

Návrh vstřikovací formy pro technický díl

Lukáš Maňák



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:	Lukáš Maňák
Osobní číslo:	T21040
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh vstřikovací formy pro technický díl

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu.
- Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
- Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

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

Seznam doporučené literatury:

1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
2. OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6.
3. BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
4. NEUHÄUSSL, E., ZEMAN, I.: Vstřikování plastů-teorie a praxe: Základní kurs. Interní dokument fy PLAST FORM SERVICE, s.r.o., Praha, 2006.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, 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 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 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:

Tato bakalářská práce se soustředí na navrhování vstřikovací formy pro specifický plastový díl a je strukturována do dvou hlavních částí: teoretické a praktické. Teoretická část práce se zaměřuje na materiály pro vstřikování, proces vstřikování a jeho cyklus a konstrukční prvky formy. Na základě těchto poznatků byla v praktické části vytvořena vstřikovací forma. Praktická část obsahuje použité softwary, popis vstřikovaného dílu a konstrukci vstřikovací formy. Konstrukce formy i model dílu byly vytvořeny v 3D pomocí programu Catia V5-R62020, přičemž normalizované součásti pocházejí z katalogu MEUSBURGER.

Klíčová slova: Vstřikování, vstřikovací formy, 3D modelování, Catia V5-R62020

ABSTRACT:

This bachelor thesis focuses on the design of an injection mold for a specific plastic part and is structured in two main parts: theoretical and practical. The theoretical part of the thesis focuses on the materials for injection molding, the injection molding process and its cycle, and the mold design features. Based on this knowledge, an injection mold was created in the practical part. The practical part includes the software used, the description of the injection part and the design of the injection mold. The mold design and the part model were created in 3D using Catia V5-R62020, with the standardised parts coming from the MEUSBURGER catalogue.

Keywords: Injection molding, injection molds, 3D modelling, Catia V5-R62020

Tímto bych rád vyjádřil své poděkování vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Václavu Janošíkovi, Ph.D., za jeho vedení, rady a čas, který mi věnoval během vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D., za jeho odborné rady při modelování. Mé hluboké díky patří hlavně mé rodině za jejich neocenitelnou podporu po celou dobu mého studia.

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

OBSAH

I	TEORETICKÁ ČÁST	10
1	MATERIÁL PRO VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.1.1	Reaktoplasty	12
1.1.2	Termoplasty	12
1.1.3	Elastomery	12
2	PROCES VSTŘIKOVÁNÍ A JEHO CYKLUS	13
2.1	VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	13
2.1.1	P-V-T diagram.....	16
2.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
2.2.1	Vstřikovací jednotka.....	18
2.2.2	Vstřikovací šnek	18
2.2.3	Vstřikovací pracovní válec	19
2.3	UZAVÍRATELNÁ JEDNOTKA	19
2.3.1	Kloubový mechanismus	20
2.3.2	Hydraulický mechanismus	21
2.3.3	Kombinované mechanismy	22
2.4	ŘÍDICÍ JEDNOTKA.....	22
3	KONSTRUKČNÍ PRVKY FORMY	24
3.1	KONSTRUKCE VÝROBKU	24
3.1.1	Smrštění	24
3.1.2	Tloušťky stěn	25
3.1.3	Deformace, úhly a rohy a nebezpečí tvorby lunek.....	25
3.1.4	Žebra a T-profily	27
3.2	DĚLICÍ ROVINA.....	27
3.3	TEMPERAČNÍ SYTÉM.....	28
3.4	VTKOVÝ SYSTÉM	29
3.4.1	Studený vtokový systém.....	30
3.4.2	Teplý vtokový systém.....	33
3.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST	36
4	STANOVENÍ CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	37
5	POUŽITÉ SOFTWARE	38
5.1	CATIA V5-R62020	38
5.2	KNIHOVNA MEUSBURGER.....	38
6	POPIS VSTŘIKOVANÉHO DÍLU	39
6.1	MATERIÁL DÍLU	39
6.2	VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	40

7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	42
7.1	KONSTRUKCE DĚLÍCÍ ROVINY.....	43
7.1.1	Hlavní dělicí rovina	43
7.1.2	Vedlejší dělicí rovina.....	43
7.2	NÁSOBNOST FORMY	44
7.3	KONSTRUKCE TVAROVÝCH ČÁSTÍ.....	45
7.4	HYDRAULICKÉ ODFORMOVÁNÍ	46
7.5	HLAVNÍ ČÁST FORMY	47
7.5.1	Pravá část vstřikovací formy	47
7.5.2	Levá část vstřikovací formy	48
7.6	VTKOVÝ SYSTÉM	48
7.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM FORMY.....	49
7.7.1	Temperace pravé i levé strany formy	49
7.7.2	Temperace kratší tvarové vložky.....	50
7.7.3	Temperace delší tvarové vložky.....	51
7.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	52
7.9	MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ	54
	ZÁVĚR.....	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
	HSEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

V současné době dochází v průmyslové výrobě k nahrazování tradičních materiálů, jako jsou dřevo a ocel, modernějšími alternativami. V tomto kontextu zaujímají plastové materiály významné místo díky své všestrannosti, dostupnosti a relativně jednoduchému zpracování. Jejich využití se stalo nedílnou součástí našeho každodenního života a současně se s jejich rostoucí popularitou zvyšují i požadavky na technologie pro jejich efektivní zpracování.

Mezi hlavní technologie zpracování plastů patří vstřikování, které za posledních několik let prošlo významným rozvojem. V průmyslu je tato technologie široce využívána a plastové výrobky vzniklé touto metodou nalezneme ve všech odvětvích, včetně běžných domácností. Pro úspěšnou výrobu vstřikovaných plastových výrobků je nezbytné použití kvalitního vstřikovacího stroje, jehož klíčovou součástí je vstřikovací forma. Tato forma je zodpovědná za tvar, vzhled a kvalitu povrchu výrobku. Její návrh a výroba vyžadují individuální přístup, přičemž složitost formy se odvíjí od složitosti výrobku.

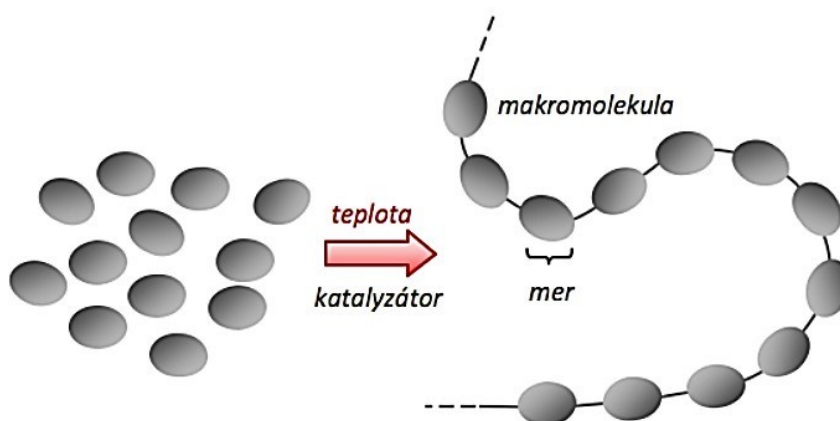
V moderním průmyslu je navrhování a výroba forem značně usnadněna díky normalizovaným součástem. Společnosti jako HASCO a MEUSBURGER nabízejí širokou škálu normalizovaných součástek, což výrazně usnadňuje a zrychluje proces navrhování a výroby forem pro vstřikování plastů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATERIÁL PRO VSTŘIKOVÁNÍ

V oblasti vstřikování plastů se využívá široká škála materiálů. Mezi nejčastější používané materiály patří polyamid, vysokohustotní polyethylen (HDPE), nízkohustotní polyethylen (LDPE), akrylonitrilbutadienstyren (ABS) a polykarbonát (PC). Výběr správného materiálu závisí na požadovaných vlastnostech daného konečného výrobku. Základní vlastnosti jsou pevnost v tahu, elektrická izolace, tepelná odolnost, modul pružnosti v ohybu a Izodův náraz.[1; 2]

Polymerní materiály jsou tvořeny dlouhými molekulami, které se nazývají polymery. Polymery vznikají pomocí chemické reakce z menších molekul, které se nazývají monomery, jsou spojeny delšími, ale i složitějšími strukturami. Materiály mohou být syntetické (vyrobeny člověkem – kaučuk) nebo přírodního původu (celulóza). Mají mnoho vlastností, jako je snadná formovatelnost, nízká hmotnost a odolnost vůči korozi. Polymerní materiály se uplatňují v mnoho různých oblastech, v průmyslu (automobilový, letecký a stavební), zdravotnictví, energetice a v mnoha dalších odvětvích. Věda se stále vyvíjí a umožňuje nám vyvážet nové polymerní materiály a materiály se specifickými vlastnostmi.[1; 3; 2]



Obr. 1: Schéma makromolekul polymerů[1]

1.1.1 Reaktoplasty

Jsou materiály, které mají dobrou tepelnou odolnost, odolnost vůči chemikáliím, chemickou pevnost, nízkou hořlavost a elektrické vlastnosti. Reaktoplasty jsou snadno tavitelné a tvarovatelné jen na určitou dobu. Při dalším zahřívání dochází k chemické změně, to znamená, že se původní molekuly zesítují a od té doby se stávají netavitelné a nerozpustné. Znamená to, že došlo k procesu vytvrzení. Jde o takzvaně nevratný proces, proces, při kterém nejde znovu tvarovat či svařovat nebo převést materiál do taveniny. Reaktoplast je amorfní polymer, u reaktoplastů se produkt v nevytvrzeném stavu nazývá pryskyřice.[1; 4]

1.1.2 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které se při zahřívání na určitou teplotu změknu a umožňují tak jejich zpracování metodami jako je vytlačování, vstřikování nebo tepelné svařování. Termoplasty jsou polymery, které jsou složeny z lineárních makromolekul s dlouhými řetězci. Při zahřívání se termoplasty slábnou a polymer měkne, při zvyšování jeho teploty může znovu zkapalnět. Základní vlastnosti termoplastů jsou měknutí, viskozita (je větší jak u Reaktoplastů), pevnost (silné, tuhé, tvrdé). Využití termoplastů se v jednotlivých odvětvích liší a používají se v různých průmyslových odvětvích, jako je například lékařství a biomedicína, chemickém, instalatérském, automobilovém, potravinářském a nápojovém průmyslu, elektronice a stavebnictví. Mezi běžné termoplasty patří polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS) a další.[4]

1.1.3 Elastomery

Elastomery jsou materiály, které díky svým viskoelastickým vlastnostem připomínají gumu. Ve srovnání s jinými materiály mají vysokou deformaci při poruše a nízký Youngův modul, což znamená, že jsou relativně pružné a deformovatelné při běžných teplotách okolí. Jsou volně zesíťované polymery, které mají vlastnosti pryže. Mezi jejich základní vlastnosti patří elasticita a pružnost. Díky dlouhým a náhodně svinutým polymerním řetězcům se mohou elastomery roztahovat v reakci na vnější napětí. Mezi běžné příklady elastomerů patří přírodní kaučuk, polyuretany, polybutadien, silikon a neopren. Tyto materiály jsou používány v různých odvětvích a aplikacích, jako je automobilový průmysl, zdravotnictví, textilní průmysl a stavebnictví.[4]

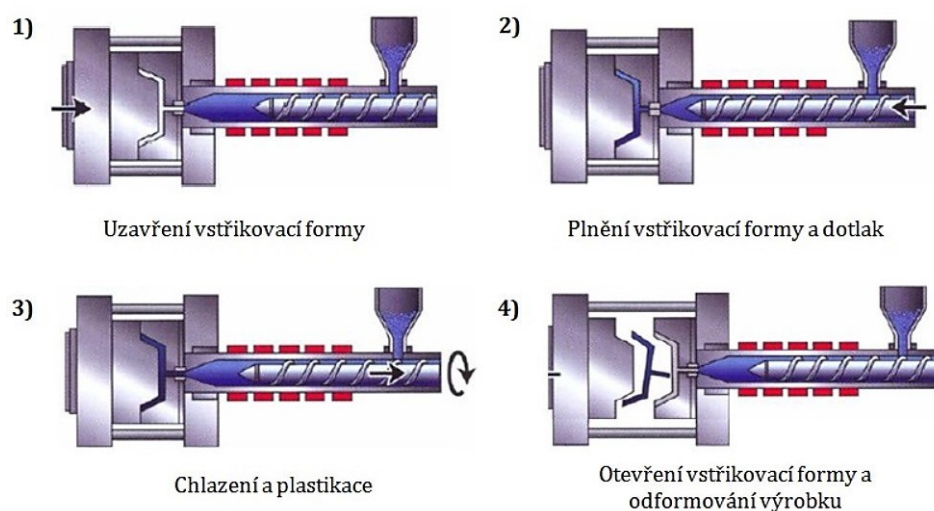
2 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ A JEHO CYKLUS

Vstřikování je častou metodou pro masovou výrobu, která je často preferována před jinými postupy, protože umožňuje ekonomicky vyrábět složité díly s přesnými tolerancemi. Tento proces je jedním z nejefektivnějších díky rychlým cyklům a vysokým rychlostem chlazení. Před samotným vstřikováním je však nezbytné navrhnout, vyrobit a uvést do provozu vhodnou vstřikovací formu. Tato forma přímo ovlivňuje kvalitu výrobku a efektivitu výrobního procesu. Je to složitý systém s mnoha komponenty, které jsou vystaveny různým tepelným a mechanickým cyklům. Při návrhu forem často dochází ke kompromisům, kde levnější formy mohou vést k nižší kvalitě výrobku nebo neefektivním procesům. Proto je důležité navrhovat formy tak, aby byly vhodné pro daný účel, tj. aby vyráběly díly přijatelné kvality s minimálními náklady a riziky.[5]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se podílí na výrobě vstřikovaných dílů pomocí přesných a daných kroků. Cyklus je pečlivě navržen a optimalizován s cílem dosáhnout kvalitní výrobek za nejkratší čas a minimální náklady. Obvykle vstřikovací cyklus dělíme do pěti fází, přičemž každá z těchto fází má vliv na celkovou kvalitu výsledného výrobku. Základní požadavky na výrobu výstřiku jsou diskutovány v následujících odstavcích. Obecně platí, že u vstřiků se usiluje o co nejlepší izotropní vlastnosti.[6]

Různé parametry ovlivňují technologické vlastnosti výrobků, včetně materiálu vstřiku, tvaru a materiálu formy, procesu plastikace, plnění formy, přechodu z fáze tlaku na fázi dotlaku, samotného dotlaku a chlazení formy. Na obrázku níže je zobrazeno přibližné časové rozložení jednotlivých činností během celého vstřikovacího cyklu. Největší časový podíl na tomto cyklu obvykle zabírá fáze chlazení, která trvá přibližně dvě třetiny celkové doby. Jakékoli zkrácení doby chlazení by mohlo vést k nedostatečnému ztuhnutí výstřiku a mohlo by dojít k jeho poškození při vyjmutí z formy.[6]



Obr. 2: Schéma vstříkovacího cyklu [7]

Plastikační fáze

Optimální naplnění dutiny formy je klíčové pro dosažení rovnoměrné viskozity a teploty taveniny, která se shromažďuje před čelem šneku. Teplota taveniny má výrazný dopad na strukturu makromolekul v dutině formy. Vyšší teploty zpravidla znamenají větší smrštění výstřiku, ale současně snižují strukturální uspořádání makromolekul, což má za následek izotropnější vlastnosti výstřiku, snížení vnitřního napětí a posílení studených spojů.[6]

Kromě teploty taveniny jsou dalšími důležitými faktory ovlivňujícími proces plastikace otáčky šneku a zpětný odpor taveniny. Vyšší otáčky šneku obvykle znamenají rychlejší plastikaci, nicméně je důležité dodržovat optimální rychlosti v závislosti na konkrétním materiálu a procesu. Zpětný odpor taveniny je rovněž klíčovým aspektem, který má vliv na tok a plastifikaci materiálu. Příliš vysoký zpětný odpor může vést k nadměrnému zahřátí materiálu a vzniku vad ve výrobku.[6]

Vstříkovací fáze

Při plnění dutiny formy je nezbytné zajistit rovnoměrnou teplotu taveniny, optimální teplotu formy a správnou viskozitu materiálu. Důležitým faktorem je také udržovat konstantní pohyb čela taveniny po celém průřezu dutiny. Nižší rychlosti plnění vedou k rychlejšímu ochlazování čela taveniny v dutině formy, což může mít za následek nežádoucí anizotropní vlastnosti materiálu ve výstřiku.[6]

Vstříkovací jednotka je klíčovým prvkem vstříkovacího stroje, kde hlavní roli hraje šnek, který směřuje taveninu do formy, a hydraulický systém, který řídí pohyb šneku a dalších částí vstříkovacího mechanismu. Správné nastavení parametrů vstříkovací jednotky, jako

jsou tlak, teplota a rychlost, má zásadní vliv na kvalitu výsledného vstřiku. Moderní vstřikovací jednotky disponují pokročilými senzory a automatizovanými systémy, které umožňují precizní kontrolu procesu vstřikování a optimalizaci výrobního cyklu.[6]

Přechodová fáze mezi tlakem a dotlakem

Přechod mezi tlakem a dotlakem je klíčovým okamžikem v procesu vstřikování plastů, kde dochází k přechodu z naplnění dutiny formy materiálem pod tlakem na dokončení formování a utěsnění vstřiku. Ideální je, když je dutina formy plně naplněna před začátkem působení dotlaku, což minimalizuje riziko vad a zajišťuje vyšší izotropnost vlastností materiálu. Harmonický průběh tohoto přechodu je rozhodující pro dosažení vysoké kvality výstřiku s minimálním výskytem vad a konzistentními mechanickými vlastnostmi.[6]

Dotlaková fáze

Dotlaková fáze v procesu vstřikování plastů slouží k vyrovnání případného smrštění a deformací, což umožňuje dokonalejší reprodukci povrchu tvarové dutiny formy. Dále má za cíl odstranit propadliny, trhliny a lunkry, čímž přispívá k vylepšení celkové kvality výstřiku. Správné nastavení dotlakové fáze je klíčové pro dosažení požadovaných rozměrů, hmotnosti a tvaru výstřiku, přičemž je důležité minimalizovat vnitřní pnutí výstřiku, aby proces byl ekonomický a efektivní. Kontrola dotlakové fáze pomocí metody polštáře umožňuje monitorovat stabilitu vstřikovacího procesu a zajišťuje reprodukovatelnost výroby.[6]

Ochlazovací fáze

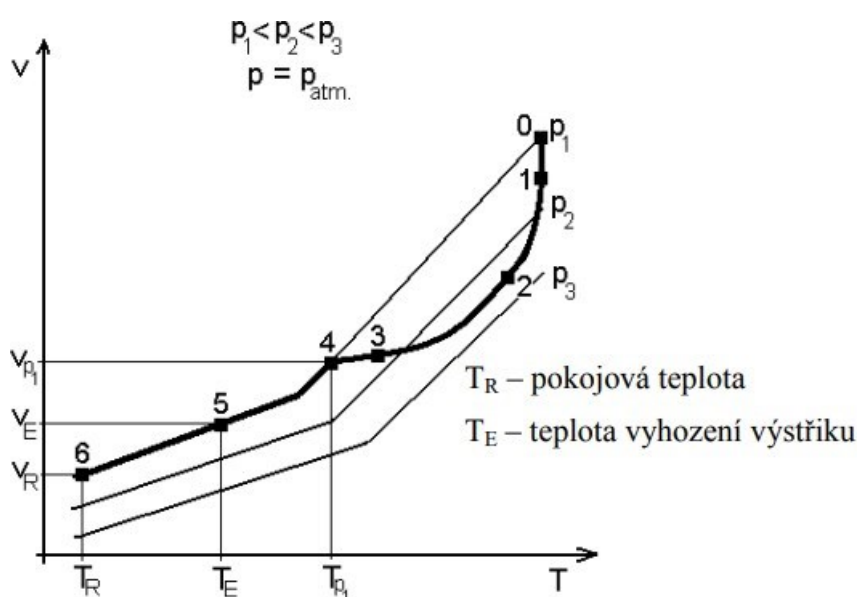
Ochlazování vstřiku začíná v okamžiku, kdy je dutina formy plně naplněna taveninou, a pokračuje až do okamžiku, kdy je výstřik vyhozen z formy poté, co je vtokové ústí zmrznuté. Tato fáze je součástí celkové ochlazovací fáze a začíná po ukončení fáze dotlakové. Klíčovými faktory v této fázi jsou teplota formy a doba ochlazování. Správně nastavená doba ochlazování musí zajistit, že výstřik bude dostatečně tuhý, aby nedošlo k deformacím nebo vzniku vad při vyhození z formy.[6]

Rychlost ochlazování má významný vliv na různé faktory výstřiku, jako je například rozložení orientace, kvalita povrchu, vnitřní pnutí a krystalická struktura. Pomalé ochlazování vede k většímu smrštění a vyššímu obsahu krystalického podílu. Vyšší teplota formy pozitivně ovlivňuje lesk a kvalitu povrchu výstřiku. Optimalizace procesu

ochlazování má významný dopad na ekonomickou stránku výroby, a proto je důležité věnovat tomuto procesu dostatečnou pozornost a provádět jeho optimalizaci.[6]

2.1.1 P-V-T diagram

P-V-T diagram je základním nástrojem pro zkoumání vlastností látek v různých termodynamických podmínkách. Tento diagram graficky znázorňuje vzájemnou závislost tlaku (P) a měrného objemu (V) při různých teplotách (T). Izotermy na diagramu reprezentují stavy látek při konstantní teplotě. Díky diagramu lze detailně analyzovat chování látky při různých teplotách a tlacích, což je klíčové pro pochopení a optimalizaci termodynamických procesů v průmyslových aplikacích. Je nepostradatelným nástrojem při studiu fázových přeměn látek a chování materiálu v různých podmínkách. Zejména při procesu vstřikování plastů je P-V-T diagram nezbytný pro porozumění změn stavů plastů a optimalizaci výrobních procesů. Pomocí diagramu lze lépe navrhovat a řídit proces vstřikování, což vede k dosažení požadovaných vlastností výrobků a zlepšuje efektivitu výroby.[8]



Obr. 3: Diagram P-V-T během procesu vstřikování[9]

- bod 0-1: postupné naplňování dutiny formy taveninou,
- bod 1-2: stlačování taveniny v dutině formy,
- bod 2-3: fáze dotlaku (ochlazování taveniny, udržování tlaku pro doplnění čerstvou taveninou a vyrovnání objemu),
- bod 3-4: klesání tlaku na úroveň atmosférického tlaku při stále stabilním objemu výstřiku,

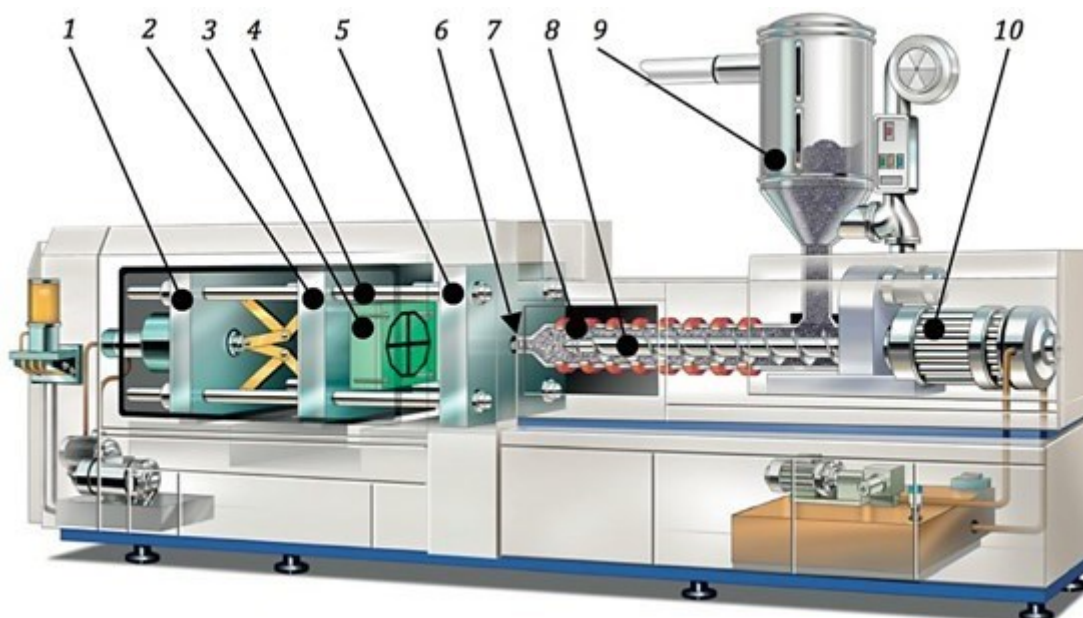
- bod 4-5: chlazení výstřiku při konstantním tlaku,
- bod 5-6: chlazení dílce mimo formu, dokončení cyklu vstřikování.

2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací proces na plně automatických strojích vyniká vysokou produktivitou, přesto jsou s ním spojeny značné náklady na pořízení stroje a formy. Tato technologie je efektivní zejména ve velkosériové výrobě. Strojové zařízení sestává ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicího systému.[10]

Moderní vstřikovací stroje mohou být vybaveny různými periferními zařízeními, jako jsou roboti, temperační jednotky, dávkovače a mísicí zařízení, sušárny, dopravníky, a další. Tato rozšíření přispívají k automatizaci a zvyšují komplexnost výrobního procesu.[10]

Vstřikovací stroje i přes svou automatizaci zůstávají finančně náročné, což omezuje jejich uplatnění na masové výrobní procesy. Efektivita vstřikování spočívá v kombinaci moderního zařízení s periferními technologiemi, což umožňuje dosahovat optimálních výsledků při výrobě plastových výrobků.[10]

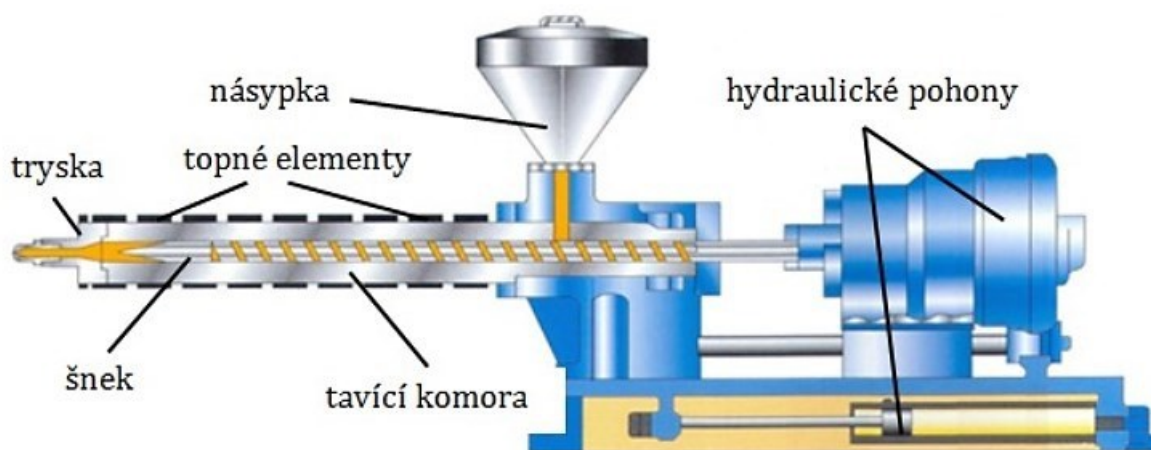


1- uzavírací jednotka, 2 - pohyblivá upínací deska, 3- pohyblivá část formy, 4 - vodící sloupky , 5 - pevná upínací deska , 6 - čelo špičky vstřikovací trysky , 7 - tavící komora, 8- šnek, 9 - násypka pro plastový polotovar, 10 - pohonná jednotka šneku

Obr. 4: Vstřikovací stroj[11]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka je klíčovým prvkem v procesu vstřikování plastů. Jejím úkolem je převést granulát do plastického stavu na homogenní taveninu s minimálním obsahem vzduchových bublin a následně tuto taveninu vstříknout pod vysokým tlakem a rychlostí do formy pro vytvoření plastového výrobku. Šnekové jednotky dominují díky svým výhodám, jako je spolehlivá plastikace, homogenizace taveniny, přesné dávkování hmoty a nižší ztráty tlaku. Tento typ jednotky umožňuje efektivní a rychlý vstřikovací proces, což je klíčové pro výrobu plastových výrobků ve velkých sériích. Diferenciální šnekové jednotky zajišťují ještě lepší plastikaci a homogenizaci taveniny, což přispívá k vysoké kvalitě výsledného výrobku. Tyto jednotky jsou neustále zdokonalovány a přinášejí inovativní řešení pro moderní průmyslovou výrobu plastových výrobků.[10; 12]

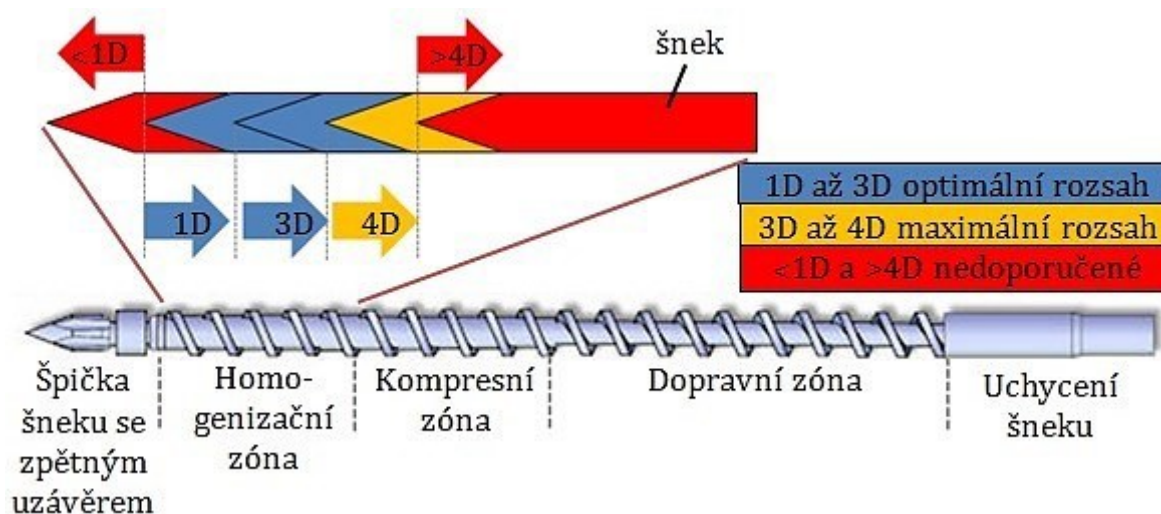


Obr. 5: Vstřikovací jednotka[12]

2.2.2 Vstřikovací šnek

Vstřikovací šnek je klíčovou součástí vstřikovacího stroje. Hraje základní roli v procesu vstřikování plastů. Hlavním úkolem je efektivně připravit, a hlavně dopravit plastovou taveninu do formy. V práci šneku rozlišíme několik fází. V první fázi zvané vstupní je surový plast postupně přiváděn z násypky a začíná se zde ohřívat a měknout. Následuje přechodová fáze, kde se plast taví a stlačuje. Průměr šneku se postupně zvětšuje a hloubka kanálek se postupně zmenšuje. Zde dochází k dalšímu tavení plastu díky tepelné a disipační energii šneku. Poslední fází je měřicí fáze. Tavenina je kompletně tavená a připravená k vstřikování do formy. Hloubku kanálek máme minimální a průměr šneku je stabilizován. Dochází k přesnému dávkování taveniny do formy, což je zásadní pro dosažení stejných výsledků výroby. Celkově je geometrie a design vstřikovacího šneku pečlivě navržen tak, aby umožňoval efektivní tavení, míchání a homogenizaci plastové taveniny. Různé druhy plastů

a specifikace procesu vstřikování vyžadují specifické úpravy šneku, což vedlo k vývoji různých typů šneků pro různé aplikace a materiály.[13; 14]



Obr. 6: Schéma třízónového šneku[12]

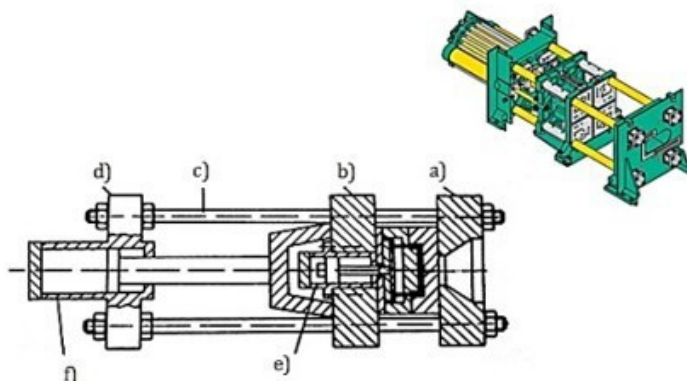
2.2.3 Vstřikovací pracovní válec

Vstřikovací šnek přepravuje plastové granule do tavicí komory vstřikovací jednotky. Tato komora, obklopená topnými pásy a izolací, musí mít hladký povrch, aby zajišťovala plynulý tok taveniny a zabránila hromadění materiálu. Šnek není podporován, což minimalizuje vrstvu plastu jako mazivo a chrání povrchy. Ohřev tavicí komory zajišťují topné pásy s termočlánky. Někdy se tavicí komora upravuje s odplyňovací zónou pro zpracování materiálů s nečistotami. Pro úsporu energie se používají izolační vrstvy, které minimalizují úniky tepla. [15; 16]

2.3 Uzavíratelná jednotka

Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje má klíčovou úlohu v procesu vstřikování plastů. Jejím hlavním úkolem je zajistit stabilní uchycení a plynulé pohyby vstřikovací formy. Tato jednotka je složena z několika dílčích prvků a mechanismů, které společně tvoří komplexní systém. Mezi základní součásti uzavírací jednotky patří vodicí sloupky, které se používají zejména u sloupkových konstrukcí strojů. Tyto sloupky slouží k řízení pohybu formy a zajišťují její správnou pozici během procesu vstřikování. Další důležitou součástí je pevná a pohyblivá upínací deska spolu s potřebným upínacím systémem. Tyto desky mají za úkol upevnit formu na svém místě a umožnit tak správný průběh vstřikovacího procesu. Mechanismus pro otevírání a uzavírání formy je klíčovým prvkem uzavírací jednotky. Tento mechanismus je zdrojem síly potřebné pro pohyb formy a vytváření uzamykací síly, která

udržuje formu uzavřenou během fází vstříku a dotlaku. Tato síla může být generována buď mechanicky, hydraulicky nebo kombinací obou systémů. [10; 17]



a, pevná část formy, b, pohyblivá část formy, c, vodící tyče, d, rám stroje, e, hydraulický vyhadzovač, f, hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy

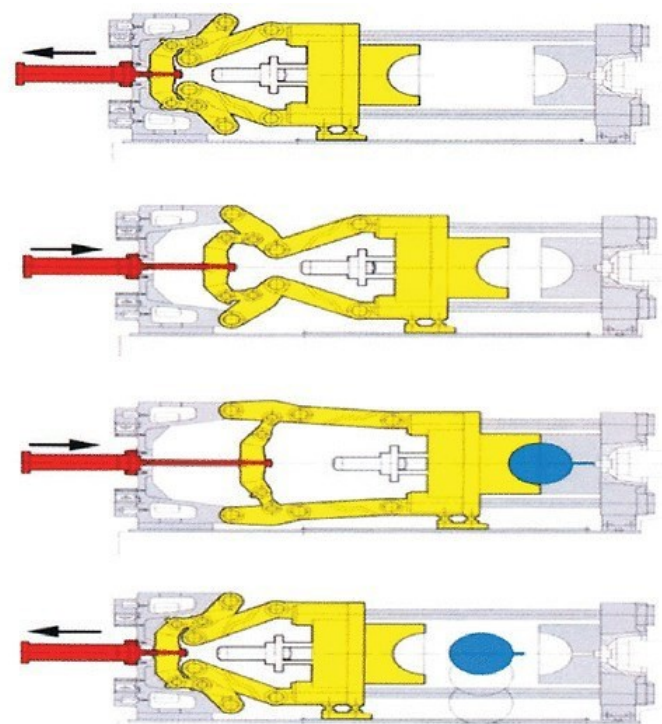
Obr. 7: Uzavíratelná jednotka [17]

2.3.1 Kloubový mechanismus

Kloubový mechanismus je charakterizován vynikající regulací rychlosti pohybu a relativně nízkou spotřebou energie. V porovnání s hydraulickým uzavíracím systémem dosahuje kloubový mechanismus až o 20% nižší spotřebu energie, čímž se řadí mezi nejefektivnější uzavírací systémy. [15; 16]

Jeho řízení může být realizováno pomocí elektrického nebo hydraulického systému. Hydraulické systémy jsou díky svému kompaktnímu provedení a nízké spotřebě oleje častěji využívány u menších vstříkovacích strojů s tlakem do 500 kN. [15; 16]

Kloubové mechanismy umožňují optimální rychlosti uzavírání a otevírání formy. Jejich plynulý pohyb začíná pomalu při uzavírání, postupně zrychluje a před úplným uzavřením opět zpomaluje. Tento systém zajišťuje vysokou rychlost a současně šetrný přístup k formě, což přispívá k její dlouhodobé spolehlivosti. [15; 16]

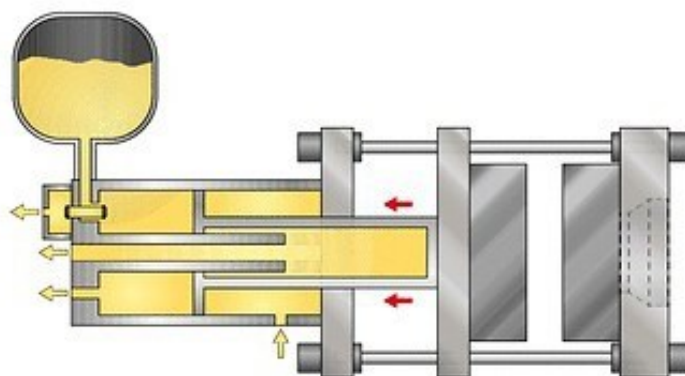


Obr. 8: Kloubový mechanismus[18]

2.3.2 Hydraulický mechanismus

Pohyb hydraulického uzavíracího systému je řízen pomocí hydraulického válce, který často bývá umístěn v ose mechanismu a propojuje se přímo s pohyblivou upínací deskou. Existuje varianta, kde je jeden velký válec nahrazen několika menšími, často čtyřmi, hydraulickými válci, které jsou symetricky umístěny na uzavírací jednotce. Moderní uzavírací jednotky často využívají mechanické zámky pro fixaci pohyblivé části s částí pevnou, což přináší efektivnější využití síly a menší spotřebu oleje. [15; 16]

Zatímco systém pístů vyžaduje větší sílu a spotřebu oleje, hydraulicko-mechanické mechanismy jsou ekonomičtější řešením. Hydraulické systémy se vyznačují lepší opakovatelností pohybů a přesnější regulací rychlosti, což přispívá ke stabilitě a přesnosti celého procesu. [15; 16]



Obr. 9: Uzavíratelná hydraulická jednotka[19]

2.3.3 Kombinované mechanismy

Kombinované mechanismy kombinují výhody obou výše uvedených systémů – kloubového a hydraulického. Kloubový mechanismus je odpovědný za hlavní pohyby pohyblivé upínací desky, zatímco hydraulický válec se využívá k vytvoření a udržení potřebné uzamykací síly. [15; 16]

Tento hybridní přístup umožňuje rychlé a plynulé pohyby upínací desky, což zlepšuje efektivitu procesu. Zároveň však umožňuje silné a stabilní uzavření formy, což je klíčové pro kvalitu výsledného vstříkovaného výrobku. Tímto způsobem se dosahuje optimální kombinace dynamiky a síly, což vede k efektivnímu a spolehlivému fungování uzavíracího mechanismu. [15; 16]

2.4 Řídicí jednotka

Řídicí systém vstříkovacího stroje lze přirovnat k mozku a nervovému centru celého systému. Jeho úkolem je řídit tlak, teplotu, rychlost a čas během procesu vstříkování. Tyto parametry jsou nastavovány obsluhou a přímo ovlivňují průběh vstříkovacího cyklu a kvalitu výsledného výrobku.[10; 17]

Fyzikální parametry, které jsou klíčové při zpracování vstříkování, zahrnují teplotu, tlak, rychlost, čas a polohu. Teplota zahrnuje širokou škálu aspektů, jako jsou teplota sušení pryskyřice, teplota v lisovacím sudu, teplota taveniny, teplota formy a teplota pracovního prostředí. Tlak se týká plnicího tlaku, udržovacího tlaku, protitlaku a dalších specifických tlakových hodnot. Rychlost zahrnuje různé parametry, jako je rychlost vstříkování, otáčení

šneku a otevírání formy. Mezi časové faktory se počítá dobu plnění, udržování tlaku, chlazení a schnutí pryskyřice. Poloha se pak týká měřicí polohy, polohy spínače a dalších položek ve stroji.[10; 17]

Jednou z hlavních výzev, kterým čelíme při vývoji a kontrole kvality, je nedostatečná kontrola lisovaných výrobků v průběhu výrobního procesu. Tento problém často souvisí s používáním jednosměrných a nepřímých metod obsluhy vstřikovacích strojů a kontrolních zařízení. Je tedy klíčové detailně analyzovat vlastnosti těchto strojů a jejich možnosti, abychom lépe porozuměli různým způsobům, jak je lze efektivně využít k dosažení lepší kontroly nad podmínkami procesu výroby.[10; 17]

3 KONSTRUKČNÍ PRVKY FORMY

3.1 Konstrukce výrobku:

Hlavním prvkem při vstřikování je samotná konstrukce výrobku. Při návrhu se věnujeme několika základním konstrukčním prvkům, mezi které zahrnujeme například tloušťku stěn, deformace, úkosy a zkosení. Ty mají přímý vliv jak na kvalitu a funkčnost výrobku, tak i na samotný proces vstřikování. Samostatné konstrukční prvky jsou rozebrány v následujících podkapitolách.[10]

3.1.1 Smrštění

Jedním z aspektů konstrukce forem, který často vzbuzuje nedorozumění, je fenomén smršťování. Vzájemná interakce tepelné roztažnosti a stlačitelnosti materiálů, jako jsou plasty, je klíčovým faktorem při formování výstřikem. Tepelná roztažnost způsobuje, že materiál se rozpíná při zahřátí a smršťuje se při ochlazení na původní teplotu. Naopak stlačitelnost plastů znamená, že se materiál stlačuje pod tlakem, přičemž plastický objem se mění úměrně tlaku, což může dosahovat až 2 % tlaku původního objemu.[20; 21]

Během procesu vstřikování je plastová tavenina horká a expanduje, zároveň je však vystavena značnému tlaku, což způsobuje její stlačení. Tato kombinace faktorů znesnadňuje přesné určení míry smrštění, protože skutečná změna objemu je ovlivněna jak tepelnou expanzí, tak tlakovým stlačením. Faktor smrštění je specifický pro každý typ plastu a závisí na různých proměnných, jako jsou teplota taveniny, vstřikovací tlak a konkrétní podmínky procesu.[20; 21]

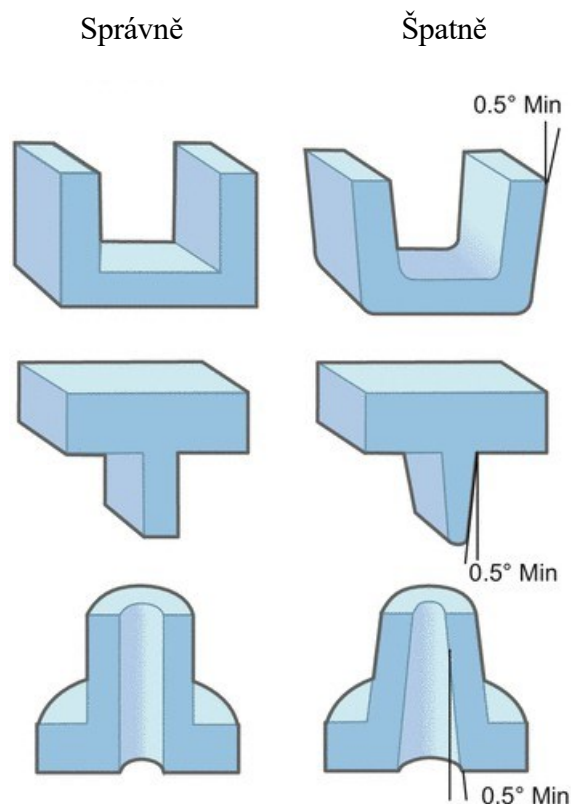
Aby bylo dosaženo správného tvaru a rozměrů výstřiku, je nutné pečlivě zvážit potřebnou dávku materiálu pro vyplnění dutiny a teplotu, při které bude materiál vstřikován. Tento proces vyžaduje pečlivou kontrolu a optimalizaci, aby bylo dosaženo požadované kvality výrobku a minimalizovaly se vady při vyhození výstřiku z formy.[20; 21]

3.1.2 Tloušťky stěn

Zvětšující se tloušťka stěny výrobku má za následek větší smrštění této stěny. Tato skutečnost je způsobena vyšším uzavřeným tepelným obsahem u stěn s větší tloušťkou při zamrznutí ústí vtoku. Tím dochází ke zvýšení teploty uvnitř průřezu stěny, což vede k vyššímu smrštění. Rozdílné tloušťky stěn výstřiku také ovlivňují kvantitativní změny proměnných parametrů, které ovlivňují smrštění, jako je dotlaková fáze a gradient rychlosti ochlazování stěn výstřiku. Tavenina chladne rychleji v průřezu stěny o menší tloušťce než v průřezu stěny o větší tloušťce při stejné teplotě taveniny a teplotě stěny formy. To je způsobeno tím, že procesy vedení tepla, krystalizace a vzniku vnitřního pnutí mají u stěn s menší tloušťkou kratší dobu působení. Neexistuje přesně stanovená hranice pro rozdíl tlouštěk stěn výstřiku, která by určovala jejich vliv na smrštění. Nicméně znalost základních korelací mezi tloušťkou stěn výstřiku a jeho smrštění je nezbytná pro praktickou aplikaci.[21; 22]

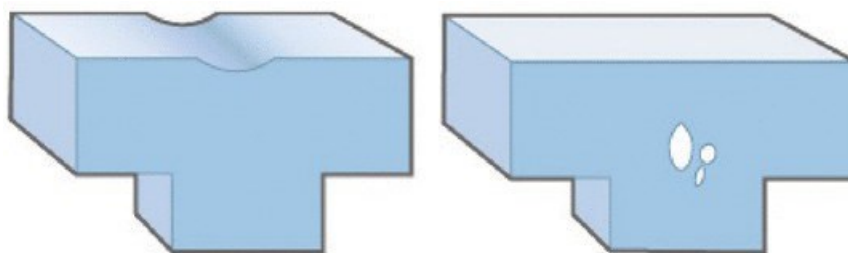
3.1.3 Deformace, úhly a rohy a nebezpečí tvorby lunkrů

Význam deformací, úhlů a rohů ve vstřikovací formě pro výrobu plastových dílců spočívá ve snaze minimalizovat možné komplikace, jako je vznik trhlin či dutin v hotovém výrobku. Tato optimalizace je nezbytná pro dosažení kvalitních výsledků a zajištění estetického a funkčního vzhledu plastových dílců. Deformace, které mohou být způsobeny nesprávným umístěním dělicích rovin nebo nedostatečným chlazením formy, představují jedno z hlavních rizik při výrobě. Správně navržená forma, která zahrnuje optimální rozmístění temperačních kanálů a použití vhodných materiálů, může minimalizovat tento druh problémů. Dalším faktorem, který je třeba zohlednit, jsou úhly a rohy v plastových dílcích. Správně navržené úhly a zaoblení rohů mohou zlepšit jak pevnost, tak estetický vzhled výrobku, což přispívá k celkové kvalitě a odolnosti.[10; 21; 22]



Obr. 10: Úkosy[10]

Nebezpečí tvorby dutin či dutinek, známých jako lunkry, je dalším aspektem, který je třeba brát v úvahu při konstrukci formy. Tento problém může být způsoben různými faktory, včetně nedostatečného plnění formy taveninou plastu nebo nevhodným umístěním vtoků. Aby se předešlo tvorbě lunkrů, je důležité pečlivě navrhnout proces vstřikování tak, aby bylo zajištěno plné a rovnoměrné naplnění dutiny formy taveninou plastu.[10; 22]



Obr. 11: Ukázka vad propadlin a dutin[10]

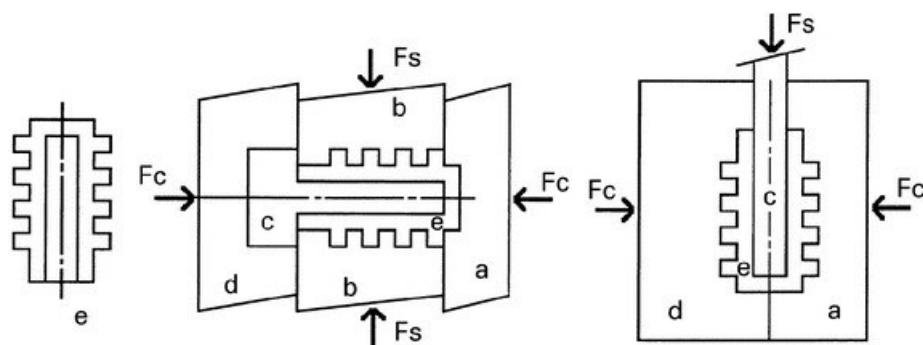
3.1.4 Žebra a T-profilů

Při konstrukci vstřikovaných výrobků dojde k připojení v základové desce. Tím může vzniknout odchylna úhlů nebo dojít ke tvorbě propadlin a drobných částic, které jsou způsobeny nahromaděním materiálu. Abychom se vyhnuli těmto problémům, můžeme provést některá opatření, kdy jedním z nejčastějších je např. změnu žebra. Doporučuje se redukovat šířku žebra, aby byla obecně menší než polovina tloušťky základové desky. Také je možné tenhle problém vyřešit pomocí specifické konstrukční úpravy propojení žebra se základovou deskou. Další variantou je technologický přístup, kdy se využívá optimalizace dotlakové fáze v procesu vstřikování, což zaručuje minimální výrobní chybu smrštění. Vyšší úroveň dotlaku a prodloužení doby působení mohou vést ke snížení míry smrštění plastu. Vztah mezi tloušťkou stěny základové desky a tloušťkou žebra se odvíjí od technologických parametrů, jako je teplota a tlak. Poskytuje cenné poznatky z minimalizací vzniku propadlin. Použití technologií vstřikování plastů s nadouvadlem může být dalším opatřením k eliminaci propadlin. Nadouvadlo, jako aditivum přidané do granulátu, má schopnost rozpínat taveninu a tím snižovat riziko tvorby propadlin. Vytváří uzavřené dutinky ve vnitřní struktuře výstřiku, čímž se zajišťuje kompaktní povrch a minimalizuje se vznik propadlin. Technologie, které se zabývají odstraněním propadlin, jsou Gas Injection Technology a také Water Injection Technology. Metody zahrnují přívod dusíku nebo vody do dutiny formy, čímž dochází k vytlačení nahromaděné taveniny a minimalizaci tepelných efektů, a to vede ke vzniku povrchu bez propadlin.[21; 22]

3.2 Dělicí rovina

Dělicí rovina v kontextu vstřikování plastů představuje zásadní aspekt konstrukce vstřikovací formy, který ovlivňuje celý proces výroby plastových dílců. Jejím hlavním úkolem je dosažení bezporuchového utěsnění dutiny formy a zabránění úniku taveniny plastu během vstřikování. Při návrhu dělicí roviny je nezbytné zohlednit několik kritických faktorů, včetně směru otevírání formy, který určuje orientaci dutin ve formě a minimalizaci plochy kolmého průmětu vstřikovaného dílu vzhledem k dělicí rovině. Důkladná analýza materiálů použitých pro jednotlivé části formy, jako jsou desky, jádra a vyhazovače, je nezbytná pro zajištění dlouhé životnosti a schopnosti odolat vysokému mechanickému namáhání v prostředí vstřikování plastů za zvýšených tlaků. Zaformování dělicí roviny do vložek představuje efektivní strategii umožňující optimalizaci nákladů na kvalitní materiály a usnadnění případných oprav defektů.[20]

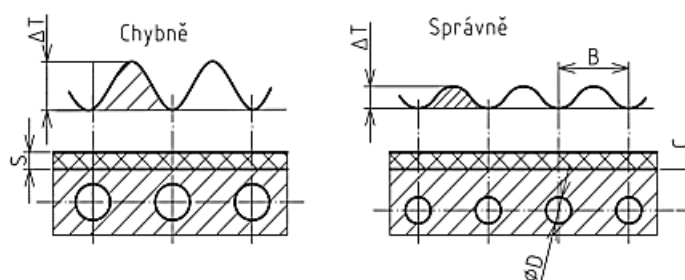
Při konkrétním umístění dělicí roviny je klíčové minimalizovat vzhledové stopy na výsledném výrobku, což vyžaduje komplexní zohlednění funkčních požadavků a konstrukčních možností. Celkově lze konstatovat, že precizní návrh dělicí roviny hraje klíčovou roli v optimalizaci procesu vstřikování plastů a zajištění vysoké kvality výsledných plastových dílců.[20]



Obr. 12: Dva způsoby umístění dělicí roviny[20]

3.3 Temperační systém

Cílem temperace v procesu vstřikování plastů je udržování konstantní teploty formy, což má za následek minimalizaci času vstřikovacího cyklu bez narušení technologických parametrů. Tento proces může zahrnovat jak chlazení, tak i vyhřívání formy nebo jejích částí, což závisí na konkrétních potřebách procesu a vlastnostech materiálu. V některých případech, zejména při vstřikování plastů s různými tvary a materiály, je nezbytné individuálně navrhnout a optimalizovat temperační systém. Základním prvkem temperace jsou kanálky a dutiny, které slouží k odvádění nebo předávání tepla formou temperačních médií. Při návrhu je nezbytné zvážit nejen teplotní potřeby samotné formy, ale i další prvky, jako jsou vyhazovače, vodící čepy a další části nástroje. Moderní nástroje a simulační analýzy, jako je MoldFlow, umožňují provést komplexní analýzu a optimalizaci temperačního systému. Důležitým faktorem je zachování tuhosti a pevnosti formy při návrhu temperačního systému, čehož může být dosaženo pomocí vhodného rozložení a dimenzování kanálek. Použití většího množství kanálek, které jsou rovnoměrně rozprostřeny po celé formě, může minimalizovat riziko deformací a zlepšit tepelnou stabilitu. Správně navržený temperační systém přináší několik výhod, včetně snížení rizika deformací, zajištění tepelné stability a optimalizace vstřikovacího procesu při vysokých tlacích.[15; 16]



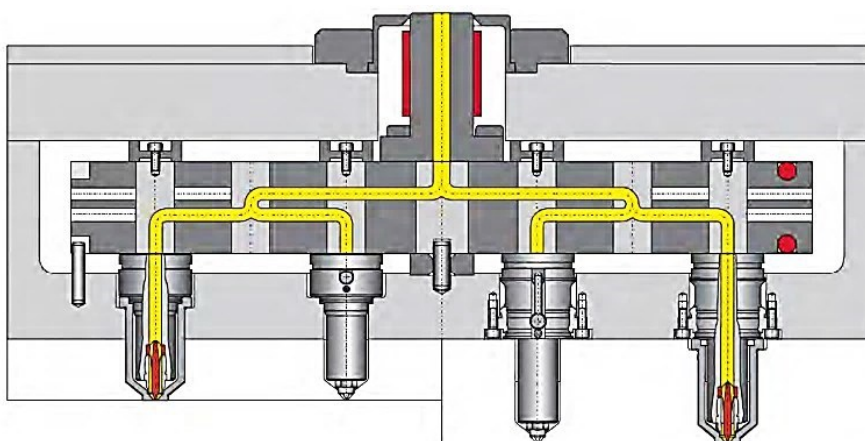
Obr. 13: Vliv rozmístění temperačních kanálků[23]

3.4 Vtokový systém

Vtokový systém představuje komplexu kanálků a vtokových ústí, jehož primárním cílem je naplnění dutiny formy taveninou plastu, a to v nejkratším čase a s minimálním odporem.

Důležité parametry, které ovlivňují rozměry a umístění vtokových ústí:

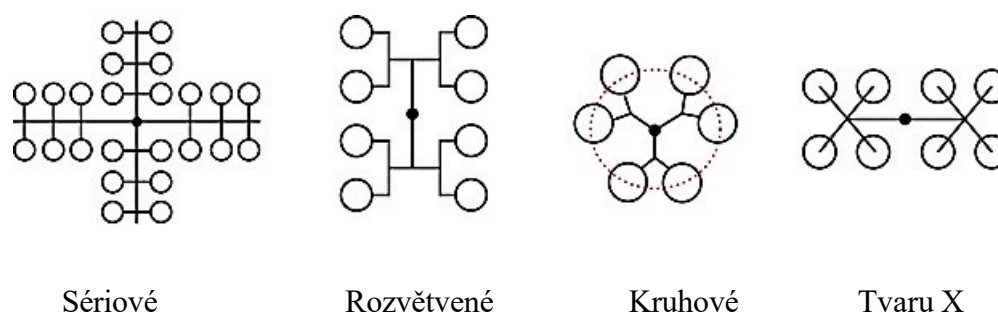
- spotřeba materiálu,
- energetická efektivita výrobního procesu,
- náročnost čištění vtokových hlav.



Obr. 14: Vtokový systém[23]

Konstrukce vstřikovacího systému, včetně uspořádání kanálků a počtu tvarových dutin, je přizpůsobena konstrukci formy a její násobnosti. Zejména u termoplastů má volba typu a umístění vtokových ústí významný vliv na proudění taveniny, orientaci makromolekul a povrchovou kvalitu výrobku. Optimalizace vstřikovacího systému směřuje k co nejefektivnějšímu naplnění formy bez ztrát tlaku a teploty, ideálně ve stejném čase a za

stejných technologických podmínek pro všechny dutiny. Vzhledem k uspořádání tvarových dutin preferujeme uspořádání do hvězdy, která umožňuje současné naplnění všech dutin při stejném tlaku a teplotě. Alternativně lze uspořádat vstřikový systém do řady, avšak vyžaduje to korekci ústí vtoku s ohledem na odlišné podmínky naplnění. Volba mezi studeným a horkým vtokovým systémem závisí na charakteru výstříku, složitosti výroby a ekonomických faktorech. Studený vtokový systém je preferován pro jednodušší výstříky a malosériovou výrobu, zatímco horký vtokový systém je vhodnější pro složitější výstříky a sériovou výrobu ve větším měřítku. [23;24]

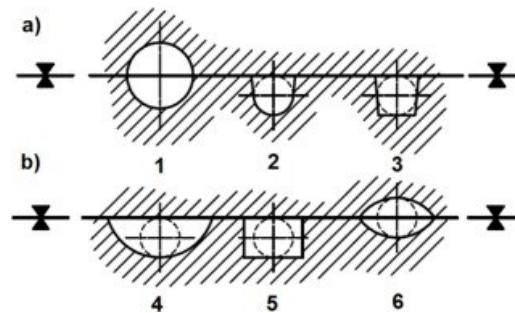


Obr. 15: Uspořádání vtokových kanálků[10]

3.4.1 Studený vtokový systém

Průtokem taveniny studeným vtokovým systémem se zvyšuje viskozita na povrchu, což způsobuje postupné tuhnutí. Tento proces vytváří izolační vrstvu mezi ztuhlou a tekutou částí. Po naplnění dutiny formy se snižuje průtok taveniny a tuhnutí pokračuje, přičemž dotlak způsobuje vývin tepla v ústí vtoku, což oddaluje úplné zatuhnutí. Nárůst protitlaku vede k poklesu vstřikovací rychlosti a úplnému ochlazení plastu. [20;23;24]

Funkční vtokový systém musí mít co nejkratší dráhu toku taveniny, rovnoměrné naplnění dutin a dostatečně velký průřez vtokových kanálků pro udržení plastického jádra taveniny. Ústí vtoku musí zajistit kvalitní spojení a ochlazení, přičemž u vícenásobných forem je důležité zachovat stejnou rychlost taveniny. [20;23;24]

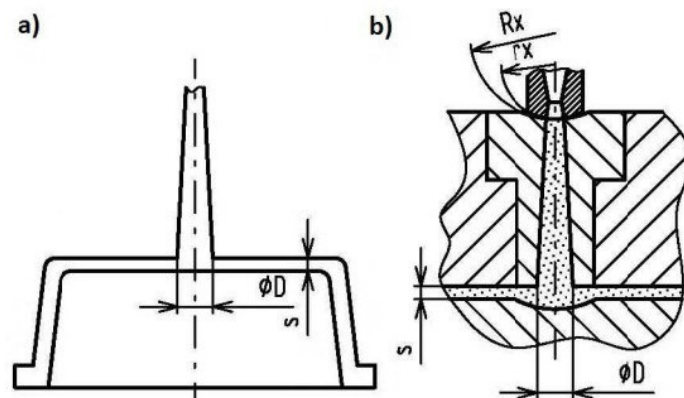


Obr. 16: Průřez vtokových kanálů[23]

a) funkčně výhodné, b) funkčně nevýhodné,

1,6 – výrobně nevýhodné, 2,3,4,5 – výrobně výhodné

Plný kuželový vtokový systém je efektivní metodou plnění dutin vstřikovací formy taveninou. Jeho konstrukce umožňuje plynulý a rychlý tok taveniny bez ztrát tlaku či tepla. Hlavní kanál je připojen k trysce vstřikovacího stroje, což umožňuje snadný průchod taveniny do dutin formy prostřednictvím rozváděcích kanálků, zajišťující rovnoměrné naplnění. Plný kuželový vtok je oblíbenou volbou pro mnoho vstřikovacích aplikací díky své univerzálnosti a efektivitě. [20;23]



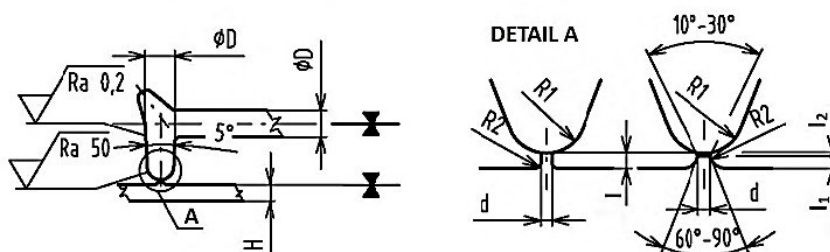
Obr. 17: Kuželový vtok[23]

a) Plný kuželový vtok, b) čočkovité vybrání v dutině formy

D - průměr vtokového kanálu, s – tloušťka stěny výstřiku, R_x - poloměr sedla trysky formy, r_x – poloměr sedla trysky stroje

Bodový vtok zúžených vtoků je široce preferován a často používán pro svou efektivitu. Jeho typický kruhový průřez s průměrem okolo 1 mm je umístěn na různých místech, včetně vtokových kanálků, předkomůrek a rozváděcích kanálů. Pro správnou funkci je nutné použít třídeskový mechanismus, který zajistí oddělení vtokového ústí před otevřením formy. Tento

typ vtoků se nedoporučuje pro méně tekuté nebo plněné plastické materiály, ale nabízí širší možnosti umístění vtoku, což usnadňuje přizpůsobení procesu vstřikování konkrétním požadavkům aplikace.[23]

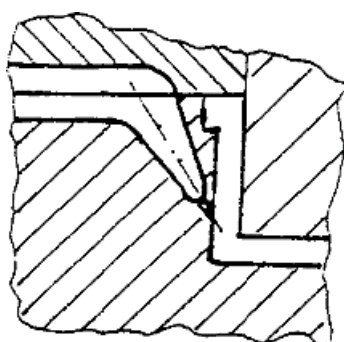


Obr. 18: Bodové vtokové ústí[23]

D – průměr komůrky, R_1 – poloměr zakončení komůrky, R_2 – poloměr zakončení ústí,

d – průměr ústí, H – tloušťka výstříku

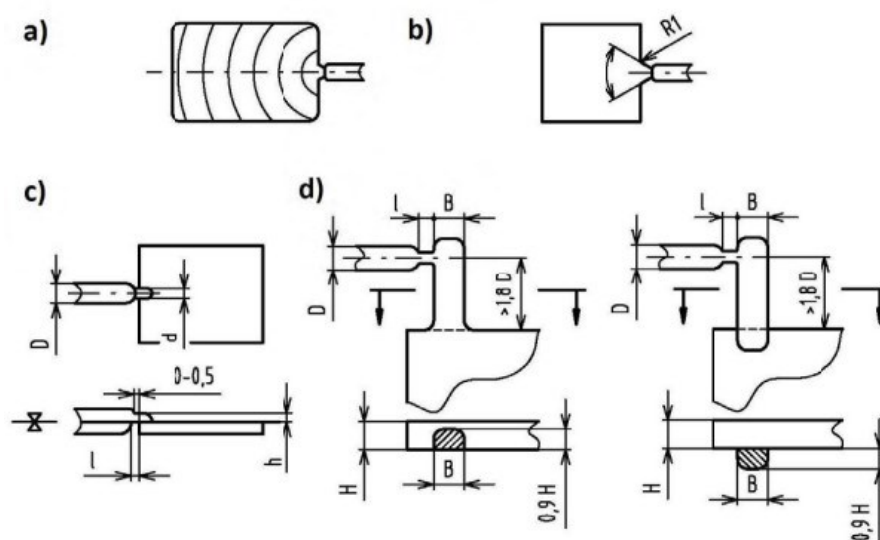
Tunelový vtok, specifická varianta bodového vtoku, usnadňuje výrobu složitějších vstříků. Umístění vtokového zbytku do stejné roviny jako výstřík eliminuje potřebu složitějších třídeskových forem. Tento přístup umožňuje oddělení vtokového zbytku během otevírání formy. Pro efektivní funkci tunelového vtoku je klíčové vytvoření ostré hrany, která umožní snadné oddělení vtokového zbytku od výstříku. Nicméně vyžaduje pokročilé výrobní techniky, jako je elektroerozivní hloubení. Tunelový vtok je vhodný pro výrobu esteticky náročných vstříků s vysokou přesností a kvalitou.[23]



Obr. 19: Tunelový vtok[23]

Boční vtok je typem vtokového systému, kde se vtokový zbytek spojí s výstříkem. Toto spojení lze ručně oddělit nebo použít automatizované odřezávací zařízení. Ústí vtoku se upravuje pro kontrolu toku taveniny do formy a minimalizaci poškození tvárnice. Po oddělení vtokového zbytku z výstříku zůstává stopa na spodní části výstříku. V náročnějších aplikacích se používá nepřímý boční vtok. Různé varianty bočního vtoku jsou určeny pro

aplikace s vyššími nároky na kvalitu výstřiků a jsou obvykle obtížně odstranitelné. Jejich tloušťka je navržena co nejmenší, obvykle kolem 0,3 mm.[23]



Obr. 20: Boční vtoky[23]

a) běžný b) vějířový c) překrytím d) nepřímé vtoky

3.4.2 Teplý vtokový systém

Vyhřívané tepelné soustavy jsou klíčové pro udržování optimální teploty během průmyslových procesů, jako je vstřikování plastů. Tyto systémy zahrnují ohřívače, senzory teploty a regulátory, které společně udržují požadovanou teplotu prostředí nebo materiálu. Senzory teploty monitorují aktuální teplotu a předávají informace regulátoru, který následně řídí výkon ohřívačů tak, aby byla udržena konstantní teplota. Izolační materiály jsou používány k minimalizaci tepelných ztrát a zajištění efektivity vyhřívání. V průmyslovém vstřikování plastů jsou vyhřívané soustavy integrovány do forem nebo vtokových systémů, aby udržely taveninu v tekutém stavu a minimalizovaly vznik vad. Přináší výhodu, jakou je zvýšená efektivita procesů a zlepšení kvality výrobků a snížení odpadu, vylepšení konečné kvality výrobku.[23; 24]

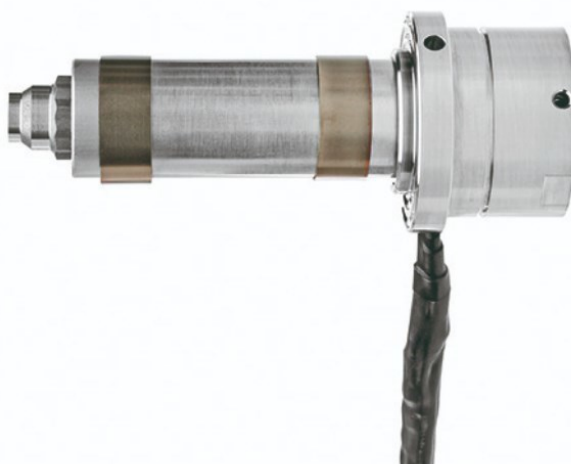
3.4.2.1 Vyhřívané trysky:

Vyhřívané trysky představují klíčovou součást využívaných vyhřívaných vtokových systémů (VVS) v průmyslovém vstřikování plastů. Jejich úlohou je zajistit teplotně stabilní propojení mezi plastikační jednotkou a dutinou formy. Většinou jsou vyráběny specializovanými firmami s důrazem na vysokou kvalitu a přesnost.[24]

Existují dva hlavní typy vyhřívaných trysek:

- trysky s vnějším topením,
- trysky s vnitřním topením.

U trysek s vnějším topením je těleso trysky vyrobeno z vodivého materiálu a kolem něj je umístěno topení. Roztavený polymer proudí vnitřním otvorem tělesa trysky, čímž dochází k jeho ohřevu a udržení požadované teploty. Na druhé straně trysky s vnitřním topením mají vyhřívanou vložku uvnitř trysky, kolem které tavenina proudí. Tento design umožňuje účinnější ohřev taveniny a zajišťuje rovnoměrnější teplotu. Tyto trysky jsou klíčové pro zajištění kvalitního vstřikování plastů, ať už se jedná o složité geometrické tvary, nebo velkosériovou výrobu. Jejich přesná a stabilní funkce přispívá k efektivitě výrobního procesu a kvalitě finálních výrobků.[24]



Obr. 21: Vyhřívaná tryska[25]

3.4.2.2 Vyhřívané bloky

U vícenásobných forem ve vstřikování plastů jsou běžně využívány vyhřívané rozvodové bloky, které slouží k rovnoměrnému rozvodu taveniny do jednotlivých dutin formy. Tyto bloky obvykle obsahují vyhřívané trysky, které zajišťují stabilní teplotu během procesu vstřikování. Jejich správná funkce je zásadní pro dosažení kvalitního výsledku. Existují dva základní způsoby vytápění těchto bloků: vnější a vnitřní.[24]

U vnějšího vytápění se obvykle využívají topné hady, které jsou zalité tepelně vodivým materiálem, jako je kov. Tento způsob umožňuje rovnoměrné rozložení tepla po celém bloku. Naopak u vnitřního vytápění se často využívá vzduchová mezera, díky níž dochází k efektivnímu přenosu tepla do bloku. K řízení a udržování požadované teploty se používá tepelný regulátor, který je propojen s tepelnými čidly. Při návrhu konstrukce kanálků je důležité dbát na to, aby nedocházelo k vytváření ostrých hran nebo mrtvých koutů, což by mohlo negativně ovlivnit tok taveniny a celkovou kvalitu vstříkovaného dílu.[24]

3.5 Vyhazovací systém

Základem každé vstříkovací formy je vyhazovací systém, který slouží k odstranění vytvarované části formy. Vyhazovací systém vypadá jako jednoduchá operace, ale opak je pravdou, neboť patří mezi nejnáročnější část při konstrukci formy. Složitost vyhazovacího systému z formy závisí na kvalitě konečného produktu a požadované produktivitě. Při návrhu systému je potřeba dbát na mnoho faktorů, včetně potřeby více os pohybu, velikosti a rozložení vyhazovacího systému a dalších požadavků. Stěžejním účelem je snížení času vyhazování na co nejkratší dobu. Některé metody vyhazování umožňují rychlejší vysunutí, jiné jsou závislé na tuhosti plastu součásti. Například odstranění umožňuje vyhazování měkkých výrobků bez jejich poškození, zatímco vyšroubovací vyhazování nebo vyhazování pomocí čepu vyžaduje, aby byl konečný výrobek pevnější. [20; 26]

Síla potřebná k vyhození výrobku:

Síla na vyhození dílů z jádra může být značná, protože většina forem má stanovenou vyhazovací sílu, která se pohybuje kolem 10% uzavírací síly vstříkovacího stroje. Síla potřebná k vyjmutí součásti závisí na mnoha faktorech:[20; 26]

- typ pryskyřice,
- technologické podmínky při vstříkování,
- povrchová úprava a odstranění podkladu,
- velikost smrštění při teplotě vyhazování.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V mé bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

1. vypracovat literární studii na dané téma,
2. provést konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu,
3. navrhnout vstřikovací formu pro zadaný díl,
4. nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

V teoretické části této práce byly shrnuty metody navrhování vstřikovacích forem a rozebrána teorie vstřikování plastů, konstrukční prvky a vlastnosti polymerů. Tyto poznatky byly použity jako základ při konstrukci vstřikovací formy a vstřikovaného dílu.

Praktická část bakalářské práce měla za cíl navrhnout vstřikovací formu na postřikovací pistoli na hadici, která bude splňovat veškeré požadavky uvedené v teoretické části. Pro vytvoření formy byla zvolena dvojnásobná forma se studeným vtokem. Standardní díly byly vybrány z online katalogů MEUSBURGER. Samotný díl a forma byly tvořeny v programu Caita V5R20.

5 POUŽITÉ SOFTWARE

5.1 Catia V5-R62020

Catia je software pro trojrozměrný interaktivní návrh, který se řadí mezi přední světové 3D CAD programy určené pro navrhování, výrobu a vývoj komplexních strojních součástí. Tento software není používán pouze k navrhování, ale také k simulaci a analýze navržených součástí. Úspěšně je využíván jak v automobilovém, tak i leteckém průmyslu. Program vznikl ve Francii a vyvinula ho společnost Dassault Systemes.

Při návrhu vstřikovaného dílu bylo využito prostředí Part Design, v němž byly efektivně využity všechny možné nástroje k vytvoření tohoto složitého dílce. Pro vytvoření tvárníku a tvárnice bylo použito prostředí Generative Shape Design. Pro konstrukci vstřikovací formy bylo použito prostředí Mold Tooling Design, které umožňuje sestavení formy pomocí předinstalované knihovny normálií od firmy Meusburger. Samostatný výkres formy byl následně vytvořen v prostředí Drafting.

Tímto integrovaným přístupem byl zajištěn komplexní návrh vstřikovaného dílu a související formy v prostředí Catia, přičemž byla dodržena přesnost a standardy konstrukčního procesu.

5.2 Knihovna MEUSBURGER

Jedná se o online katalog, který zákazníkům umožňuje rychle a přehledně vybrat potřebné díly. Každá položka v katalogu obsahuje tabulku s rozměry, stručným návodem k jejich vhodnému začlenění do formy a 3D verzí ve formátu STEP souboru. Tento formát umožňuje snadné a rychlé použití dílů, například v programu Catia. Tímto způsobem je zajištěna efektivní komunikace mezi zákazníkem a dodavatelem a umožňuje rychlé začlenění potřebných dílů do konstrukčního procesu.

6 POPIS VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

Vstřikovaný díl, který jsem si zvolil je postřikovací koncovka na zahradní hadici, která se používá na rozprašování vody, která často se využívá pro zavlažování zahrad a čištění venkovních ploch. Existují různé typy postřikovacích pistolí s nastavitelnými funkcemi. Jsou navrženy pro pohodlné použití a bezpečnou manipulaci.



Obr. 22: 3D model vstřikovaného dílu

6.1 Materiál dílu

Pro vstřikovaný díl byl zvolen materiál polypropylen (PP). Tento materiál byl vybrán kvůli několika klíčovým vlastnostem, které jsou ideální pro použití v prostředí, kde bude postřikovací koncovka na zahradní hadici vystavena vodě a vlhkosti. Polypropylen je znám svou vysokou odolností proti korozivním látkám a chemikáliím, jako jsou různá hnojiva, pesticidy a čisticí prostředky, které mohou být přítomny ve vodě určené k postřiku. Další výhodou polypropylenu je jeho lehkost, což usnadňuje manipulaci a zvyšuje pohodlí při používání výrobku.

Polypropylen je také cenově dostupný a jeho vlastnosti umožňují snadné formování do složitých tvarů, což je pro tento výrobek nezbytné. Konkrétně byl vybrán typ PP od firmy SABIC, označený jako SABIC PP 108MF10, který splňuje všechny požadavky na odolnost, manipulovatelnost a ekonomičnost.

Tab. 1: Základní vlastnosti vstřikovaného materiálu PP

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota	Norma
Fyzikální			
Hustota	kg/m ³	905	ISO 1183
Smrštění	%	1,5	SABIC method
Teplotní			
Rychlost tání (při 230°C a 2,16 kg)	dg/min	10	ISO 1133
Mechanické			
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
Tvrdost podle Shore D	-	52	ISO 868

6.2 Výběr vstřikovacího stroje

Pro provedení vstřikování dílu byl vybrán vstřikovací stroj ALLROUNDER 570 S od společnosti ARBURG. Výběr stroje byl založen na rozměrech formy, která má rozměr 546x359 mm a délka je 410 mm. Pro naplnění dutiny formy a vznik vtokového zbytku je potřeba 154 cm³ taveniny. Pomocí těchto parametrů byl vybrán tenhle vstřikovací stroj.



Obr. 23: ARBURG ALLROUNDER 570 S

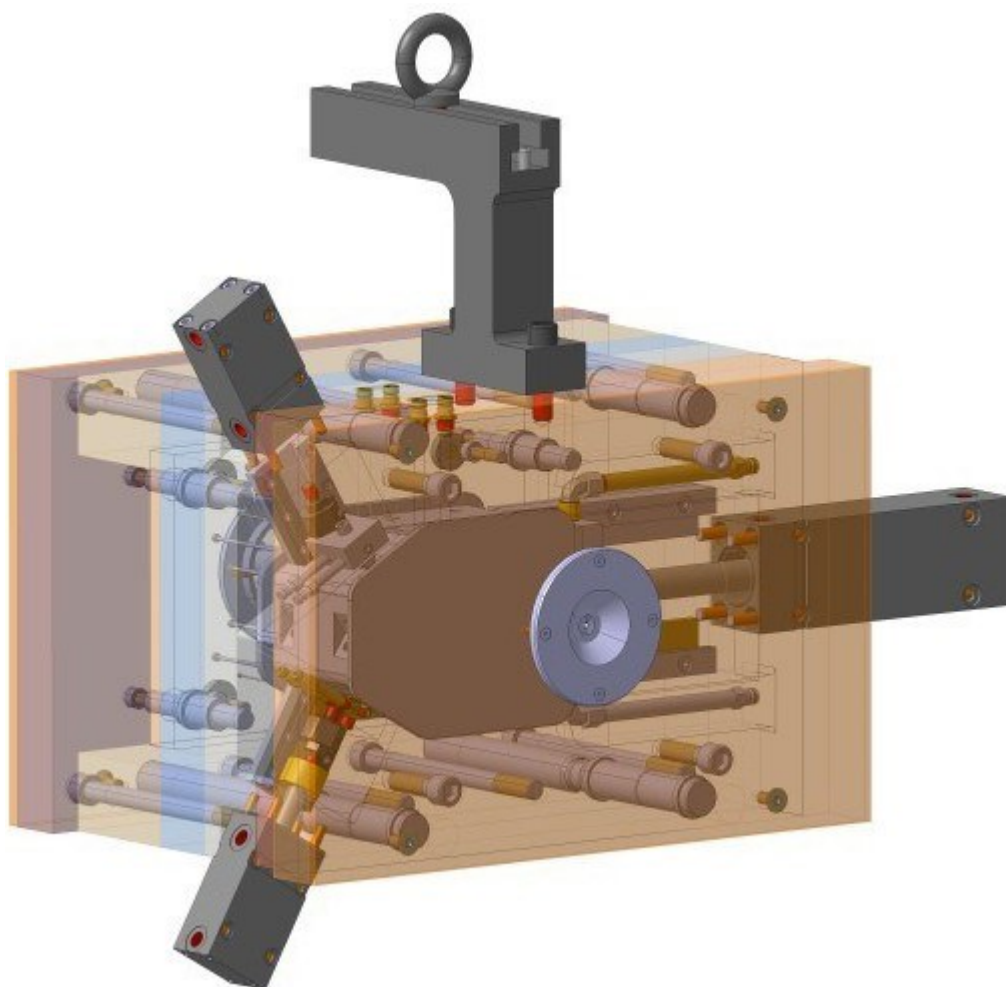
Tab. 2: Parametry pro vstřikovací stroj

Parametr	Hodnota stroje	Hodnota formy	Jednotka
Vzdálenost mezi vodící čepy	570x570	546x359	mm
Hmotnost pohyblivé části	1400	450	kg
Průměr středících kroužků	125	125	mm
Uzavírací síla	2200	-	kN
Zdvih vyhazovačů	200	32	mm
Maximální objem vstřikované dávky	184	154	cm
Otevírací zdvih	650	110	mm

7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při konstrukci vstřikovací formy je klíčové zajistit, aby výroba byla přesná, jednoduchá a ekonomicky výhodná. Proto byly využity normalizované díly od firmy Meusburger, což urychlilo vývoj formy a minimalizovalo náročnost výroby. Nenormalizované části byly navrženy pomocí softwaru CATIA V5-6R2020 a sestavení formy proběhlo v prostředí Assembly Design.

Tvar a rozměry částí formy byly navrženy s ohledem na dostatečnou tuhost a odpovídaly požadavkům na vstřikovaný díl. Desky vstřikovací formy jsou vycentrovány pomocí vodících čepů a spojeny šrouby do funkčních podsestav. Manipulace s formou je usnadněna pomocí transportního oka.



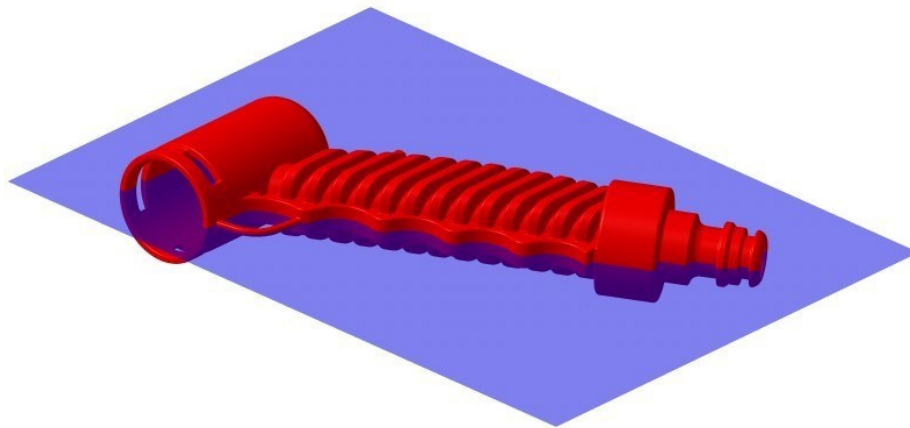
Obr. 24: 3D Sestava vstřikovací formy

7.1 Konstrukce dělicí roviny

Dělicí rovina je klíčovým prvkem procesu vstřikování plastů, kde se spojují dvě části formy: pohyblivá a nepohyblivá. Tato rovina rozděluje formu na dvě části, což umožňuje vytvoření hotového výrobku po dokončení procesu. Zajištění dokonalé těsnosti této roviny je zásadní, aby nedocházelo k úniku materiálu mimo formu. Poloha dělicí roviny je strategicky určena v souladu s návrhem výrobku a specifikacemi procesu vstřikování.

7.1.1 Hlavní dělicí rovina

Hlavní dělicí rovina byla v tohle případě zvolena ve středu všech funkční děr výrobku. Volba polohy dělicí roviny byla umístěna tak aby bylo zajištěno co nejjednodušší vyjmutí dílu ze vstřikovací formy.



Obr. 25: Hlavní dělicí rovina

7.1.2 Vedlejší dělicí rovina

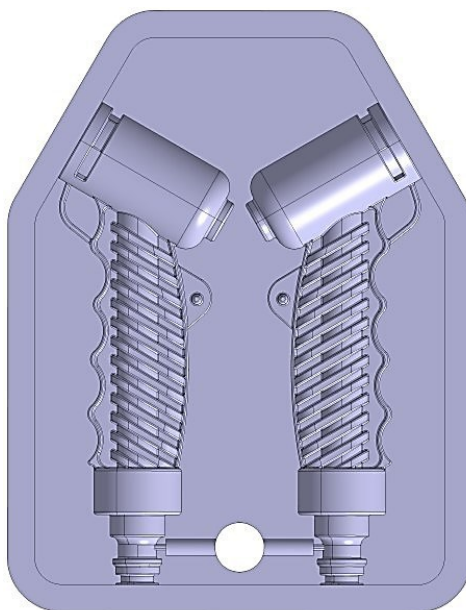
Vedlejší dělicí roviny byly umístěny s cílem odformování funkčních děr pomocí bočního hydraulického odformování.



Obr. 26: Vedlejší dělicí rovina

7.2 Násobnost formy

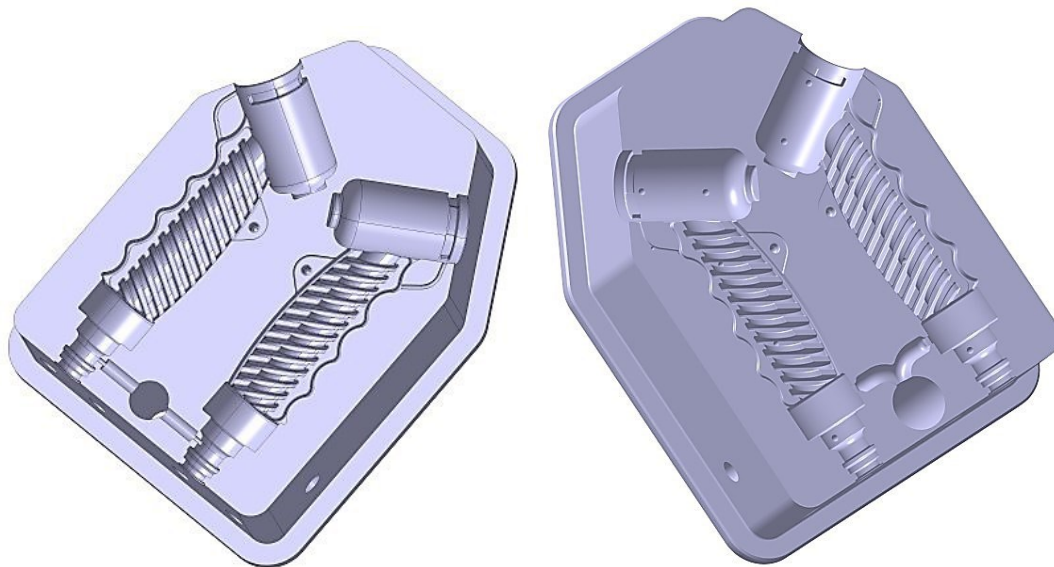
Po konzultaci s vedoucím mé bakalářské práce a zvážení všech relevantních faktorů, jako jsou složitost a přesnost vstřikovaného dílu, výkon vstřikovacího stroje, náklady na výrobu formy a požadované množství vyrobených kusů, byla zvolena dvounásobná forma.



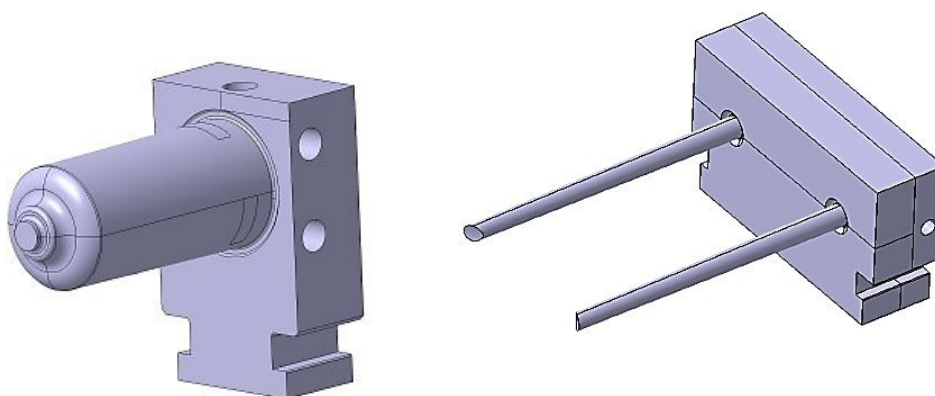
Obr. 27: Násobnost formy

7.3 Konstrukce tvarových částí

Konstrukce tvarových částí je klíčovým prvkem v návrhu vstřikovací formy. Výrobek přebírá tvarovou dutinu formy, která je složená z tvárnice (nepohyblivá strana formy) a tvárníku (pohyblivá část formy) a dvou kratších a jedné delší tvarové vložky. Tvárník a tvárnice se spojují v hlavní dělicí rovině a společně s bočními tvarovými vložkami tvoří negativní tvar výsledného výrobku.



Obr. 28: Tvárnice (vlevo) a tvárník (vpravo)

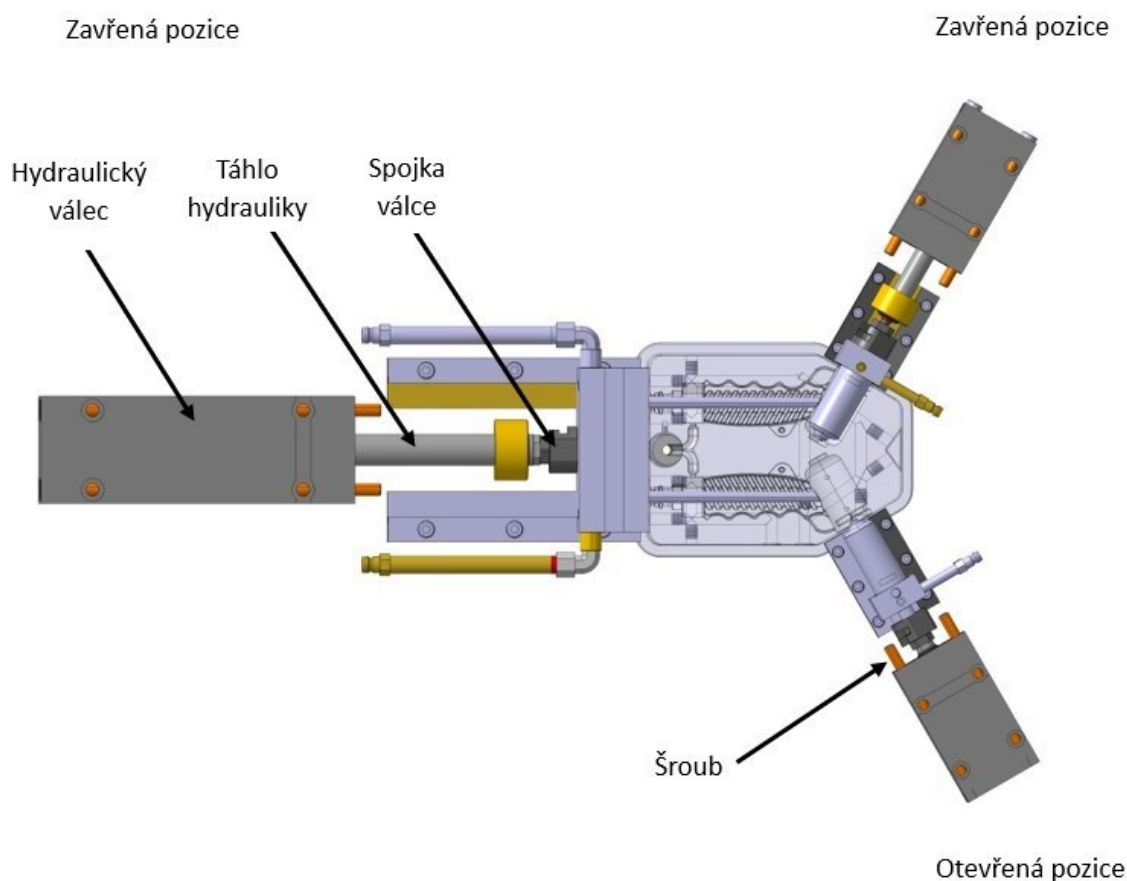


Obr. 29: Kratší tvarová vložka a delší tvarová vložka

7.4 Hydraulické odformování

Hydraulické válce k bočnímu odformování jsou používány k posunutí bočních částí vstřikovací formy, což umožňuje uvolnění vstřikovaného dílu z formy po dokončení procesu vstřikování. Tyto válce jsou poháněny hydraulickým tlakem a umožňují pohyb tvarových vložek nebo dalších prvků, které jsou zapojeny do procesu odformování. Jejich úloha je klíčová pro správné uvolnění vstřikovaných dílů a zajištění plynulého výrobního procesu.

Na odformování výsledného výrobku byli použity dva druhy hydraulických válců. Na jedné straně byli použity dva stejně velké hydraulické válce se závity od firmy Meusburger (E 7000/25/75), které jsou uloženy pod úhlem 120 stupňů a mají funkční pracovní zdvih 61 mm. Na druhé straně byl použit hydraulický válec od firmy Meusburger (E7000/40/160), který má funkční pracovní zdvih 134 mm. Hydraulické válce byli zajištěny normalizovanými šrouby od firmy Meuseburger.



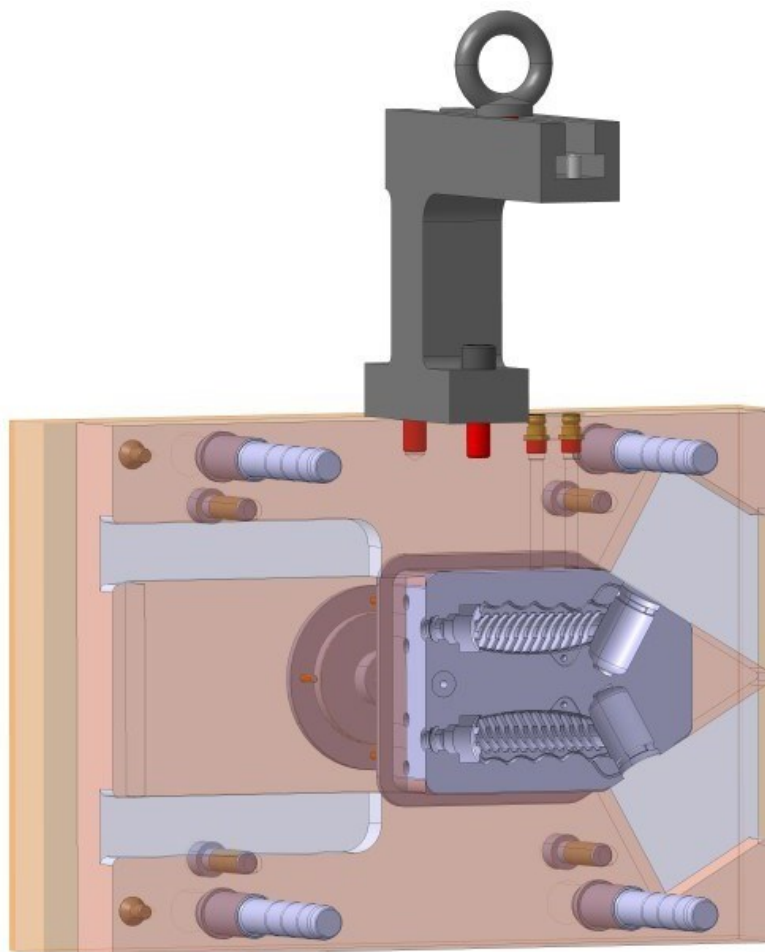
Obr. 30: Hydraulické válce na odformování

7.5 Hlavní část formy

Vstřikovací forma se skládá ze tří hlavních částí: pravé strany, levé strany a vyhazovacího systému, který je integrován do levé části formy. Komponenty formy jsou dodány firmou Meuseburger. Díly byli staženy ve formátu STEP z knihovny Meuseburger a vloženy do programu Catia V5-R62020. Velikost formy je volena 359 x 546 mm.

7.5.1 Pravá část vstřikovací formy

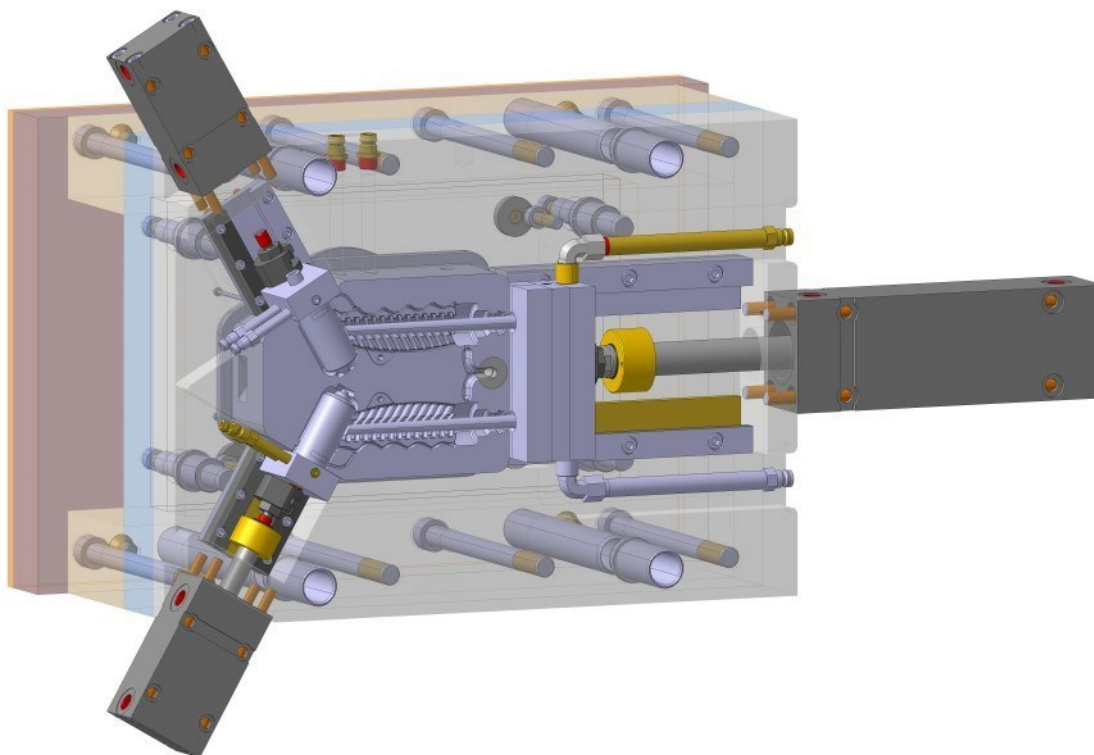
Pravá část formy je nazývána jako vstřikovací nebo taky nepohyblivá. Pravá část formy se skládá z izolační desky pravé, která je vyrobena z materiálu s nízkou vodivostí, která slouží k minimalizaci tepelného přenosu, prevenci koroze a oddělení formy od vstřikovací jednotky. Další důležitou součástí je upínací deska, která slouží k upevnění nepohyblivé části formy vstřikovacího stroje. Následující deska je tvarová, ve které je umístěna tvárnice, temperace tvárnice a studený vtok. Všechny desky jsou spojeny šrouby.



Obr. 31: Pravá část vstřikovací formy

7.5.2 Levá část vstříkovací formy

Levá část vstříkovací formy se nazývá jako pohyblivá část, která nám umožňuje vyhození hotového dílu. Hlavním úkolem je umožnit pohyb vyhazovacího systému, který vyhazuje konečný výrobek. V levé straně formy je umístěn tvárník, temperace tvárníku, tvarová vložka s hydraulickými válci temperace válců a přídržovač vtoku. Dále byla použita opěrná deska tvárníku. Další desky v levé části je kotevní deska vyhazovačů a opěrná deska vyhazovačů, které mají na starost vyhození hotového výrobku z formy. Další deska je upínací, která slouží k upevnění části formy do vstříkovacího stroje. Jako poslední je deska izolační, která má stejnou funkci jak na levé straně formy.

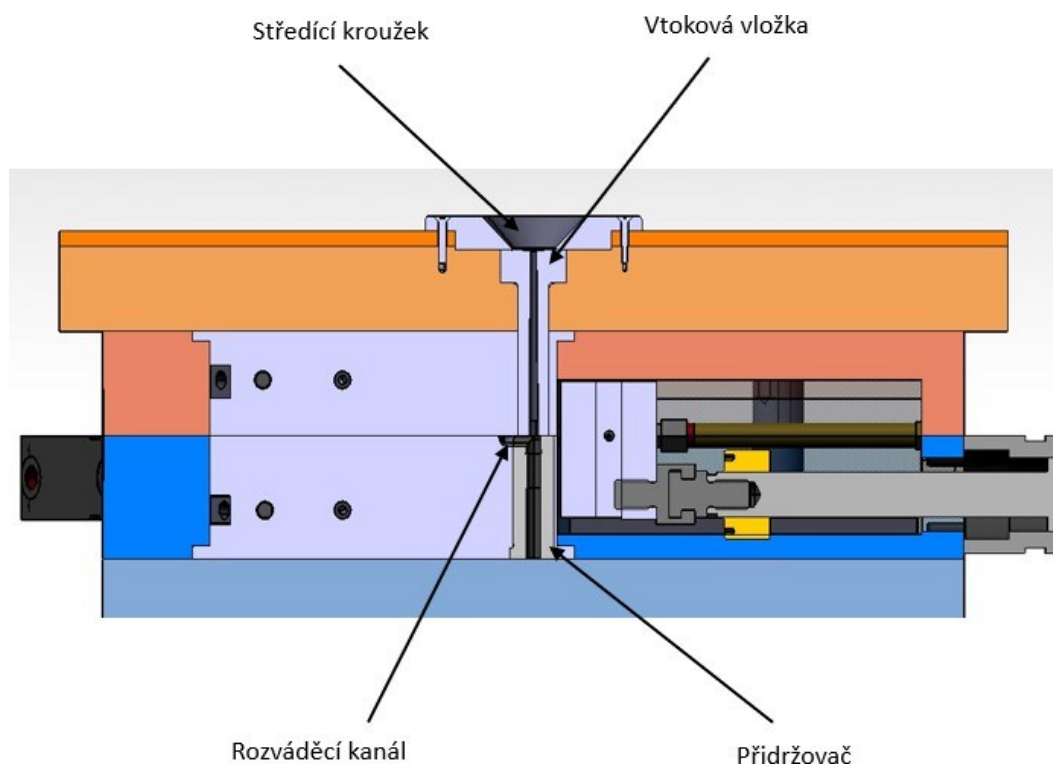


Obr. 32: Levá část vstříkovací formy

7.6 Vtokový systém

Vtokový systém má za úkol vést taveninu do formy. Klade důraz na co nejkratší trasu a rovnoměrnou délku ke všem tvarovým dutinám. U vstříkovací formy byl zvolen studený vtokový systém, který byl umístěn v důležitém (největším) rozměru daného dílu. Pro dopravu taveniny do formy slouží vtoková složka, která byla volena od firmy meusburger

typ E1600/18/86x4 a tavenina je rozváděna rozváděcím kanálem. Kanálky pokračují až do ústí vtoku, který je umístěn ve tvárníku.



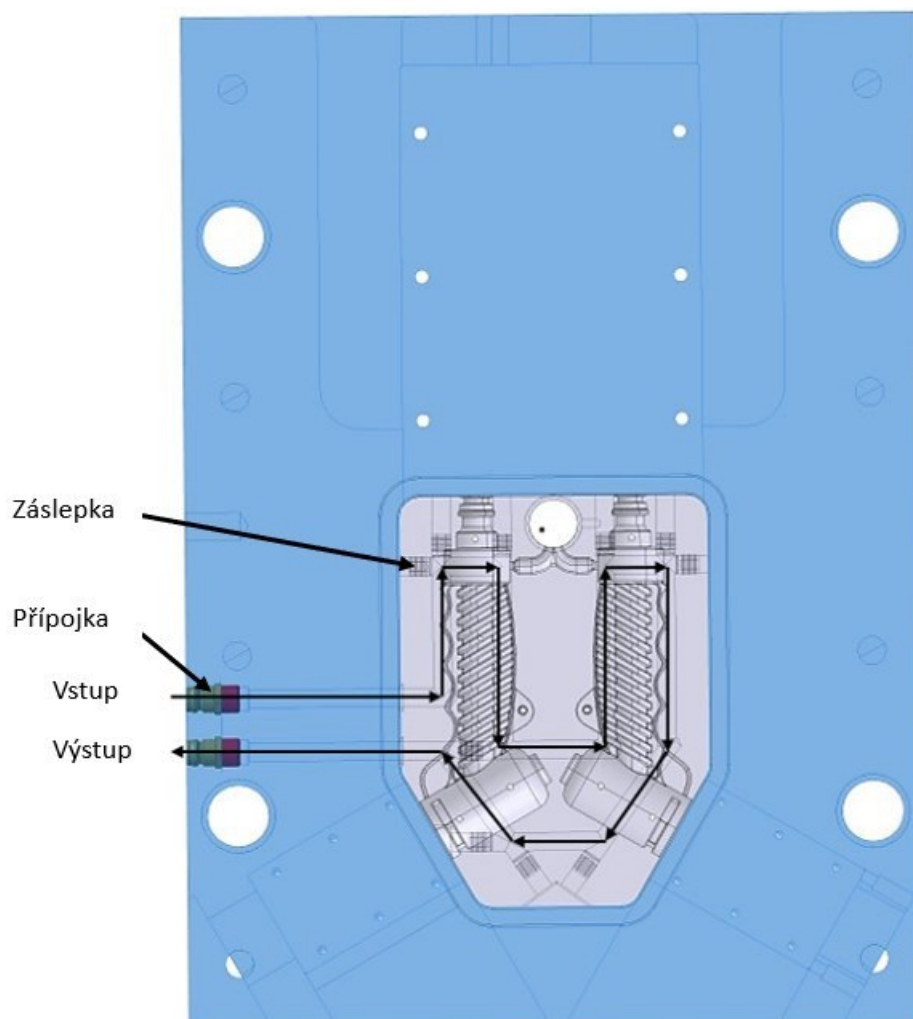
Obr. 33: Vtokový systém

7.7 Temperační systém formy

Temperační systém formy byl navržen tak, aby byla dodržena stabilní teplota ve vstřikovací formě. Byla navržena temperace na obou stranách formy a také na všech hydraulických tvarových vložkách celé formy.

7.7.1 Temperace pravé i levé strany formy

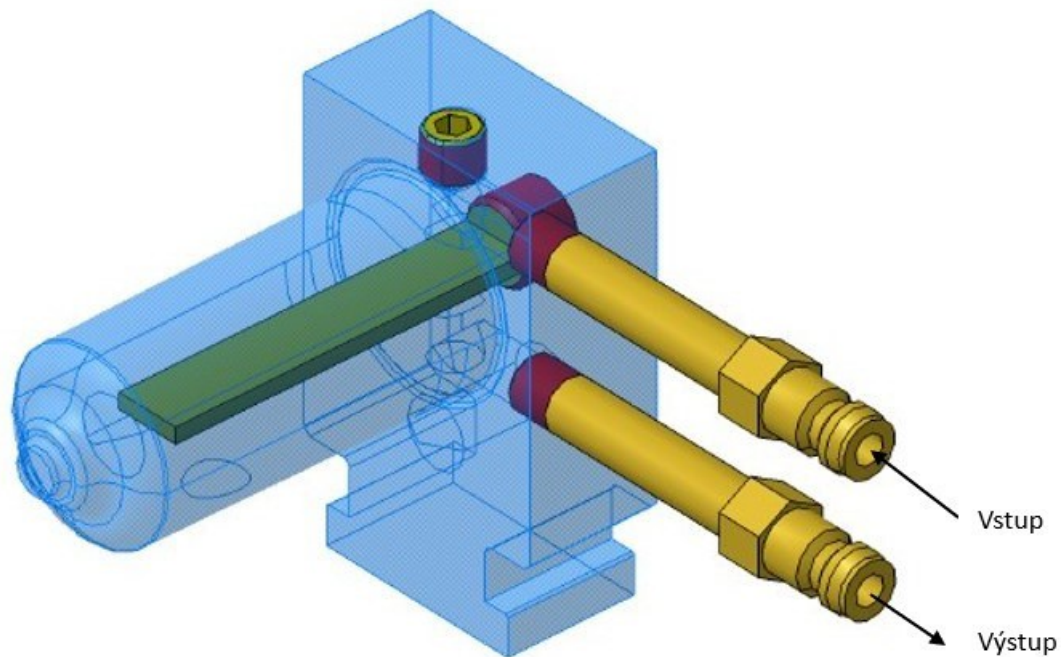
Temperace pravé i levé strany vstřikovací formy byla zvoleno symetricky. Temperace je vytvořena pomocí vyvrtaných kanálů o průměru 10 mm, které umožňují proudění temperačního média. Přípojky jsou umístěny na vstupu a na výstupu temperačního systému. Pro ucpání temperačních kanálů byli použity záslepky o průměru 10 mm od firmy Meusburger. Na obrázku níže jde vidět směr proudění temperačního média.



Obr. 34: Temperace tvárniku

7.7.2 Temperace kratší tvarové vložky

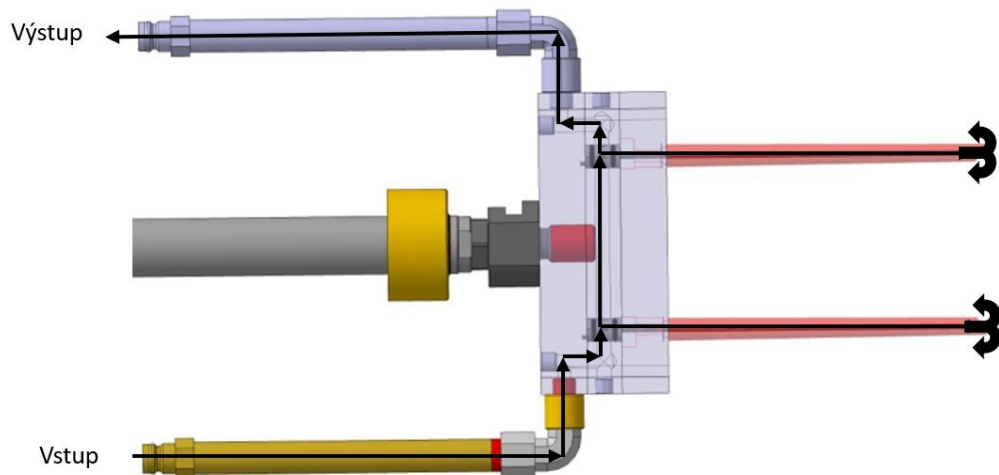
Temperace kratších tvarových vložek byla řešena tak, že vstup temperačního média jde přes přípojku s prodloužením. Ve vnitřku vložky je kanál s rovnou přepážkou od firmy Meuseburger E2100. Dochází k tomu, že médium obtéká rovnou přepážku a vystupuje zase přes přípojku s prodloužením. Na obrázku níže můžeme vidět vstup a výstup temperačního média.



Obr. 35: Temperace kratších tvarových vložek

7.7.3 Temperace delší tvarové vložky

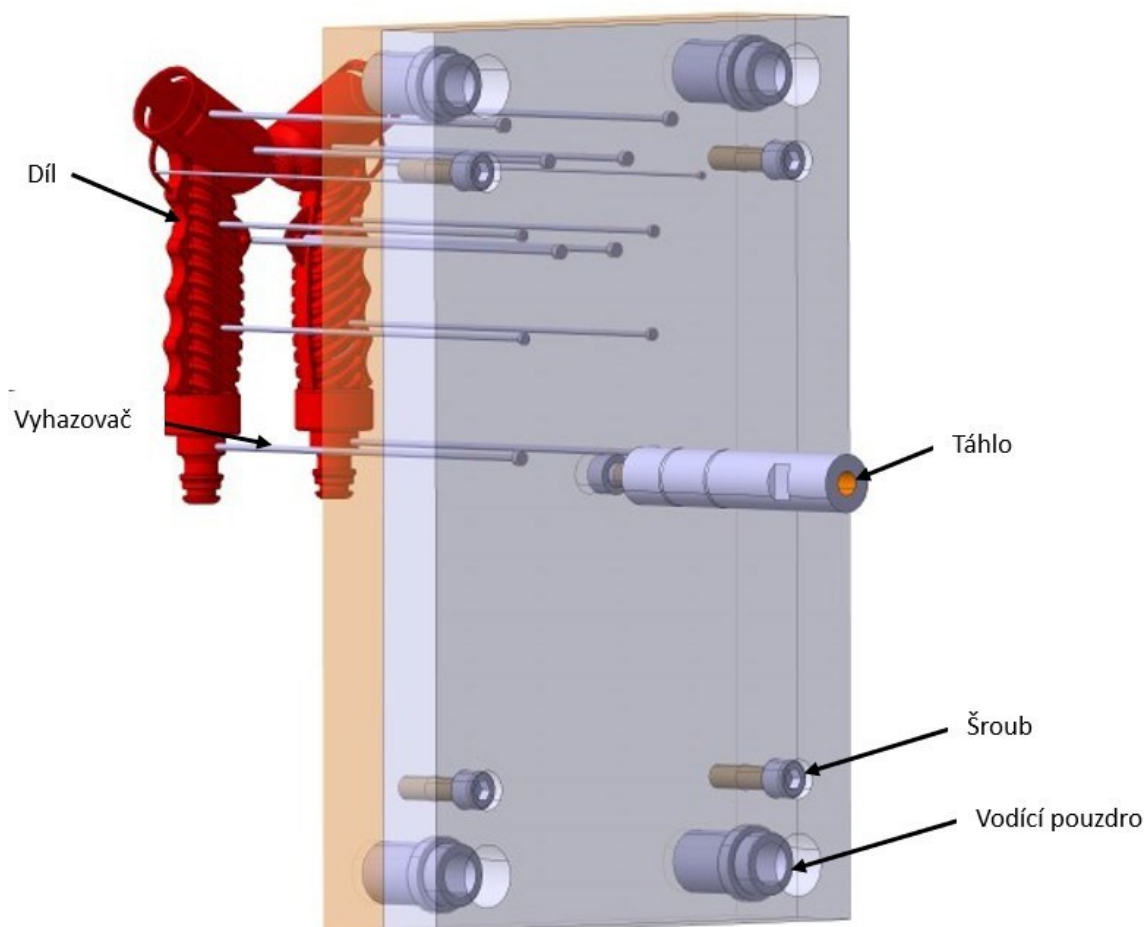
Temperace delší tvarové vložky byla řešena pomocí chladicích sériových trysek s označením E2110 z katalogu společnosti Meusburger. Proces temperace tvarové vložky je realizován tak, že vstup je umístěn na boční straně tvarové vložky a přívod temperačního média je zajištěn pomocí přípojky s prodloužením. Tvarová vložka je temperována tak, že temperační médium proudí do chladicí trysky. Vystupuje z trysky a pokračuje po vnější straně trysky. Výstup média je na druhé straně tvarové vložky.



Obr. 36: Temperace delší tvarové vložky

7.8 Vyhazovací systém

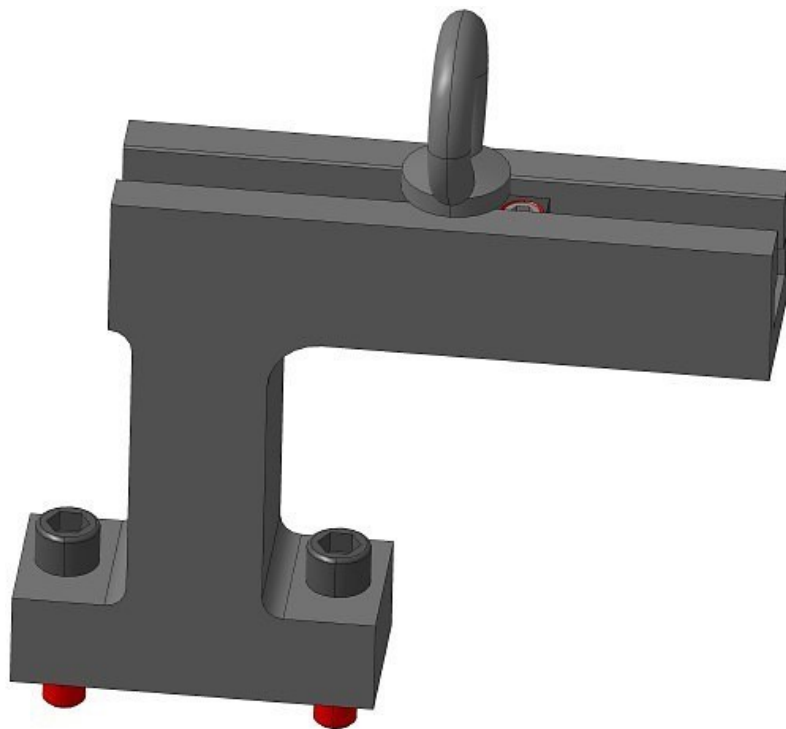
Vyhazovací systém je nenahraditelným prvkem pro vyjmutí hotového výrobku z formy. Je složen ze dvou desek z kotevní desky vyhazovačů a opěrné desky vyhazovačů. Kotevní deska obsahuje vyhazovací kolíky, které jsou umístěny, co k nejlepšímu vyjmutí daného výrobku ze stroje. Celkem bylo použito 14 vyhazovačů. Dvanáct válcových vyhazovačů E1710/3x200 bylo rozmístěno na těle dílu a dva válcové vyhazovače E1710/1,5x200 byly rozmístěny na rukojeti dílu.



Obr. 37: Vyhazovací systém

7.9 Manipulační zařízení

Pro transport formy je využito speciální transportní oko, které nám umožňuje pomocí jeřábu umístit formu do vstřikovacího stroje. Transportní oko je umístěno tak, že pevně zajišťuje hlavní dělicí rovinu formy, což znamená, že pravá a levá strana formy se neodloučí během manipulace. Jakmile je forma správně ukotvena ve stroji, transportní oko je odšroubováno, aby nebránilo vstřikovacímu procesu. Tento postup zajišťuje bezpečný a stabilní transport formy a minimalizuje riziko poškození nebo nesprávného zarovnání.



Obr. 38: Transportní oko

ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo zkoumáno vstřikování forem z teoretického i praktického hlediska. V teoretické části byly popsány všechny potřebné informace pro tvorbu vstřikovací formy, které byly následně využity v praktické části. V praktické části byla navržena dvojnásobná vstřikovací forma pro postřikovací koncovku na zahradní hadici. Po zvolení základních prvků, jako byla násobnost, orientace dílů a výběr vtoku, byla konstruována tato forma. Tato forma je považována za neobvyklou, neboť pro zhotovení výrobku bylo nutné využít 3 hydraulické válce, které společně s tvarovými vložkami tvořily negativ výrobku. Kvůli velikosti původně navržené formy a s tím souvisejícím vysokým nákladům na výrobu bylo rozhodnuto o posunutí vodících čepů, což umožnilo zmenšení formy téměř o polovinu. Celkové rozměry formy činí 346x546 mm. Vzhledem k velikosti formy byl zvolen stroj od společnosti *ARBURG ALLROUNDER 570 S*. Hydraulické jednotky se do formy budou šroubovat až po jejím ukotvení do vstřikovací formy. Posledním krokem bylo vytvoření výkresové dokumentace s kusovníkem včetně popisu jednotlivých dílů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Polymery* [online]. [cit. 2024-02-12]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [2] TIM A, OSSWALD, Lih-Sheng TURNG a Paul J GRAMANN. *Injection molding handbook OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN*. [online]. 2nd. Munich: Carl Hanser Publishers, 2008. ISBN 978-1-56990-420-6.
- [3] DEALY, John M., Daniel J. READ a Ronald G. LARSON. *Structure and Rheology of Molten Polymers - From Structure to Flow Behavior and Back Again (2nd Edition)*. 2. Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-611-8.
- [4] STRITZKE, Bernie. *Custom Molding of Thermoset Elastomers - A Comprehensive Approach to Materials, Mold Design, and Processing*. Hanser Publishers, 2009. ISBN 978-1-56990-467-1.
- [5] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering (3rd Edition)*. 3. Hanser Publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4.
- [6] VWANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang (David) HSU. *Molding Simulation - Theory and Practice*. Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-619-4.
- [7] Technologie injekčního vstřikování. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 2024-02-26]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/02.html>
- [8] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-026-1.
- [9] STANĚK PH.D., Ing. Michal. *Konstrukce forem* [online]. Zlín, 2013 [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41577/stan%202017_hp.pdf?sequence=1&isAllowed=n. Habilitační práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [10] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang (David) HSU. *Molding Simulation - Theory and Practice (2nd Edition)*. 2. Hanser Publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-884-6.
- [11] VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ TERMOPLASTŮ. *Publi knihovna* [online]. [cit. 2024-02-26]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>
- [12] Vstřikovací jednotka. *Publi knihovna* [online]. [cit. 2024-02-26]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>
- [13] RAO, Natti S. *Basic Polymer Engineering Data*. Hanser Publishers, 2017. ISBN 978-1-56990-649-1.
- [14] KUTZ, Myer. *Applied Plastics Engineering Handbook - Processing, Materials, and Applications (2nd Edition)*. 2. Elsevier, 2017. ISBN 978-0-323-39040-8.
- [15] ŘEHULA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. 3. vydání. 2007. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [16] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. brno: uniplast, 1999.

- [17] MICHAELI, Walter, Helmut GREIF, Gernot KRETZSCHMAR, a Frank EHRIG. *Training in Injection Molding - A Text- and Workbook (2nd Edition)*. 2. Hanser Publishers, 2001. ISBN 978-1-56990-302-5.
- [18] VALERO, José R. Lerma. *Plastics Injection Molding - Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices*. Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-689-7.
- [19] OSSWALD, Tim A. *Understanding Polymer Processing - Processes and Governing Equations (2nd Edition)*. 2. Hanser Publishers, 2017. ISBN 978-1-56990-647-7.
- [20] CATOEN, Bruce a Herbert REES. *Injection Mold Design Handbook*. Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.
- [21] JAROSCHEK, Christoph. *Design of Injection Molded Plastic Parts*. Hanser Publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-893-8.
- [22] *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [23] *Tvářecí nástroje vstřikovací formy* [online]. In: . s. 19-57 [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf
- [24] CALHOUN, Allison a Jerry GOLMANAVICH. *Plastics Technician's Toolbox, Volumes 1-6*. Society of Plastics Engineers (SPE), 2002. ISBN 978-1-59124-995-5.
- [25] *Hasco* [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: https://www.hasco.com/cs/H/Hork%C3%A9-trysky/Single-Shot/Nozzles/p/H63111_d1x11xsrl
- [26] KAZMER,, David O. *Injection Mold Design Engineering*. Hanser Publishers, 2007. ISBN 978-1-56990-417-6.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HDPE	polyethylen s vysokou hustotou
ABS	akrylonitribuladiestyren
PC	polykarbonát
PE	polyetylen
PP	polypropylen
PVC	polyvinylchlorid
PS	polystaren
%	procento
kN	kilonewton
mm	milimetr
3D	trojrozměrný prostor
2D	dvojrzměrný prostor
Cm ³	centimetr čtverečný

HSEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Schéma makromolekul polymerů[1]</i>	11
<i>Obr. 2: Schéma vstřikovacího cyklu [7]</i>	14
<i>Obr. 3: Diagram P-V-T během procesu vstřikování[9]</i>	16
<i>Obr. 4: Vstřikovací stroj[11]</i>	17
<i>Obr. 5: Vstřikovací jednotka[12]</i>	18
<i>Obr. 6: Schéma třízónového šneku[12]</i>	19
<i>Obr. 7: Uzavíratelná jednotka [10; 17]</i>	20
<i>Obr. 8: Kloubový mechanismus[18]</i>	21
<i>Obr. 9: Uzavíratelná hydraulická jednotka[19]</i>	22
<i>Obr. 10: Úkosy[10]</i>	26
<i>Obr. 11: Ukázka vad propadlin a dutin[10]</i>	26
<i>Obr. 12: Dva způsoby umístění dělicí roviny[20]</i>	28
<i>Obr. 13: Vliv rozmístění temperačních kanálků[23]</i>	29
<i>Obr. 14: Vtokový systém[23]</i>	29
<i>Obr. 15: Uspořádání vtokových kanálků[10]</i>	30
<i>Obr. 16: Průřez vtokových kanálů[23]</i>	31
<i>Obr. 17: Kuželový vtok[23]</i>	31
<i>Obr. 18: Bodové vtokové ústí[23]</i>	32
<i>Obr. 19: Tunelový vtok[23]</i>	32
<i>Obr. 20: Boční vtok[23]</i>	33
<i>Obr. 21: Vyhřívaná tryska[25]</i>	34
<i>Obr. 22: 3D model vstřikovaného dílu</i>	39
<i>Obr. 23: ARBURG ALLROUNDER 570 S</i>	40
<i>Obr. 24: 3D Sestava vstřikovací formy</i>	42
<i>Obr. 25: Hlavní dělicí rovina</i>	43
<i>Obr. 26: Vedlejší dělicí rovina</i>	44
<i>Obr. 27: Násobnost formy</i>	44
<i>Obr. 28: Tvárnice (vlevo) a tvárník (vpravo)</i>	45
<i>Obr. 29: Kratší tvarová vložka a delší tvarová vložka</i>	45
<i>Obr. 30: Hydraulické válce na odformování</i>	46
<i>Obr. 31: Pravá část vstřikovací formy</i>	47
<i>Obr. 32: Levá část vstřikovací formy</i>	48
<i>Obr. 33: Vtokový systém</i>	49
<i>Obr. 34: Temperace tvárníku</i>	50

<i>Obr. 35: Temperace kratších tvarových vložek.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 36: Temperace delší tvarové vložky.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 37: Vyhazovací systém.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 38: Transportní oko.....</i>	<i>54</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Základní vlastnosti vstříkovaného materiálu PP</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 2: Parametry pro vstříkovací stroj.....</i>	<i>41</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Technický list stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace formy

Příloha P IV: CD

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST



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 ⁽³⁾	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.

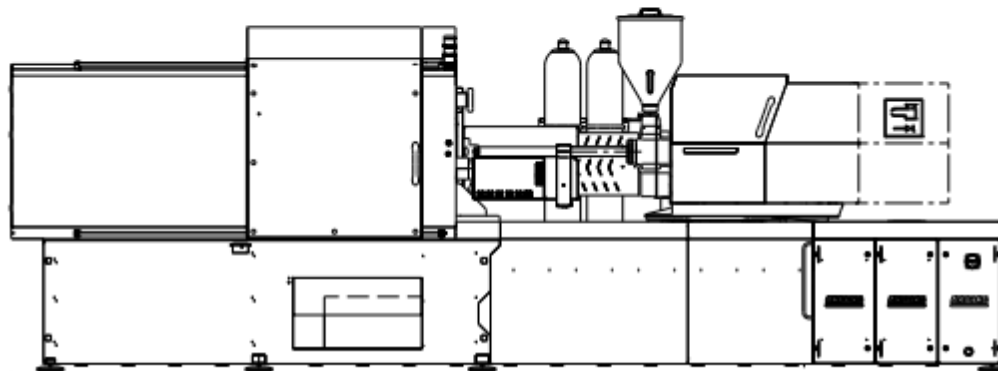
(3) Speed of testing: 1 mm/min.

(4) Temperature rate: 120°C/h.

© 2023 Copyright by SABIC. All rights reserved.

CHEMISTRY THAT MATTERS™

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST STROJE



ALLROUNDER 570 S

Distance between tie bars: 570 x 570 mm

Clamping force: 1600, 2000, 2200 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 400, 800, 1300

ARBURG

TECHNICAL DATA | 570 S

Clamping unit		570 S		
with clamping force		1600	2000	2200
Opening force stroke	max. kN mm	520 650		
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---		
Flaten daylight fixed variable	max. mm	900 ---		
Distance between tie bars (w x h)	mm	570 x 570		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	795 x 795		
Weight of movable mould half	max. kg	1400		
Ejector force stroke	max. kN mm	70 200		
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	3,1 2,8 - 399		
	2 pumps	2,4 - 399		
	Accum.	2,3 - 399		

Injection unit		400			800			1300			
with screw diameter		35	40	45	45	50	55	55	60	70	
Effective screw length	L/D	23	20	18	22	20	18	22	20	17	
Screw stroke	max. mm	160			200			240			
Calculated stroke volume	max. cm ³	154	201	254	318	392	474	558	664	904	
Shot weight	max. g PS	141	184	232	291	359	434	510	607	826	
Material throughput	max. kgh PS	25	29	35	46	53	59	86	96	115	
	max. kgh PA6.6	12,5	15	17,5	23	27	30	43	48	58	
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470	
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470	
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	128	168	212	138	170	208	---		
	2 pumps	max. cm ³ /s	128	168	212	138 174	170 214	208 260	238	284	388
	Accum.	max. cm ³ /s	492	642	814	530	656	792	714	848	1156
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	47	53	60	45	50	60	---		
	2 pumps	max. m/min	52	60	67	45 54	50 60	55 66	40	43	51
	Accum.	max. m/min	16	19	21	15	17	19	19	21	25
Screw torque	max. Nm	480	550	610	880			1510	1640	1920	
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 400			70 400			90 550			
Heating capacity zones	kW	9,7 5			19,9 8			22,9 8			
Feed hopper	l	50			50			50			

Drive and connection		1 pump		2 pumps			Accum.			
with injection unit		400	800	400	800	1300	400	800	1300	
Net weight of machine	kg	8350	8650	8350	8650	9850	---			
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	70 3		70 3			70 3			
Oil filling	l	260		260	330	410	360	360	---	
Drive power ²	max. kW	30	30	30	30	37	22	30	30	
Electrical connection ³	Total	kW	34	53	42	53	63	34	53	55
	Machine	A	80	125	100	125	125	80	125	125
	Heating	A	---		---			---		
	Heating	A	---		---			---		
Cooling water connection	max. °C	25		25			30			
	min. Δp bar	1,5 DN 25		1,5 DN 25			1,5 DN 25			

Machine type		Drive
with EUROMAP size designation ¹		
570 S 1600-400 800		1 2 Accum.
570 S 2000-400 800		1 2 Accum.
570 S 2200- --- 800 1300		- 2 pumps

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 config. - 1st value applies to the lowest clamping force.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.