje Arburg.[7]

Dále má rozhraní porty pro připojení paměťových médií, na která lze stahovat data z výrobních cyklů nebo přenášet výrobní programy. Na LCD displeji se zobrazuje také informace o chybách a statistické nástroje pro sledování kvality. Regulační jednotka zahrnuje signalizační zařízení, které informuje o funkcích stroje a případných poruchách.[7]

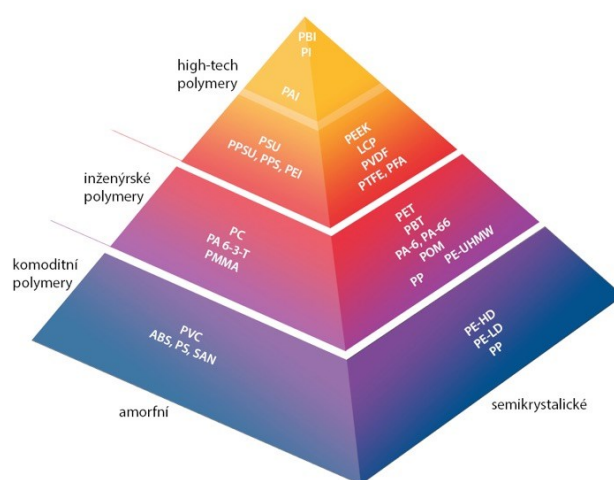


Obrázek 6 Programování vstřikovacího cyklu

(zdroj: [7])

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou látky, které mohou být buď přírodního původu, nebo uměle syntetizované. Mají charakteristickou makromolekulární strukturu, kde se opakují základní stavební prvky zvané mery. Samotný termín polymer je odvozen z řeckých slov „poly“ (mnoho) a „meros“ (část), což poukazuje na jejich složení z dlouhých řetězců tvořených mnoha merovými jednotkami. Polymery mohou obsahovat různé chemické prvky, nejčastěji uhlík, vodík, kyslík, dusík a chlor, ale mohou zahrnovat i jiné atomy. Díky variabilitě těchto stavebních bloků a jejich uspořádání existuje široká škála polymerů s odlišnými vlastnostmi a možnostmi využití. Obvykle se polymery vyskytují v pevném stavu, často ve formě výrobků, které po zpracování zatuhnou, přičemž před zatuhnutím jsou ve formě kapaliny, tedy taveniny. [8]



Obrázek 7 Dělení polymerů podle tržního postavení

(zdroj: [8])

2.1 Termoplasty

Existují materiály, které při zahřívání měknou a stávají se plastickými, což umožňuje jejich tvarování. Když teplota překročí bod tání, materiály se změní na taveninu, a po ochlazení pod tuto teplotu opět ztvrdnou. Tento proces probíhá bez chemických reakcí a chemická struktura materiálů zůstává nezměněná. Změny mají pouze fyzikální charakter, a proces měknutí a tuhnutí je vratný, což umožňuje opakování. Termoplasty mohou být amorfni nebo semikrystalické, přičemž mezi běžné příklady patří polyethylen (PE), polypropylen (PP),

polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polymethylmethakrylát (PMMA) a polyoxymethylen (POM). [8]



Obrázek 8 Palubní deska automobilu

(zdroj: [9])

2.2 Reaktoplasty

Existují materiály, které jsou po zahřátí tavitelné a tvarovatelné jen po určitou dobu. Při dalším zahřívání nebo použití katalyzátorů dochází k chemické změně, kdy se původní molekuly sesítují, což způsobuje, že materiál se stává netavitelným a nerozpustným. Tento proces, nazývaný vytvrzování, je nevratný, takže vytvrzený materiál nelze znovu tvarovat ani svařovat. Reaktoplasty jsou amorfnní polymery, které se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. V nevytvrzeném stavu se reaktoplasty obvykle označují jako pryskyřice, například fenol-formaldehydová pryskyřice (PF), epoxidová pryskyřice (EP) a polyesterová pryskyřice (UP).[8]

2.3 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) mají vlastnosti podobné pryžím a jejich struktura se skládá z tvrdých a měkkých segmentů. Měkké segmenty jsou elastomery, zatímco tvrdé segmenty pocházejí z termoplastů, které vytvářejí uzly sítě. TPE mají zesíťovanou strukturu, která při zvyšování teploty přechází do tekutého stavu, což umožňuje jejich zpracování obdobně jako u termoplastů. Hlavní rozdíl mezi TPE a pryžemi spočívá v povaze uzlů sítě: u pryží, po vulkanizaci, jsou chemické, zatímco u TPE fyzikální a vznikají z nemísitelných termoplastických segmentů rozptýlených v elastomerní fázi. Ačkoli TPE nedosahují tak

vysokých elastických vlastností jako pryže, výhodou je jejich možnost vstřikování na standardních strojích pro termoplasty a možnost recyklace.[8]

2.4 Příprava polymeru před vstřikováním

2.4.1 Sušení

Při přepravě polymerních materiálů ze sil do zpracovatelských zařízení je často zdůrazňováno sušení, protože vlhkost je absorbována z okolního prostředí. Tato vlhkost ovlivňuje tokové vlastnosti taveniny, což má negativní dopad na výrobní tolerance a snižuje pevnost a tuhost materiálu. Polymery jsou klasifikovány podle schopnosti absorbovat vlhkost na nenavlhavé, málo, středně a vysoce navlhavé. Míra navlhavosti je ovlivňována chemickým složením, přísadami a podmínkami přepravy. Hydrofilní skupiny v makromolekulách zvyšují absorpci vody, zatímco anorganická plniva tuto schopnost snižují. [2]

Vlhkost může být v polymeru vázána kapilárně nebo se může vyskytovat pouze na jeho povrchu. I u nenavlhavých materiálů je doporučováno sušení, a to zejména kvůli kvalitativním požadavkům u viditelných výrobků. Mezi klíčové faktory sušení patří teplota, doba, relativní vlhkost vzduchu, velikost granulátu a způsob sušení. Proces sušení je urychlován vyšší teplotou a nižší vlhkostí, avšak je třeba dbát na možná rizika degradace materiálu. [2]

Mezi nejčastěji používané metody sušení v průmyslu patří sušení suchým, tlakovým nebo horkým vzduchem, včetně jejich kombinací. Kromě těchto tradičních přístupů se objevují také nové a pokročilé techniky sušení, jako jsou sušení ve vakuu, sušení pomocí voštinových kotoučů, membránové a mikrovlnné sušení. [2]

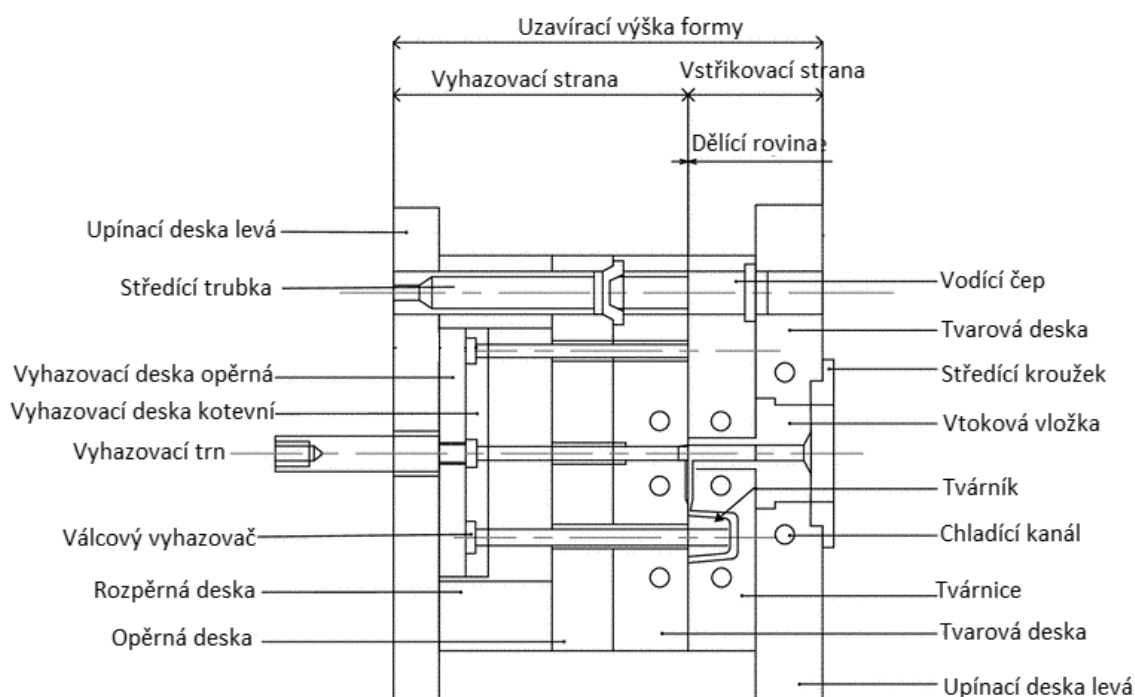
2.4.2 Míchání

Do základního materiálu se přidávají aditiva (granuláty, prášky, kapaliny) pro zlepšení vlastností, probarvení nebo snížení nákladů. Klíčová je jejich rovnoměrná disperze, ovlivněná homogenitou vstupní suroviny, kterou zajišťují mísicí a hnětací zařízení. Mísicí stroje se dělí podle osy rotace na horizontální a vertikální. [2]

Nejčastěji se používají bubnové, pásové, planetové a fluidní míchačky, přičemž fluidní jsou velmi efektivní. Homogenita nemusí být dosažena už při míchání, ale až při vstřikování či vytlačování. Šnekové vytlačovací stroje s hnětacími vložkami a speciální geometrií zvyšují smykové namáhání a tím i účinnost hnětení, na rozdíl od běžných strojů. Vzhledem k rostoucí spotřebě plastů firmy často nakupují hotové směsi nebo „masterbatchy“ – materiály s přesně daným množstvím aditiv. Ty se dávkuje do čistého polymeru pomocí dávkovacích zařízení nad násypkou vstřikovacího stroje. Ta se dělí na volumetrická (se šnekem či kotoučem – levná a jednoduchá) a gravimetrická. [2]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je složena z dílů, které vymezují tvarovou dutinu formy, vtokového systému, temperačního (chladicího) systému, vyhazovacího systému, odvzdušnění a upínacích a vodících elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem jsou rozděleny do dvou skupin: konstrukční části a funkční části. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a zahrnují například desky, středící kroužky, rozpěrky, dorazy a vodící části. Funkční části, které jsou ve styku se zpracovávaným materiálem, udělují požadovaný tvar. Mezi ně patří například tvárník, tvárnice a vtoková vložka.[2]



Obrázek 9 Terminologie formy

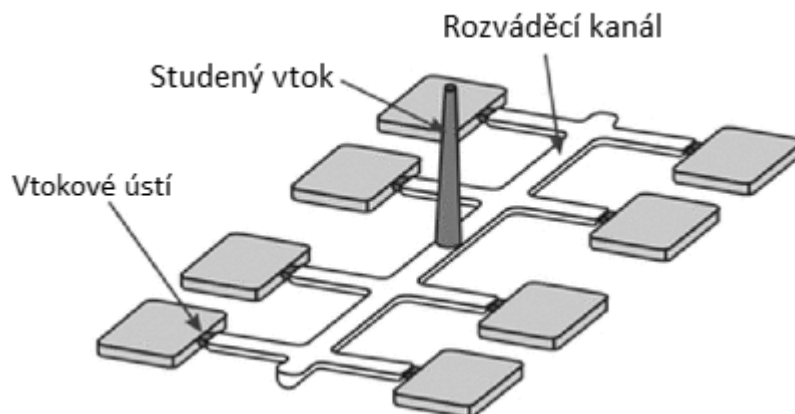
(zdroj: [10])

3.1 Vtokový systém

3.1.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém je umístěn v hlavní dělicí rovině vstřikovací formy a po dopravě polymerní taveniny do tvarové dutiny formy je spolu s výstřikem na konci ochlazovací fáze vstřikovacího cyklu vyhozen z formy a připraven k dalšímu zpracování (recyklaci, drcení, smísení s dalšími složkami a aditivy, a k dalšímu převedení do polymerní taveniny nebo vstříknutí do tvarové dutiny formy). Při použití studeného vtokového rozvodu jsou

rozeznávají dva základní typy konstrukce vstřikovacích forem: dvoudesková a třídesková konstrukce.[11]



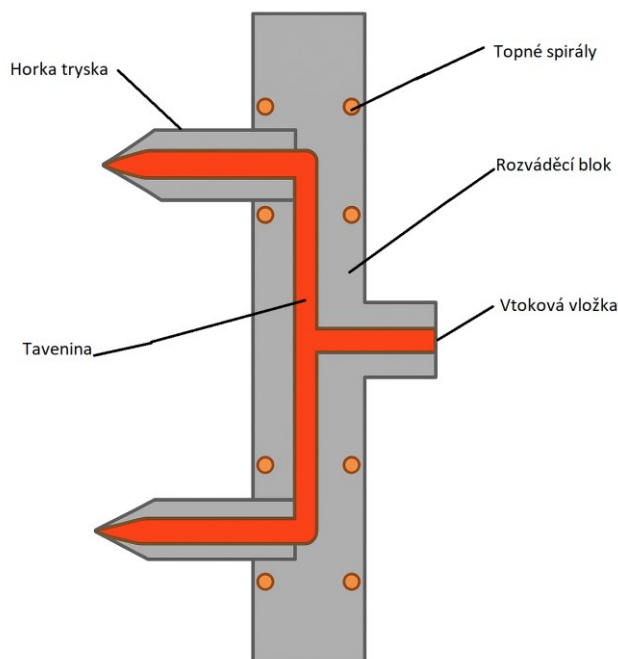
Obrázek 10 Vtokový systém vícenásobné formy

(zdroj: [12])

3.1.2 Horký vtokový systém

Základním úkolem horkého rozvodného systému vstřikovací formy je v každém výrobním cyklu přivádět polymerní taveninu buď přímo do tvarové dutiny formy, nebo do pomocného studeného kanálu (kombinovaný vtokový rozvod). Tavenina je udržována v rozvodném systému během výroby, čímž jsou minimalizovány vtokové zbytky a snižována potřeba odpadového hospodářství pro jejich nakládání. Také je zmenšována nutnost dodatečného odstraňování vtokových ústí a zvyšována možnost optimalizace dotlakové fáze bez rizika zamrznutí průřezu ústí vtoku.[11]

Nakládání s vtokovými zbytky ze studených a kombinovaných rozvodů je považováno za ekonomickou nezbytnost, která vyplývá z povahy termoplastů, jež mohou být opětovně převedeny do taveniny. To platí zejména u sofistikovaných materiálů, pokud jsou zpracovány za vhodných technologických parametrů, které nezpůsobily degradační procesy.[11]



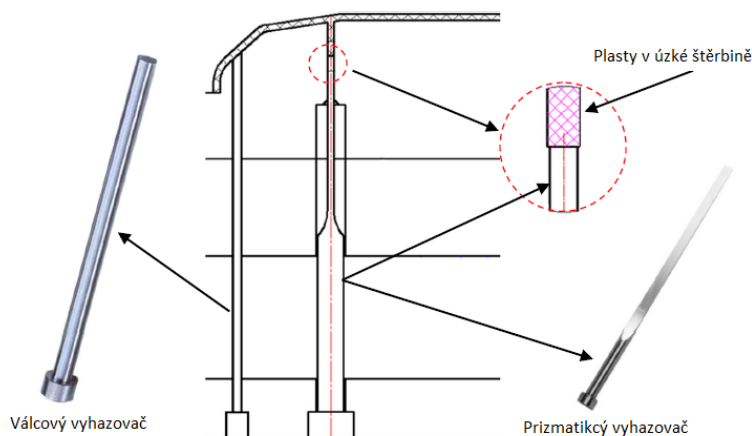
Obrázek 11 Princip horkého vtoku

(zdroj: [13])

3.2 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je odpovědný za odstranění vyrobených částí z formy po jejím otevření. I když se to může jevit jako jednoduchá funkce, složitost vyhazovacího systému se může výrazně lišit v závislosti na požadavcích dané aplikace. Mnoho faktorů musí být zohledněno, včetně potřeby více os pohybu, velikosti a rozložení vyhazovacích sil a dalších aspektů.[14]

Před zahájením analýzy a návrhu vyhazovacího systému je nejprve poskytnut přehled o jeho funkci. Plastové výrobky mají tendenci se během chlazení smršťovat a obvykle zůstávají na jádrech formy po jejím otevření. Proto jsou potřebné mechanismy, které části posunou z formy během vyhazovací fáze. I když je tato základní funkce snadno pochopena, existuje několik souvisejících návrhových cílů, které by měly být splněny v rámci návrhu vyhazovacího systému.[14]

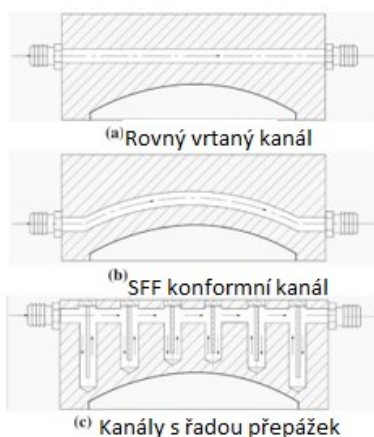


Obrázek 12 Náskres konstrukce vyhazovacího kolíku

(zdroj: [15])

3.3 Temperace formy

Chladicí systém hraje klíčovou roli v ekonomice a provozu navržené formy, přesto patří k nejméně propracovaným systémům ve vstřikovacích formách. Nedostatečné inženýrství může pramenit z toho, že rozložení teploty během vstřikování není tak snadno viditelné jako vady související s tokem materiálu. Nesprávně navržené chladicí systémy často vedou k minimálně dvěma nežádoucím následkům. Zaprvé, doby chlazení a cykly jsou mnohem delší, než by mohly být. Zadruhé, v rámci formy se objevují značné teplotní rozdíly, což způsobuje nerovnoměrnou smršťitelnost a deformace výrobků. Aby chladicí systémy pracovaly efektivně, je nezbytné je pečlivě navrhout tak, aby regulovaly tok tepla v formě bez zbytečných nákladů nebo složitosti.[14]



Obrázek 13 Typy chladících kanálů

(zdroj: [16])

Tabulka 1 Doporučené teploty taveniny a vstřikovací formy

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
PBT	230-270	30-90
POM	180-230	40-120
PEEK	380-430	160-220
ABS	190-270	50-80
PS	170-270	20-80
PC	270-320	85-120
PMMA	200-360	30-80
SAN	200-270	50-80
PVC	190-220	20-70

(zdroj: [2])

3.4 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění se obvykle považuje za méně podstatný prvek návrhu formy a často se opomíjí, dokud testy vstřikování neodhalí problémy spojené s odvzdušněním. Pochopení funkce a významu odvzdušňovacích otvorů může konstruktéři formy pomoci navrhnout potřebné otvory a zajistit, že forma bude schopna přidat další otvory, pokud to bude potřeba.[14]

Hlavní úlohou odvzdušnění je uvolnit vzduch v formě, který je vytlačován vysoce tlakovanou plastovou taveninou. Pokud není vzduch z dutiny během plnění odstraněn, může to vést k různým vadám.[14]

Prvním je vznik tlakových kapes, které brání toku taveniny a vedou k nedokončenému výlisku. Druhým problémem je možnost vzplanutí stlačeného plynu v přítomnosti taveniny, což způsobuje „Dieselův efekt“ a „spálené místa“, které mohou vyžadovat odmítnutí

výrobků, pokud se objeví na esteticky důležitých plochách. Třetím problémem je, že plyn mezi sbíhajícími se frontami taveniny může oslabit pevnost dílu a vytvořit vruby, které zvyšují koncentraci napětí během používání.[14]

3.5 Materiály pro vstřikovací formy

Nástrojařské oceli pro vstřikování, jako jsou 1.2344 nebo 1.2311, jsou materiály navrženy tak, aby odolávaly extrémním podmínkám vstřikovacího procesu. Tyto oceli kombinují vysokou pevnost, houževnatost, odolnost proti opotřebení a tepelnou stabilitu, což zajišťuje dlouhou životnost vstřikovacích forem.[17]

Složení těchto ocelí, které obsahuje legující prvky jako chrom, molybden a vanad, je klíčové pro dosažení požadovaných mechanických vlastností, jako je tvrdost a odolnost vůči vysokým teplotám a tlakům. Mikrostruktura ocelí, ovlivněná tepelným zpracováním, má zásadní vliv na jejich výkon.[17]

Při výběru vhodné oceli pro konkrétní aplikaci je nutné zvážit faktory jako typ plastu, očekávaný objem výroby a životnost nástroje. Tyto oceli jsou rozhodující pro úspěch procesu vstřikování, protože musí zvládnout nároky spojené s vysokým tlakem, teplotou a opotřebením.[17]

Nízkolegované nástrojové oceli se často používají při výrobě vstřikovacích forem díky jejich vynikající kombinaci houževnatosti a odolnosti proti opotřebení. Tyto oceli obsahují nízké procento legujících prvků, obvykle méně než 5 %, jako je chrom, molybden a vanad. Obsah uhlíku v těchto ocelích se pohybuje mezi 0,3 % a 0,6 % a často jsou tepelně zpracovávány, aby se dosáhlo požadovaných vlastností.[17]

Vysoce legované nástrojové oceli jsou navrženy tak, aby poskytovaly výjimečnou odolnost proti opotřebení, houževnatost a odolnost vůči korozi. Tyto oceli obsahují vyšší podíl legujících prvků než nízkolegované nástrojové oceli, často více než 5 %. Mezi běžně používané legující prvky patří chrom, molybden, vanad a wolfram. Obsah uhlíku ve vysoce legovaných nástrojových ocelích se pohybuje mezi 0,7 % a 1,5 %, a obvykle jsou tepelně zpracovávány, aby se dosáhlo požadovaných vlastností.[17]

Rychlořezné oceli se používají při výrobě vstřikovacích forem, které vyžadují vysoké řezné rychlosti a teploty, například pro zpracování termosetových plastů. Tyto nástrojové oceli obvykle obsahují vysoký podíl uhlíku, wolframu, molybdenu a chromu. Obsah uhlíku se pohybuje mezi 0,8 % a 1,5 %, zatímco legující prvky jsou zastoupeny v množství 7 % až

20 %. Rychlořezné oceli jsou tepelně zpracovávány, aby získaly požadované vlastnosti, jako je vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení a houževnatost.[17]

Nástrojové oceli pro práci za tepla jsou navrženy tak, aby odolávaly vysokým teplotám a tlakům při vstřikovacím lití. Tyto oceli obvykle obsahují vysoký podíl chromu, molybdenu a vanadu, spolu s dalšími legujícími prvky, jako jsou wolfram, kobalt a nikl. Obsah uhlíku se pohybuje mezi 0,4 % a 1,4 %. Tepelné zpracování zajišťuje požadované vlastnosti, jako jsou vysoká tvrdost, houževnatost a tepelná stabilita.[17]

Nerezové oceli jsou skupinou korozivzdorných ocelí běžně používaných při výrobě vstřikovacích forem. Obsahují minimálně 10,5 % chromu, který zajišťuje vynikající odolnost vůči korozi. Dále mohou obsahovat různé množství legujících prvků, jako jsou nikl a molybden, které zlepšují jejich mechanické vlastnosti. Nerezové oceli jsou dostupné v různých třídách, z nichž každá nabízí specifickou kombinaci vlastností, a často se tepelně zpracovávají pro zvýšení pevnosti a houževnatosti.[17]

3.6 Násobnost

Násobnost označuje počet výlisků vyrobených během jednoho cyklu vstřikovací formy. Formy s jednonásobností se využívají hlavně pro větší výrobky, zatímco pro sériovou výrobu se z ekonomického hlediska preferují formy vícenásobné. Nejčastější násobnosti forem jsou 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96 a 128. Použití jiných hodnot mimo tuto sérii může být problematické, protože je složité je efektivně rozvrhnout do kruhového nebo obdélníkového uspořádání. Je třeba mít na paměti, že například forma se čtyřnásobností dosahuje čtyřnásobné produktivity oproti jednonásobné formě, avšak zároveň se zvyšuje její cena, rozměry, technická složitost, nároky na plastikační jednotku a požadovaná uzavírací síla. Se vzrůstající násobností formy zároveň klesá variabilita použitelných strojů a roste jejich hodinová provozní sazba.[18]

4 NORMALIZOVANÉ SOUČÁSTI

4.1 Meusburger

Meusburger je rakouská firma, která se specializuje na výrobu normalií pro formy a nástroje. Jsou vyráběny přesně definované, vysoce kvalitní standardní díly, jako jsou základové desky, vodítka, šrouby, ložiska a další komponenty. Společnost je známá svou precizností, spolehlivostí a dlouhou životností produktů, které jsou navrženy tak, aby usnadnily a urychlily procesy výroby a montáže nástrojů.[19]

4.2 HASCO

HASCO je renomovaná německá společnost, která je známá výrobou normalií pro nástroje, formy a strojní zařízení. Je nabízen široký sortiment produktů, včetně vodítek, ložisek, vtokových systémů, základových desek a dalších komponentů, které jsou navrženy tak, aby zjednodušily konstrukci a výrobu nástrojů. Produkty této společnosti jsou vysoce kvalitní, flexibilní a precizní. Důraz je kladen na inovace a efektivitu v oblasti standardizovaných komponentů pro průmyslové aplikace.[20]

4.3 KNARR

Knarr je německý výrobce normalií, který se zaměřuje na poskytování vysoce kvalitních standardních komponentů pro nástroje, formy a výrobní zařízení. Nabízeny jsou produkty jako vedení, desky, šrouby, klouby a další komponenty. Produkty společnosti Knarr jsou ceněny pro svou inovativnost, preciznost a spolehlivost, přičemž je kladen důraz na to, aby splňovaly vysoké nároky moderního průmyslu.[21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zásady pro vypracování bakalářské práce.

- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Připravit 3D model vyráběné součásti.
- Provést konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy pro výrobu zadané plastové součásti.
- Nakreslit výkres 2D sestavy vstřikovací formy.

Literární studie se zaměřuje na problematiku polymerních materiálů, zejména z hlediska jejich fyzikálních a mechanických vlastností relevantních pro vstřikování. Dále je pozornost věnována samotnému procesu vstřikování plastů a konstrukci vstřikovacího stroje. Závěrečná část teoretické studie se podrobně věnuje konstrukci vstřikovací formy, jejím základním částem a principům návrhu.

Praktická část bakalářské práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro plastovou ochrannou krytku konektoru. V rámci této části byl nejprve vytvořen 3D model ochranné krytky, který slouží jako výchozí prvek pro konstrukční návrh vstřikovací formy. Pro zhotovení návrhu byl využit CAD software CATIA V5-6R2020, konkrétně moduly Part Design a Assembly Design. Konstrukce formy byla navržena s ohledem na technologická specifika vstřikování plastů, požadavky na geometrii dílu a principy popsány v teoretické části. Při návrhu byly zvoleny standardizované součásti z katalogu MEUSBURGER a KNARR, které byly integrovány do sestavy formy. Výsledkem praktické části je kompletní 3D model vstřikovací formy zahrnující všechny hlavní části – dělicí rovinu, vtokový systém, chladičový systém, vyhazovací mechanismus a odvzdušnění formy. Součástí je rovněž výkresová dokumentace.

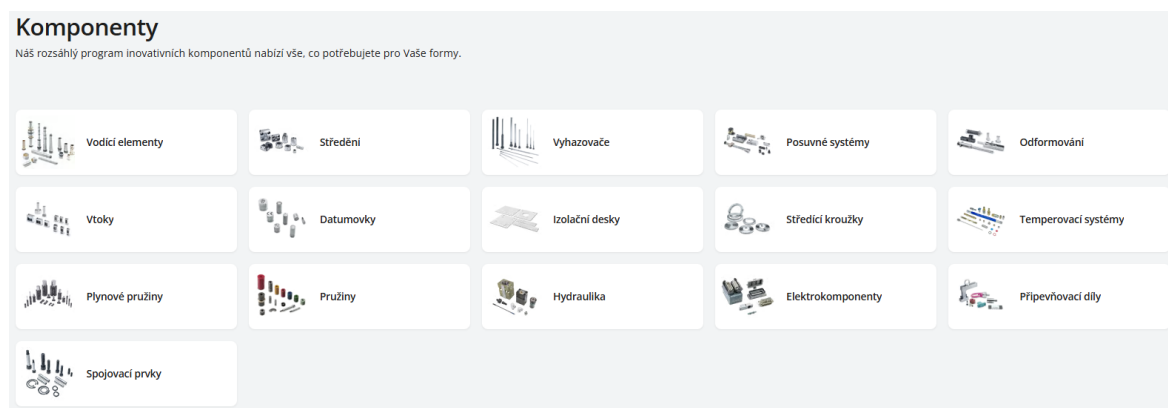
6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1 CATIA V5-6R2020

Program CATIA V5-6R2020 je využíván k navrhování, modelování a simulaci výrobků v různých průmyslových odvětvích. Je vyvíjen firmou Dassault Systèmes a je považován za jeden z nejkompaktnějších CAD systémů. Umožňuje, aby byly vytvářeny 3D modely, analyzovány konstrukční prvky a optimalizovány výrobní procesy. Ve firmách je často používán pro vývoj v automobilovém, leteckém i strojírenském průmyslu.

6.2 MEUSBURGER

MEUSBURGER je využíván jako přední dodavatel normalizovaných dílů pro nástrojařský, formotvorný a strojírenský průmysl. Sortiment je využíván pro standardizaci a zefektivnění konstrukce a výroby forem a nástrojů. Jsou vyráběny například základní desky forem, vodící prvky, vyhazovače, distanční sloupky a regulační jednotky.

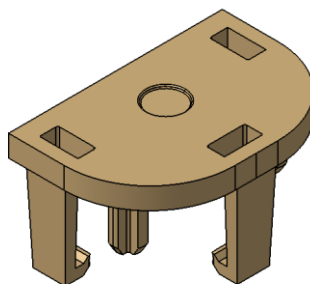


Obrázek 14 Online katalog MEUSBURGER

(zdroj: [19])

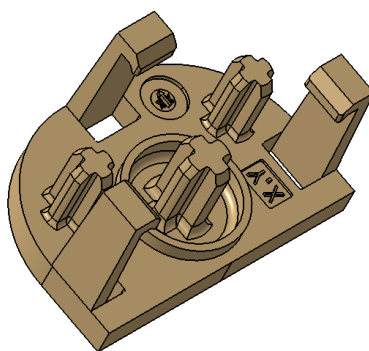
7 VÝROBEK

Zadaným vstřikovaným výrobkem je drobný plastový díl, sloužící jako ochranná krytka konektoru v rámci kabelového svazku v motorovém prostoru automobilu. Jeho rozměry jsou: výška 10 mm, šířka 13,2 mm a délka 20 mm. Celkový objem výrobku je 0,611 cm³.



Obrázek 15 Dolní strana výrobku

(zdroj: vlastní)



Obrázek 16 Vrchní strana výrobku

(zdroj: vlastní)

7.1 Materiál výrobku

Pro ochrannou krytku konektoru, která bude umístěna v motorovém prostoru automobilu, byl zvolen materiál PA66 + GF30, konkrétně typ A3HG6 HR BK23591. Tento polymerní materiál, vyztužený skleněnými vlákny, byl zvolen díky své vynikající odolnosti proti hydrolyze, což z něj činí optimální volbu pro použití v náročných podmínkách automobilového průmyslu. S přítomností 30 % skelného vlákna nabízí materiál vysokou mechanickou pevnost, zvýšenou tuhost a rozměrovou stabilitu, což je klíčové pro ochranu konektoru v motorovém prostoru, kde je součást vystavena vibracím, teplotním změnám a chemickým vlivům. Tento materiál je tedy zárukou dlouhé životnosti a spolehlivosti ochranné krytky v automobilovém prostředí.[22]

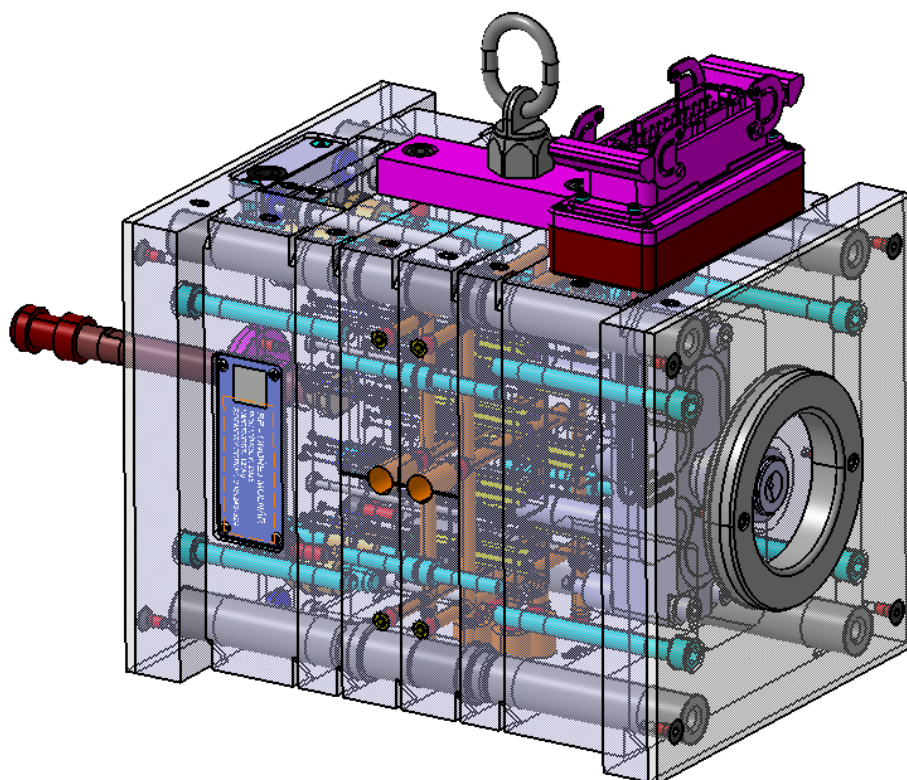
Tabulka 2 Fyzikální vlastnosti materiálu

(zdroj: [22])

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Hustota	1370	kg/m ³
Smrštění	0,5-1,2	%
Index toku taveniny (při 275°C a 5 kg)	20	cm ³ /10 min

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce vstřikovací formy byla realizována podle zásad uvedených v literární rešerši. Klíčovými požadavky byly co nejmenší rozměry formy, její jednoduchost a ekonomická efektivita. Pro tvorbu modelu formy byl využit katalog normálií od firmy Meusburger. Model formy byl vytvořen v softwaru CATIA, přičemž byly použity moduly Part Design a Assembly Design.

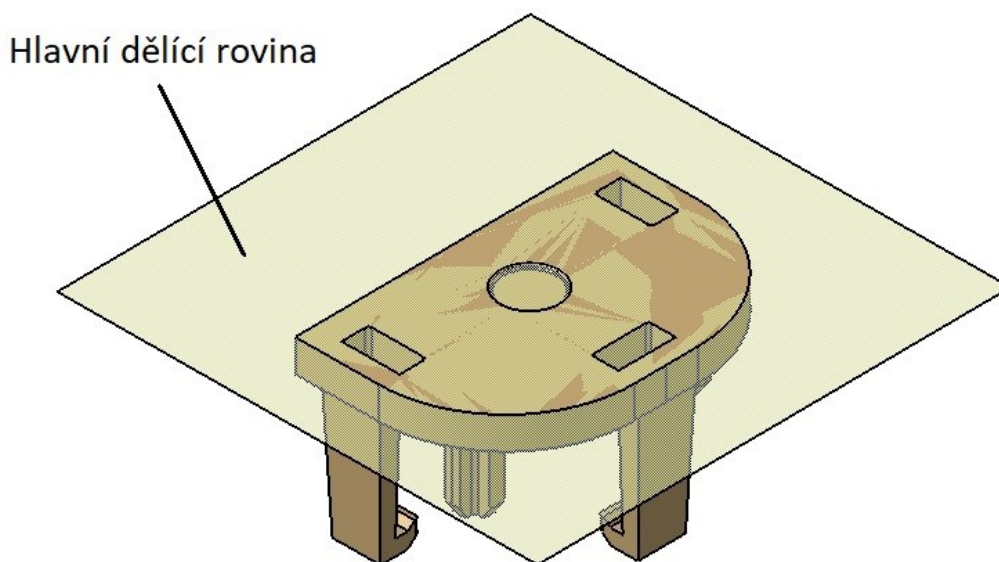


Obrázek 17 Vstřikovací forma

(zdroj: vlastní)

8.1 Dělicí rovina

Vstřikovací forma pro ochrannou krytku konektoru je navržena s jedinou dělicí rovinou, která je klíčová pro správné oddělení jednotlivých částí formy po vstřikování. Dělicí rovina je umístěna tak, aby umožnila optimální vyjímání výrobku, zároveň minimalizovala povrchové vady a usnadnila výrobu formy. Sofistikovaná dělicí rovina byla zvolena z důvodu optimální konstrukční jednoduchosti a ekonomičnosti výroby. Použití jediné dělicí roviny výrazně zjednodušuje návrh formy a zkracuje výrobní čas, což přispívá k nižším nákladům na výrobu. Tento přístup také zajišťuje snadnější vyjímání výrobku a lepší kontrolu nad kvalitou finálního produktu.

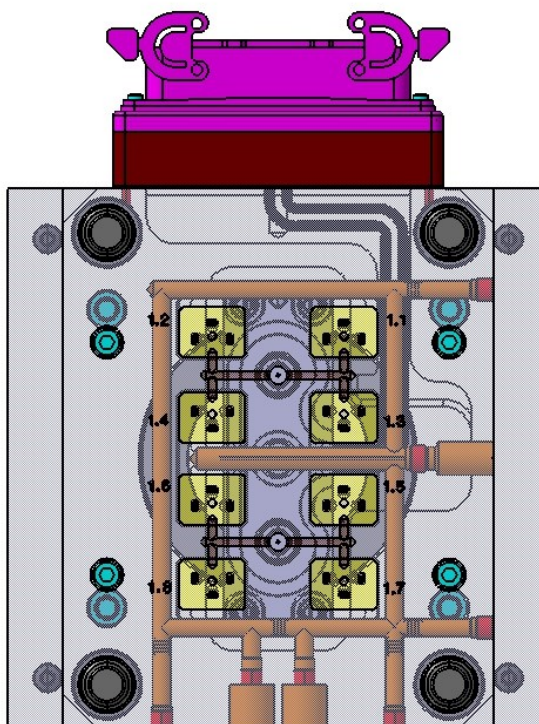


Obrázek 18 Návrh hlavní dělicí roviny

(zdroj: vlastní)

8.2 Volba násobnosti formy

Volba násobnosti formy je klíčová pro efektivitu výroby, protože určuje, kolik identických výrobků může být vyráběno v jednom cyklu. Pro navrhovanou formu ochranné krytky konektoru byla zadána 8 - násobná forma, což znamená, že v každém vstřikovacím cyklu budou vyrobeny 8 identických výrobků. Tento přístup výrazně zvyšuje produktivitu výroby a zároveň optimalizuje náklady na výrobu, protože větší počet výrobků na jeden cyklus snižuje cenu na jednotkový výrobek.

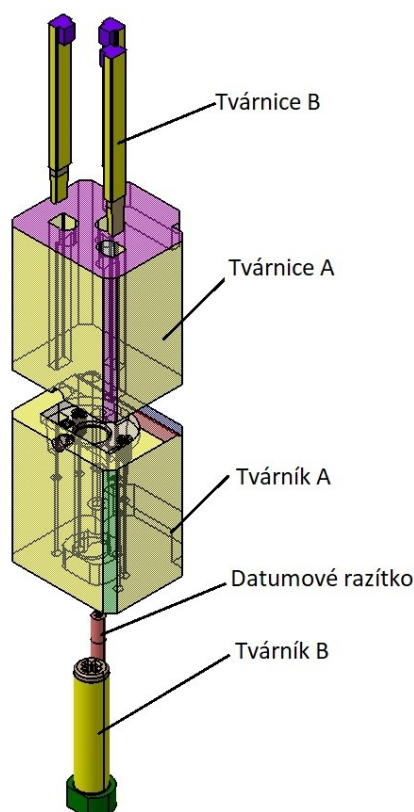


Obrázek 19 Násobnost formy

(zdroj: vlastní)

8.3 Tvarové vložky

Tvarové vložky jsou důležitou součástí vstřikovací formy, které slouží k vytvoření specifických tvarových detailů na výrobku. V případě navržené formy pro ochrannou krytku konektoru byly tvarové vložky využity k dosažení požadované geometrie a funkčních prvků výrobku, jako jsou výstupky, zaoblení nebo prohlubně. Vložky byly navrženy s ohledem na zjednodušení výroby a zajištění vysoké přesnosti výsledného tvaru. Při konstrukci bylo rovněž zohledněno technologické smrštění materiálu, které činí 0,6 %, a bylo promítnuto do tvaru dutiny tak, aby po ochlazení výrobek odpovídal požadovaným rozměrům. Tvarové vložky byly vyrobeny z nástrojové oceli 1.2343, kalené na tvrdost 52 HRC, což zajišťuje vysokou odolnost vůči opotřebení a teplotní stabilitu při opakovaném vstřikování. Vložky jsou navrženy jako vyměnitelné, což umožňuje jejich rychlou výměnu při opotřebení bez nutnosti zásahu do základních částí formy. Každá vložka je navíc označena identifikačním číslem, které odpovídá číslu vyznačenému na výrobku. Toto značení umožňuje zpětnou identifikaci v případě výskytu vady, což výrazně zjednodušuje dohledání a případnou výměnu konkrétní dutiny.

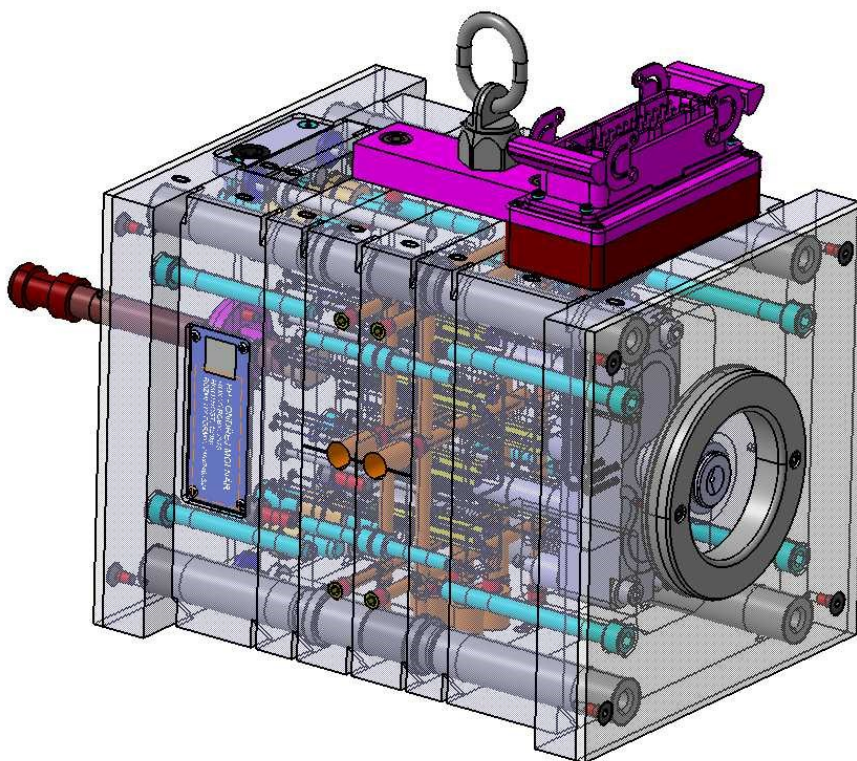


Obrázek 20 Tvarové vložky

(zdroj: vlastní)

8.4 Rám formy

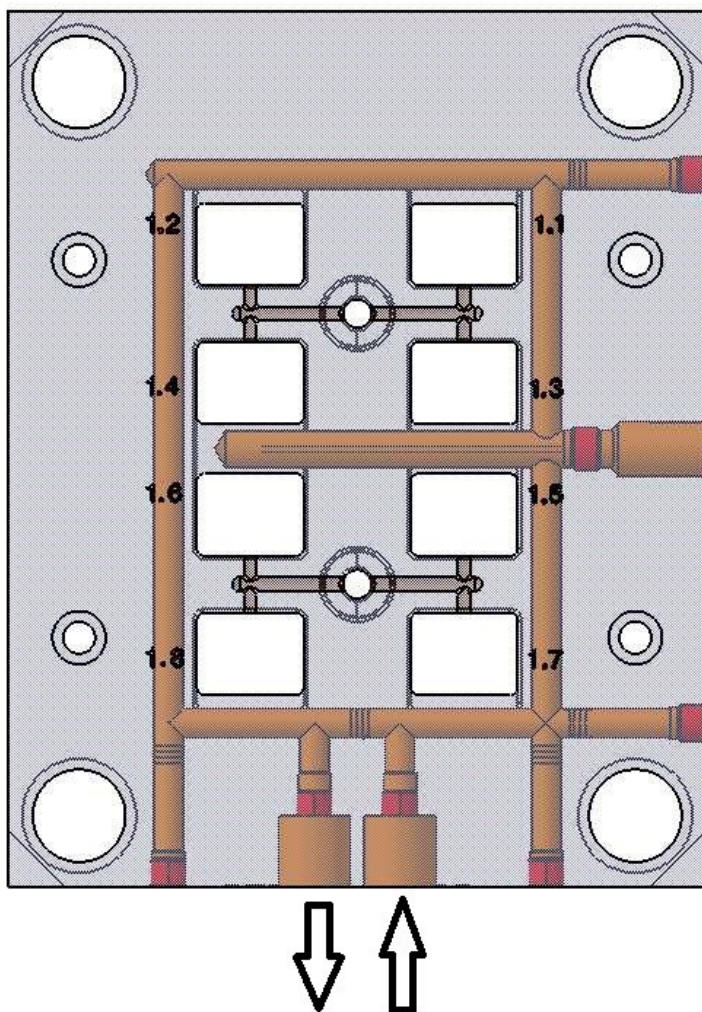
Rám formy tvoří základní konstrukci, do které jsou uchyceny všechny funkční části formy. Pro formu na ochrannou krytku konektoru byl použit standardizovaný rám z katalogu MEUSBURGER, který je složen z osmi desek. Upínací desky mají rozměry 246×246 mm, ostatní desky pak 246×196 mm. Všechny desky mají vyfrézovány trojúhelníkové drážky, které usnadňují operátorovi demontáž formy při údržbě nebo opravě.



Obrázek 21 Vstřikovací forma

8.5 Temperační systém

Teplotní pole formy je klíčové pro dosažení optimálního a rovnoměrného ochlazení během vstřikovacího cyklu. Pro tuto formu byl navržen temperační systém s chladicí přepážkou, která pochází od společnosti MEUSBURGER. Tato přepážka umožňuje efektivní rozdělení chladicí kapaliny po celém povrchu formy, čímž zajišťuje rovnoměrné ochlazení a minimalizuje riziko tepelných deformací. Průměr okruhu chladicího systému je 8 mm, což zajišťuje optimální průtok chladicí kapaliny. Kromě přepážky jsou v systému také použity ucpávky a zátky, které zabraňují úniku chladicí kapaliny a zajišťují stabilitu systému. Tento temperační systém přispívá k rychlejšímu a efektivnějšímu ochlazení formy, což vede ke zkrácení doby cyklu a zvýšení celkové efektivity výroby.



Obrázek 22 Temperační okruh

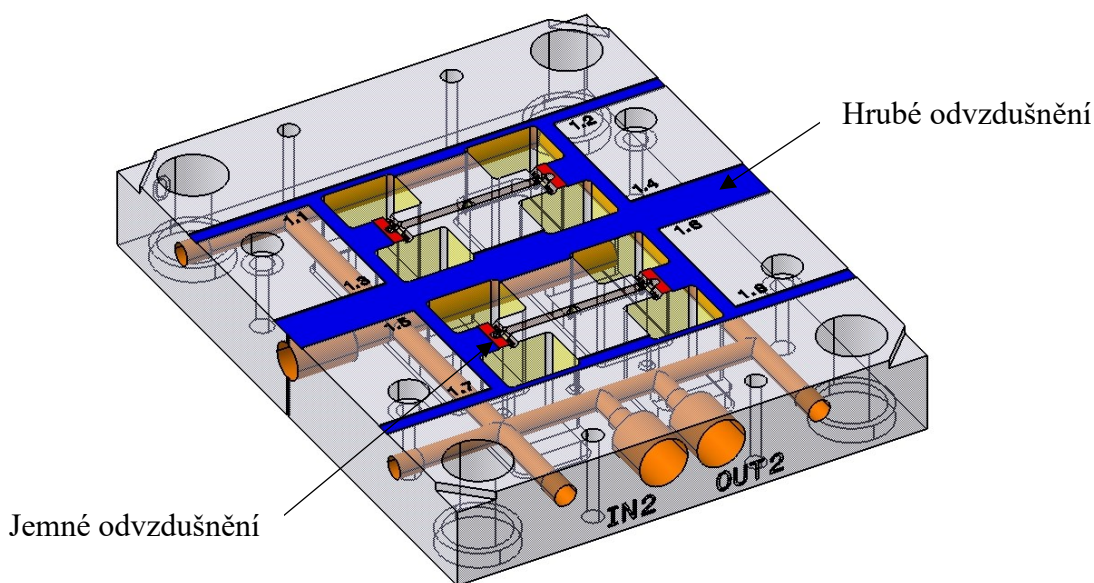
(zdroj: vlastní)

8.6 Odvzdušnění

Odvzdušnění formy je navrženo tak, aby bylo zajištěno bezproblémové odvádění vzduchu a těkavých plynů z dutiny formy během vstřikování. Správné odvzdušnění je nezbytné pro eliminaci vad výstřiků, jako jsou spáleniny, vzduchové bubliny, nedostříky nebo nevyplnění tenkostěnných oblastí. V navržené formě je odvzdušnění realizováno prostřednictvím odvzdušňovacích kanálků, které jsou součástí dělicí roviny formy.

Geometrie odvzdušnění je řešena jako dvoustupňová. První část, která přímo navazuje na dutinu formy, má hloubku 0,02 mm. Tato velikost umožňuje efektivní únik vzduchu, ale zároveň brání vniknutí roztavené plastové taveniny do odvzdušňovacího prostoru. Na tuto část navazuje druhý úsek s hloubkou 0,5 mm, který slouží k bezpečnému odvedení vzduchu mimo formu. Takto navržený tvar zajišťuje správnou funkci bez zpětného tlaku a snižuje riziko zanášení nebo poškození formy.

Odvzdušňovací kanálky jsou rozmístěny v místech, kde končí tok taveniny – tedy tam, kde je nejvyšší riziko zachycení vzduchu. Jejich přesná poloha je patrná z přiloženého 3D modelu formy, kde jsou znázorněny červenou a modrou barvou. Díky tomuto řešení je zajištěna nejen kvalita výstřiků, ale i snadná údržba formy, protože odvzdušňovací plochy lze v případě potřeby jednoduše obnovit přeleštěním.

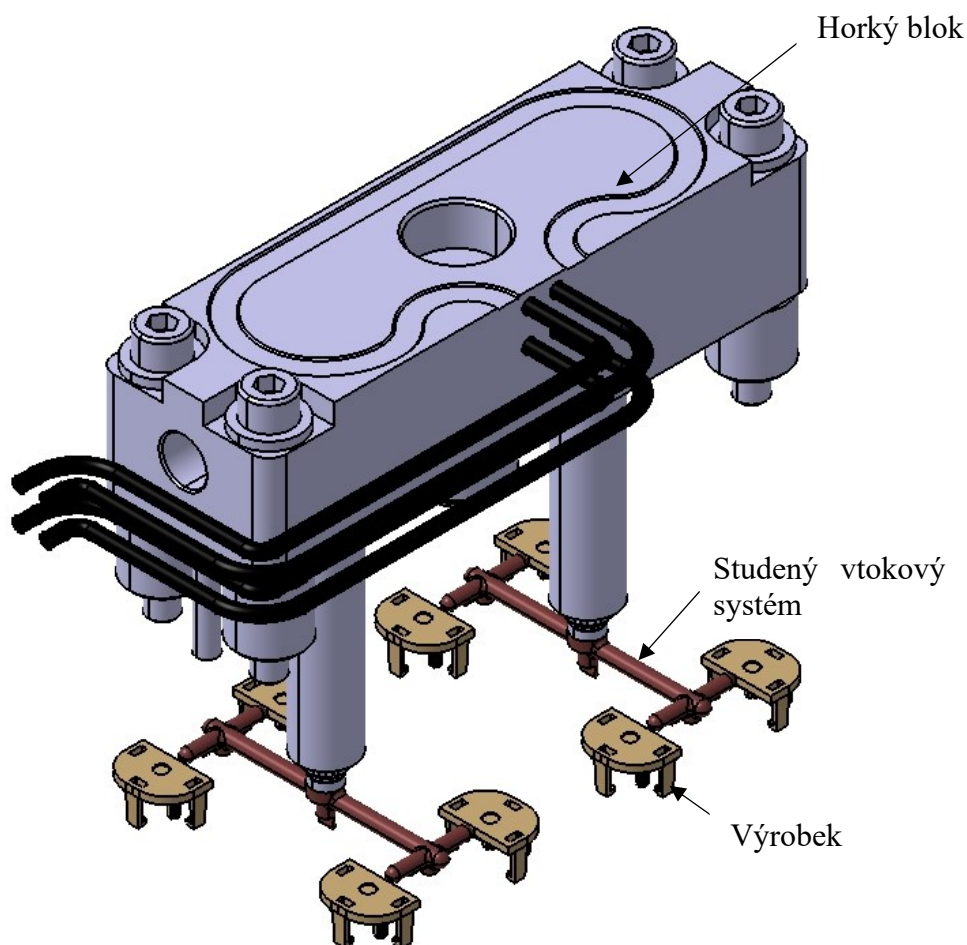


Obrázek 23 Odvzdušnění

(zdroj: vlastní)

8.7 Vtokový systém

U této formy byl zadán kombinovaný vtokový systém, který využívá horkou trysku pro přívod roztaveného plastu do formy a následný studený rozvod ke dvěma skupinám po čtyřech dutinách. Celkem se jedná o osmidutinovou formu, která je rozdělena do dvou symetrických větví, což usnadňuje vyvážení plnění a zkracuje délku jednotlivých vtokových kanálů.

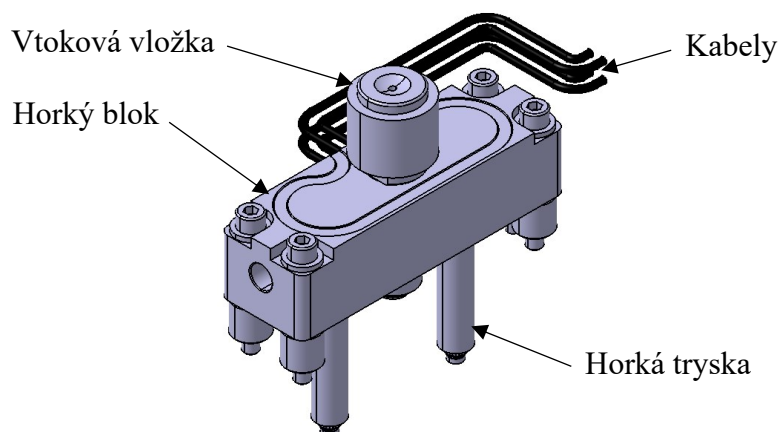


Obrázek 24 Kombinovaný vtokový systém

(zdroj: vlastní)

8.7.1 Horký vtokový systém

Tavenina je do formy přiváděna přes vyhřívanou centrální trysku systému Meusburger o průměru 1,5 mm, která ústí do rozdělovacího horkého kanálu umístěného v rozvodném bloku typu EH6000. Ten je konstruován tak, aby rovnoměrně rozdělil plast do dvou hlavních větví, přičemž každá větev je určena pro čtyři dutiny. Horký rozvod zajišťuje konstantní teplotu taveniny v hlavním kanálu a eliminuje vznik vtokového zbytku v této části formy.

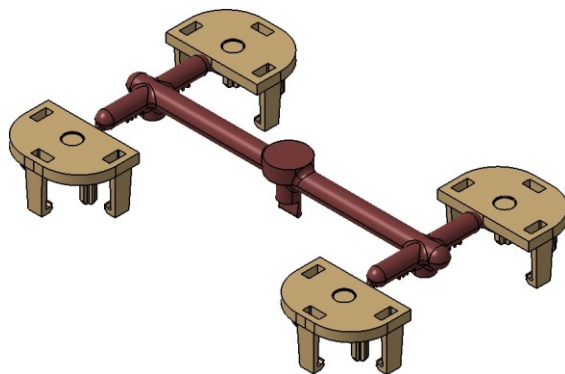


Obrázek 25 Horký blok

(zdroj: vlastní)

8.7.2 Studený vtokový systém

Z horkého kanálu je plast dále veden do dvou čtyřnásobných větví studeného vtoku. Každá větev obsahuje čtyři samostatné kanály, které vedou k jednotlivým dutinám, přičemž průměr hlavního kanálu je 4 mm a délka vtokového ústí je 66 mm. Pro rozvod plastu do jednotlivých dutin se používají kanály s průměrem 3,5 mm a délkou 10 mm. Na konci těchto kanálů je umístěn tunelový vtok, který zajišťuje vstup taveniny do formy. Po ztuhnutí materiálu vzniká větší objem vtokového systému, který je po otevření formy odebírán spolu s výstřikem. I přes vyšší hmotnost zbytku bylo toto řešení zvoleno jako kompromis mezi plně horkým systémem a čistě studeným rozvodem, zejména s ohledem na spolehlivost a ekonomické náklady.



Obrázek 26 Vtokový zbytek společně s výrobky

(zdroj: vlastní)

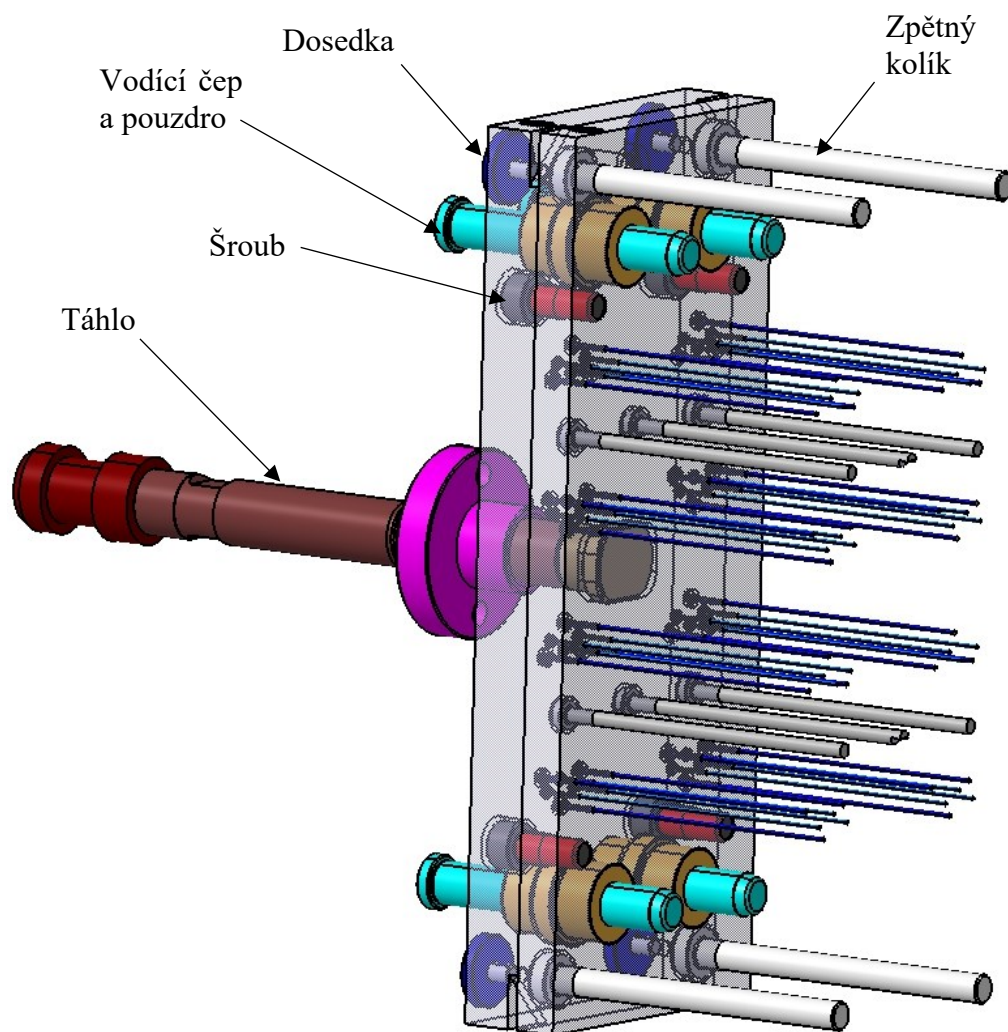
8.8 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém formy je navržen tak, aby umožnil spolehlivé a rovnoměrné odebrání hotových výrobků z dutiny formy po jejím otevření. Konstrukčně se jedná o běžné uspořádání s centrálním vyhazovacím ústrojím, kde je pohyb vyhazovačů zajištěn prostřednictvím tlačné tyče (hnědě znázorněná část na obrázku), která je spojena s vyhazovacím mechanismem vstřikovacího stroje.

Použita je standardní vyhazovací deska, ve které jsou vedeny jednotlivé vyhazovací čepy. Tyto čepy procházejí vodicí deskou a zajišťují přímý kontakt s výrobkem ve formové dutině. Jsou rovnoměrně rozmístěny podle tvaru výrobku tak, aby nedocházelo k jeho deformaci nebo zachycení při vyhazování. Použity jsou válcové vyhazovací čepy standardizovaných rozměrů dle katalogu MEUSBURGER, což zajišťuje snadnou výrobu, údržbu i případnou výměnu.

Přesné vedení vyhazovací jednotky zajišťují vodicí sloupky a pouzdra (světle modře znázorněné na obrázku), které zabráňují vychýlení nebo zkřížení během pohybu. Pro návrat vyhazovací desky zpět do výchozí polohy po vyhození výrobků je využit pohyb vyhazovací jednotky vstřikovacího stroje, která působí přes tlačnou tyč. Tato tyč je pevně spojena s vyhazovací deskou formy a její vratný pohyb je zajištěn mechanicky při zavírání nástroje. Na jejím předním konci je umístěn unašeč s dosedací plochou, která přenáší pohyb ze stroje přímo na vyhazovací mechanismus formy.

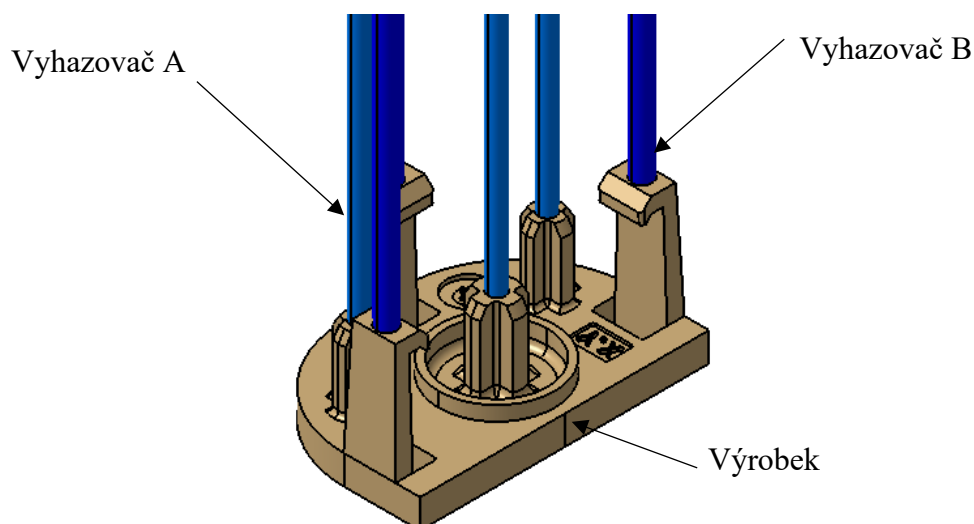
Navržené řešení zajišťuje plynulý a spolehlivý chod vyhazovacího procesu, který je plně automatický a nevyžaduje zásah obsluhy. Celý systém je konstruován s ohledem na dlouhou životnost, opakovatelnost a snadnou údržbu.



Obrázek 27 Vyhazovací systém

(zdroj: vlastní)

Vyhazovače jsou rozmístěny přímo na funkční ploše výrobku tak, aby zajistily rovnoměrné a bezpečné oddělení výrobku od formy po otevření nástroje. Celkem je použito 6 válcových vyhazovačů – konkrétně 3 ks vyhazovače typu A o průměru 1,2 mm a délce 89 mm a 3 ks vyhazovače typu B o průměru 1,4 mm a délce 86 mm. Tyto vyhazovače působí na zadní – nevzhledovou – část výrobku, čímž se předchází vzniku otlaků a deformací na pohledových plochách. Kromě toho jsou samostatné vyhazovače umístěny také ve vtoku, kde jsou osazeny celkem tři kusy, které zajišťují spolehlivé uvolnění vtoku po ztuhnutí taveniny.

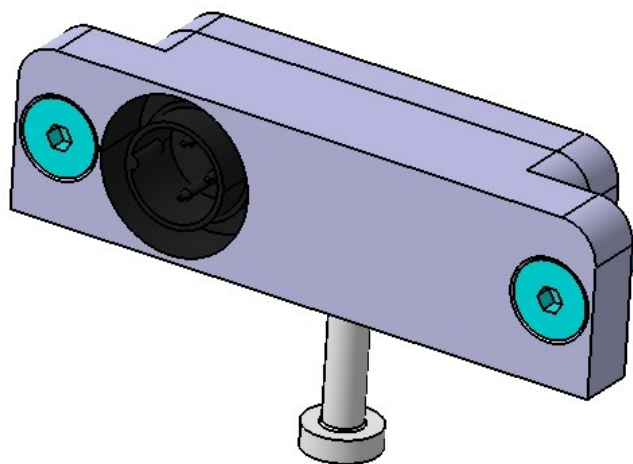


Obrázek 28 Rozmístění vyhazovačů na výrobku

(zdroj: vlastní)

Součástí formy je koncový spínač od firmy MEUSBURGER, který slouží ke kontrole správné polohy vyhazovačů. Spínač zajišťuje, že se forma uzavře pouze tehdy, když jsou vyhazovače v zasunuté poloze. Tím se minimalizuje riziko poškození formy nebo vylisku a zajišťuje se bezpečný chod cyklu.

Forma je dále vybavena bezpečnostními pojistnými kolíky, které mechanicky zabráňují nechtěnému pohybu vyhazovací desky během uzavírání formy. Slouží jako primární ochrana formy. Koncový spínač pak slouží jako doplňkové bezpečnostní jištění, které elektronicky ověřuje, že je vše ve správné poloze i v případě selhání mechanického zajištění.



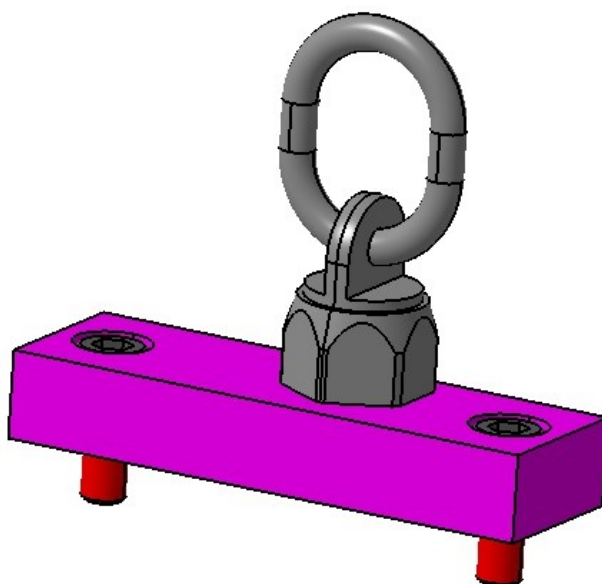
Obrázek 29 Koncový spínač

(zdroj: vlastní)

8.9 Manipulace

Při manipulaci s formou je kladen důraz na bezpečnost a správné technologické postupy, aby nedošlo k poškození formy ani ohrožení obsluhy. Pro přemísťování formy se používá traverza s okem od firmy MEUSBURGER, která má nosnost až 450 kg. Tato traverza zajišťuje bezpečné a stabilní zavěšení formy při použití jeřábu. Hmotnost samotné formy je přibližně 130 kg, což zajišťuje dostatečnou rezervu nosnosti a bezpečný provoz.

Před manipulací je vždy nutné zkontrolovat, zda je forma správně uzavřená a zda jsou všechny pohyblivé části, včetně vyhazovačů, zajištěny v základní poloze. Při skladování nebo přepravě je forma opatřena ochrannými kryty a fixována proti nechtěnému pohybu. Správná orientace formy při upínání do vstřikovacího stroje je klíčová pro bezproblémové zapojení všech funkčních prvků včetně chladicích okruhů, vyhazovače a koncového spínače.



Obrázek 30 Traverza s okem

(zdroj: vlastní)

9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Arburg Allrounder 320 C je všestranný vstřikovací stroj, který je vhodný pro různé aplikace. Při výběru je důležité zohlednit velikost vstřikovací jednotky podle objemu materiálu a velikosti výrobku. Tlak a rychlost vstřikování ovlivňují kvalitu produkce, zejména při použití složitějších materiálů nebo tenkostěnných výrobků. Stroj je známý svou krátkou délkou cyklu, což zvyšuje produktivitu. Je kompatibilní s automatizačními systémy, což zjednodušuje sériovou výrobu. Podporuje různé materiály, včetně termoplastů a kompozitů, a je energeticky efektivní, což pomáhá optimalizovat provozní náklady. Arburg Allrounder 320 C je vhodný pro výrobu s vysokými nároky na kvalitu a efektivitu.

Tabulka 3 Vybrané parametry stroje

Parametr	Hodnota formy	Hodnota stroje
Vzdálenost mezi vodícími sloupy [mm]	246x246	320x320
Uzavírací síla [kN]	-	500
Délka formy [mm]	324	350
Maximální hmotnost pohyblivé části [kg]	55	180
Zdvih vyhazovačů [mm]	23	125
Průměr středících kroužků [mm]	125	125
Objem vstřikované dávky [cm ³]	7,83	59

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zaměřila na návrh vstřikovací formy pro konkrétní plastový výrobek a výběr vhodného vstřikovacího stroje. Na základě zadaných požadavků a technických parametrů byl navržen ucelený koncept osmínásobné vstřikovací formy, který zohledňuje jak konstrukční, tak technologické aspekty, a využívá normalizované komponenty. Návrh byl zpracován pomocí softwaru CATIA.

V rámci návrhu byla řešena dělicí rovina, tvarové vložky, volba rámu formy, rozvod taveniny horkým a studeným systémem, vyhazování výrobků a chlazení forem. Vtokový systém je navržen jako kombinace horkého rozvodu a studeného větvení, s využitím tunelových vtoků, což představuje kompromis mezi výrobní efektivitou a ekonomickými náklady. Na základě požadavků na objem a parametry výrobku byl vybrán vstřikovací stroj Arburg Allrounder 320 C, který tyto požadavky spolehlivě splňuje.

Výsledkem práce je kompletní návrh osmínásobné vstřikovací formy včetně 3D modelu výrobku, konstrukce jednotlivých částí formy a výkresové dokumentace s kusovníkem. Navržený plastový výrobek má praktické využití v průmyslové výrobě, přičemž návrh formy umožňuje jeho sériovou produkci s ohledem na kvalitu a efektivitu. Práce je technicky realizovatelná a odpovídá běžné praxi v oblasti zpracování plastů. Všechny stanovené cíle bakalářské práce byly tímto splněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOVA, Miloš a KREBS, Josef. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro: konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Praha: Dashöfer, c1999-2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [2] BĚHÁLEK, Luboš; BRDLÍK, Pavel; BORŮVKA, Martin a LENFELDOVÁ, Irena. *Úvod do technologií zpracování plastů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. ISBN 978-80-7494-460-4.
- [3] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Verze knihy: 18. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-72-4. Dostupné také z: <https://etul.publi.cz/?book=184-technologie-vstrikovani>.
- [4] CZEPIEL, Mateusz; BAŃKOSZ, Magdalena a SOBCZAK-KUPIEC, Agnieszka. Advanced Injection Molding Methods: Review. Online. *Materials*. 2023, roč. 16, č. 17. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma16175802>. [cit. 2024-12-02].
- [5] JAROSCHEK, Christoph. *Injection Molding for Practitioners*. Hanser Publishers, 2024. ISBN 978-1-56990-178-6.
- [6] LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices*. Munich: Hanser publications, [2020]. ISBN 978-1-56990-689-7.
- [7] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Verze knihy: 17. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-69-4. Dostupné také z: <https://etul.publi.cz/?book=181-stroje-pro-zpracovani-polymernich-materialu>.
- [8] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Verze knihy: 15. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-66-3. Dostupné také z: <https://etul.publi.cz/?book=180-polymery>.
- [9] CAMPO, E. Alfredo. *The complete part design handbook for injection molding of thermoplastics*. Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-56990-375-9.
- [10] CATOEN, Bruce a REES, Herbert. *Injection mold design handbook*. Munich: Hanser, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.
- [11] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [12] SCHLUTTER, Ruben. *Injection molding simulation for beginners*. Hanser Publishers, 2023. ISBN 978-1-56990-926-3.
- [13] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. *Understanding injection molds*. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-843-3.
- [14] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering*. 3rd Edition. Hanser, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4.
- [15] WANG, Jing; LIU, Xuemin; XIA, Chunyan; SONG, Yan a LI, Zhenjie. Research on automatic generation technology of ejector pin for injection mold. Online. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020, roč. 108, č. 1-2, s. 485-498. ISSN 0268-3768. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05401-y>. [cit. 2024-12-02].
- [16] ABDELLAH EL-HADJ, Abdellah; ABD RAHIM, Shayfull Zamree; MAT SAAD, Mohd Nasir a TAN, Chye Lih. Cooling Analysis of Cylindrical Void Method for an Injection Mould in Injection Moulding Process. Online. *Arabian Journal for Science*

- and Engineering*. 2020, roč. 45, č. 7, s. 5285-5294. ISSN 2193-567X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04396-8>. [cit. 2024-12-02].
- [17] SCHLUTTER, Ruben. *Injection Mold Coating Technology*. Hanser Publishers, 2024. ISBN 978-1-56990-266-0.
- [18] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, 2002. ISBN 34-462-1659-6.
- [19] *Meusburger*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.meusburger.com>. [cit. 2024-12-02].
- [20] *HASCO*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.hasco.com/>. [cit. 2024-12-02].
- [21] *KNARR*. Online. 2024. Dostupné z: <https://knarr.com/>. [cit. 2024-12-02].
- [22] BASF. *Materiálové listy*. Online. Dostupné z: <https://www.basf.com/cz/cs>. [cit. 2025-04-25].
- [23] BEAUMONT, John P. *Návrh a řešení vtokových soustav: příručka pro úspěšné vstřikování plastů*. Brno: Jan Svoboda, 2022. ISBN 978-80-11-01188-8.
- [24] DANGEL, Rainer. *Injection moulds for beginners*. Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-631-6.
- [25] MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2011. ISBN 978-1-56990-436-7.
- [26] UNGER, Peter. *Hot Runner Technology*. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-56990-395-7.
- [27] MICHAELI, Walter; GREIF, Helmut; KRETZSCHMAR, Gernot a EHRIG, Frank. *Training in Injection Molding - A Text- and Workbook*. 2nd Edition. Munich: Hanser Publishers, 2001. ISBN 978-1-56990-302-5.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Procesní okno u technologie vstřikování.....	13
Obrázek 2 Vstřikovací cyklus.....	14
Obrázek 3 Vstřikovací stroj	15
Obrázek 4 Uzavírací jednotka.....	16
Obrázek 5 Vstřikovací jednotka.....	17
Obrázek 6 Programování vstřikovacího cyklu.....	17
Obrázek 7 Dělení polymerů podle tržního postavení.....	18
Obrázek 8 Palubní deska automobilu.....	19
Obrázek 9 Terminologie formy.....	22
Obrázek 10 Vtokový systém vícenásobné formy	23
Obrázek 11 Princip horkého vtoku	24
Obrázek 12 Návrh konstrukce vyhazovacího kolíku.....	25
Obrázek 13 Typy chladících kanálů.....	25
Obrázek 14 Online katalog MEUSBURGER	32
Obrázek 15 Dolní strana výrobku	33
Obrázek 16 Vrchní strana výrobku	33
Obrázek 17 Vstřikovací forma.....	35
Obrázek 18 Návrh hlavní dělicí roviny.....	36
Obrázek 19 Násobnost formy	37
Obrázek 20 Tvarové vložky	38
Obrázek 21 Vstřikovací forma.....	39
Obrázek 22 Temperační okruh.....	40
Obrázek 23 Odvzdušnění	41
Obrázek 24 Kombinovaný vtokový systém.....	42
Obrázek 25 Horký blok.....	43
Obrázek 26 Vtokový zbytek společně s výrobky.....	44
Obrázek 27 Vyhazovací systém.....	45
Obrázek 28 Rozmístění vyhazovačů na výrobku.....	46
Obrázek 29 Koncový spínač	46
Obrázek 30 Traverza s okem	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Doporučené teploty taveniny a vstřikovací formy.....	26
Tabulka 2 Fyzikální vlastnosti materiálu.....	34
Tabulka 3 Vybrané parametry stroje	48

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
CAD	Počítačem podporované navrhování
Cm3	Centimetr krychlový
Cm3/10 min	Tok taveniny
HRC	Tvrдость podle Rockwella
Kg	Kilogram
Kg/m3	Hustota
kN	Kilonewton
LCD	Displej z tekutých krystalů
Mm	Milimetr
MPa	Megapascal
°C	Stupeň Celsia
PC	Polykarbonát
PEEK	Polyetheretherketon
PBT	Polybutylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymethylene
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
SAN	Styrene Acrylonitrile
TPE	Termoplastické elastomery
Tzv.	Takzvaný
%	Procento

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace

Příloha P IV: CD

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

Processing Data Sheet **Ultramid®****A3HG6 HR BK23591**

11/2024

PA66-GF30
We create chemistry**Product description**

Glass fibre reinforced injection moulding grade with good resistance to hydrolysis. I.e.: for applications in automotive cooling circuit.
This product can also be offered as BMBocert™ and/or Cycyled™. Due to the Massbalance approach the product properties do not change.

Physical form and storage

The product is supplied in the form of granules with a bulk density of approx. 0.7 g/cm³. Standard packs are bag and bulk container (octagonal IBC-intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Other packaging materials and shipping in road or rail silo wagons are possible by agreement. The containers should only be opened immediately before processing or drying. To ensure that the delivered product absorbs as little moisture as possible, the containers should be stored in dry rooms and always carefully closed again after partial quantities have been withdrawn. In principle, the product can be stored for a long period of time. Containers stored in cold rooms should be equalized to ambient temperature before opening in order to avoid condensation on the granules. Regardless of the storage conditions, the product should be pre-dried according to our recommendations and the machine should preferably be loaded using a closed conveyor system.

Product safety

In case processing is done under conditions as recommended (cf. processing data sheet) melts are thermally stable and do not generate hazards by molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers the product decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. Further information is available from the safety data sheet.

Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

Ultramid® A3HG6 HR BK23591

Processing Data Sheet



We create chemistry

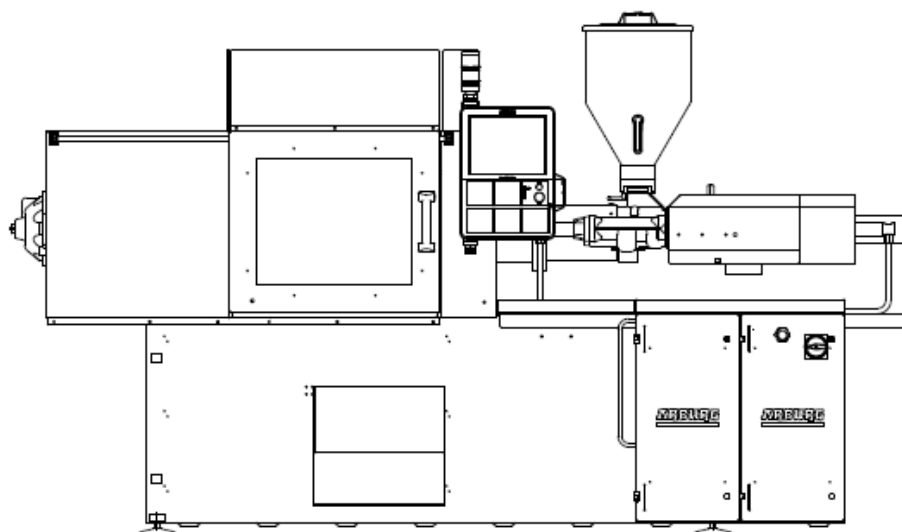
	Test method	Unit	Values
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA66-GF30
Density	ISO 1183	kg/m³	1370
Melt volume rate MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm³/10min	20
Drying			
Moisture, recommended ¹⁾	-	%	0.03 - 0.06
Dryer temperature ²⁾	-	°C	80
Drying time ³⁾	-	h	4
Moisture, max.	-	%	0.15
Injection molding			
Melt temperature range	-	°C	280 - 300
Melt temperature, optimal	-	°C	290
Mold temperature range	-	°C	80 - 90
Mold temperature, optimal	-	°C	80
Residence time, max.	-	min	10
Machine Settings			
Temperature hopper throat	-	°C	80
Cylinder temperature 1 (feed zone)	-	°C	290
Cylinder temperature 2 (compression)	-	°C	290
Cylinder temperature 3 (metering-zone, in front of the screw)	-	°C	290
Cylinder temperature 4 (nozzle)	-	°C	290
Peripheral screw speed	-	m/s	≤ 0.3
Shrinkage			
Molding shrinkage (parallel)	ISO 294-4	%	0.47
Molding shrinkage (normal)	ISO 294-4	%	1.15
Processing shrinkage, constrained, longitudinal (TM = 290 °C, TW = 80 °C) ⁴⁾	-	%	0.55

Footnotes

- Excessive drying of the granules may lead to an increase of melt viscosity during processing.
- Dry air dryer; drying time is dependent on the initial moisture content of the granules, drying temperature and the dew point of the dried air.
- In case of improper storage (e.g. open packages) drying time may have to be extended.
- Model housing with central sprue, measures of the base: 107 x 47 x 1.5 mm.

BASF SE

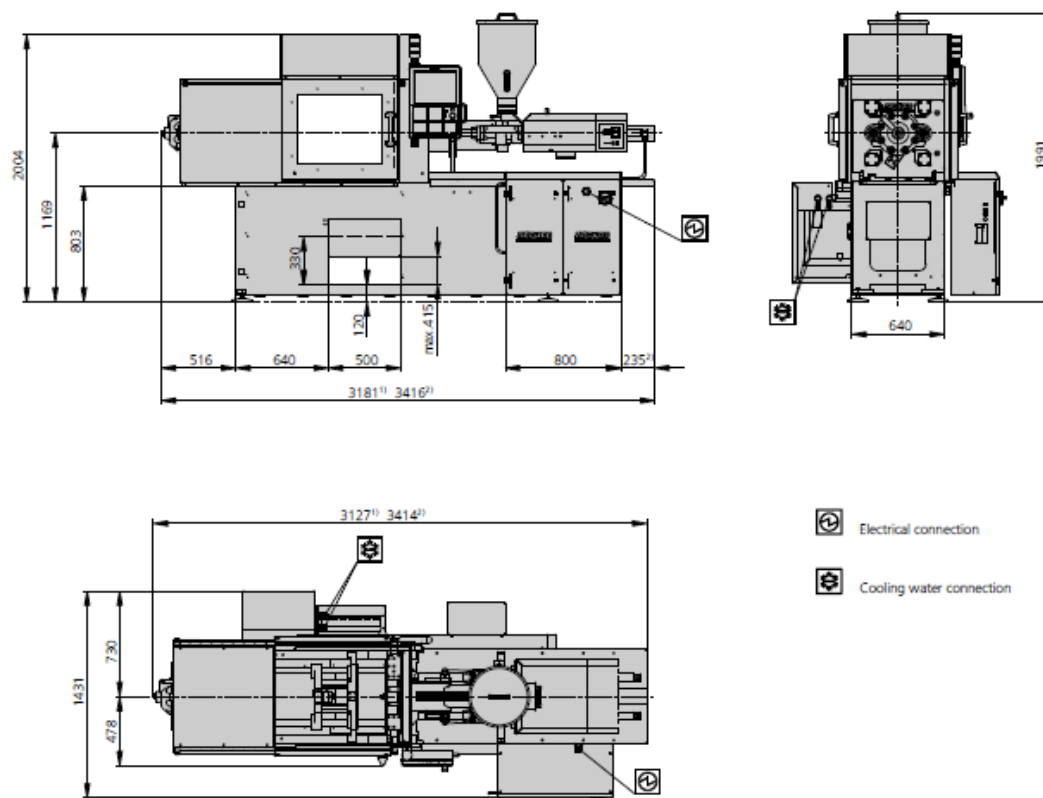
67056 Ludwigshafen, Germany

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE**ALLROUNDER 320 C**
GOLDEN EDITION

Distance between tie bars: 320 x 320 mm
Clamping force: 500 kN
Injection unit (acc. to EUROMAP): 100, 170

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 320 C GOLDEN EDITION



1) Injection unit 100
2) Injection unit 170

TECHNICAL DATA | 320 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		320 C GOLDEN EDITION
with clamping force	max. kN	500
Opening force stroke	max. kN mm	130 350
Mould height, fixed variable	min. mm	200 ---
Platen daylight fixed variable	max. mm	550 ---
Distance between tie bars (w x h)	mm	320 x 320
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	446 x 446
Weight of movable mould half	max. kg	180
Ejector force stroke	max. kN mm	30 125
Dry cycle time EUROMAP ²	min. s - mm	1,3 - 224

Injection unit		100			170		
with screw diameter	mm	20	25	30	25	30	35
Effective screw length	L/D	25	20	16,7	24	20	17
Screw stroke	max. mm	100			120		
Calculated stroke volume	max. cm ³	31	49	71	59	85	115
Shot weight	max. g PS	29	45	65	54	77	105
Material throughput	max. kg/h PS	5,5	8	9,5	10	13,5	16
	max. kg/h PA6.6	2,8	4	4,9	5	7	8
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Injection flow ¹	max. cm ³ /s	64	100	146	66	96	132
Screw circumferential speed ²	max. m/min	28	35	42	35	42	49
Screw torque	max. Nm	120	150	180	210	250	290
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	50 180			50 210		
Heating capacity zones	kW	4,9 5			9,4 5		
Feed hopper	l	50			50		

Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		100	170
Net weight of machine	kg	2250	2300
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	68 3	
Oil filling	l	165	
Drive power ²	max. kW	11	11
Electrical connection ³	kW	19	22
	Total	A	63
	Machine	A	---
	Heating	A	---
Cooling water connection	max. °C	30	
	min. Δp bar	1,5 DN 25	

Machine type

with EUROMAP size designation ¹

320 C GOLDEN EDITION 500-100 | 170

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 (xbar)

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.

