

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu elektroinstalačního boxu

Erik Matůš

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Erik Matuš
Osobní číslo:	T20198
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu elektroinstalačního boxu

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vyhotovte model zadaného vstřikovaného dílu.
3. Vytvořte konstrukční návrh vstřikovací formy pro daný díl.
4. Nakreslete sestavu formy včetně patřičných pohledů a kusovníku.

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.
OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 9781569904206.
KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vaněk**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 7. února 2023

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

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro výrobu elektroinstalačního boxu z polymerního materiálu. V teoretické části jsou uvedeny základní informace o polymerech, obecné zásady při konstrukci vstřikovaného dílu z polymeru, popis technologie vstřikování a konstrukce vstřikovací formy. V praktické části je obsažen 3D model vstřikovaného dílu, návrh konstrukce vstřikovací formy a její výkresové dokumentace.

Klíčová slova: polymer, vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce vstřikovací formy

ABSTRACT

The Bachelor thesis describes an injection mold for the production of an electrical installation box made from a polymer material. The theoretical part contains basic information about polymers, general principles for the design of injection molded parts made of polymers, a description of injection molding technology, and the design of an injection mold. The practical part contains a 3D model of the injection molded component and the design of the injection mold, including its technical documentation.

Keywords: polymer, injection molding, injection mold, design of injection mold

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Jiřímu Vaňkovi, za jeho ochotný přístup, cenné rady, množství podnětů a především za jeho čas, který mi byl věnován při řešení veškerých problémů s bakalářskou prací spojených.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	12
1.1.1 Plasty	12
1.1.2 Elastomery.....	13
1.2 PŘÍPRAVA TERMOPLASTŮ PŘED JEJICH ZPRACOVÁNÍM	14
1.2.1 Míchání	14
1.2.2 Granulace	14
1.2.3 Recyklace	15
1.2.4 Sušení	15
1.2.5 Barvení	16
2 KONSTRUKCE VÝROBKŮ Z TERMOPLASTŮ	17
2.1 OBECNÉ KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VÝSTŘIKŮ.....	17
2.1.1 Geometrie stěn	17
2.1.2 Žebrování	19
2.1.3 Nálitky.....	20
2.1.4 Ostré hrany	20
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	22
3.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	22
3.1.1 Plastikační fáze.....	23
3.1.2 Vstřikovací fáze	23
3.1.3 Dotlaková fáze	24
3.1.4 Ochlazovací fáze	24
3.2 TLAK, MĚRNÝ OBJEM A TEPLOTA BĚHEM VSTŘIKOVÁNÍ	25
3.3 SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE TERMOPLASTŮ.....	26
3.4 VADY VÝSTŘIKŮ	27
3.4.1 Zjevné vady	27
3.4.2 Skryté vady.....	29
4 VSTŘIKOVACÍ STROJ	30
4.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	31
4.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	31
4.3 ŘÍDÍCÍ A REGULAČNÍ JEDNOTKA	32
5 VSTŘIKOVACÍ FORMA	33
5.1 POSTUP PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY	33
5.2 KONSTRUKCE RÁMU VSTŘIKOVACÍ FORMY	36
5.3 VTOKOVÝ SYSTÉM	37

5.3.1	Studené vtokové systémy	37
5.3.2	Vyhřívané vtokové systémy	41
5.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	44
5.4.1	Mechanický vyhazovací systém	44
5.5	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ	46
5.5.1	Mechanicky ovládaný mechanismus	46
5.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	47
5.6.1	Temparační kanály	47
5.6.2	Chlazení jádra	48
5.6.3	Temparační prostředky	48
5.7	ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉM	49
5.8	MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	52
6	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	53
7	POUŽITÉ PROGRAMY	54
7.1	CATIA V5R20	54
7.2	DATABÁZE NORMÁLÍ OD VÝROBCE MEUSBURGER	54
7.3	AUTODESK MOLDFLOW 2023	54
8	POPIS VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	55
8.1	VOLBA MATERIÁLU	56
9	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	58
10	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	59
10.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU DO VSTŘIKOVACÍ FORMY	60
10.2	STANOVENÍ NÁSOBNOSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
10.3	TVAROVÉ DÍLY VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
10.3.1	Tvárník	62
10.3.2	Tvárnice	63
10.3.3	Posuvná čelist a její funkce	64
10.4	VTOKOVÝ SYSTÉM	66
10.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	66
10.5.1	Temperace tvárníku	67
10.5.2	Temperace tvárnice	68
10.5.3	Temperace posuvných čelistí	70
10.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	71
10.7	ODVZDUŠNĚNÍ	72
10.8	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	72
11	ANALÝZY PRŮBĚHU TOKU TAVENINY	76

11.1	VHODNOST UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ	77
11.2	ČAS PLNĚNÍ	77
11.3	DISKUZE VÝSLEDKŮ	78
ZÁVĚR	.....	79
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	.....	80
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	.....	83
SEZNAM OBRÁZKŮ	.....	85
SEZNAM TABULEK	.....	88
SEZNAM PŘÍLOH	.....	89

ÚVOD

Technologie vstřikování je v současné době jedním z nejuniverzálnějších a nejdůležitějších výrobních procesů při hromadné výrobě plastových dílů různých tvarů s vysokou rozměrovou přesností. Jedná se o hlavní zpracovatelskou technologii, kterou je celosvětově zpracovávána přibližně třetina všech plastů. [1]

Principem vstřikování je opakující se cyklický proces, při kterém je zplastikovaný polymer vstříknut do uzavřené dutiny vstřikovací formy, která udává výrobku finální tvar. Po ochlazení na vyhazovací teplotu je vstřikovací forma otevřena a dochází k vyhození výrobku. Výrobky, které jsou vyrobeny technologií vstřikování, se označují jako výstřiky. [1]

Technologie vstřikování je uplatňována téměř v každém průmyslovém odvětví. Mezi nesporné výhody této technologie patří zejména možnost výroby rozmanitých tvarů při minimální spotřebě materiálu, možnost velkoobjemové průmyslové výroby s vysokou přesností a zkrácení výrobních časů. Při vstřikování je možno využít různorodé polymerní materiály v závislosti na požadovaných vlastnostech finálního výstřiku. [1]

Konstrukce vstřikovací formy je však s ohledem na požadavky jakosti a přesnosti výstřiku velmi náročná a je řešena zvláště pro každý technologický projekt. To zapříčiňuje také zvýšení ekonomické náročnosti její následné výroby. Chybovosti během výrobního procesu je předcházeno využitím 3D softwarů a simulačních programů, v důsledku čehož je zajištěn nejlepší možný průběh při řešení jednotlivých technologických projektů. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

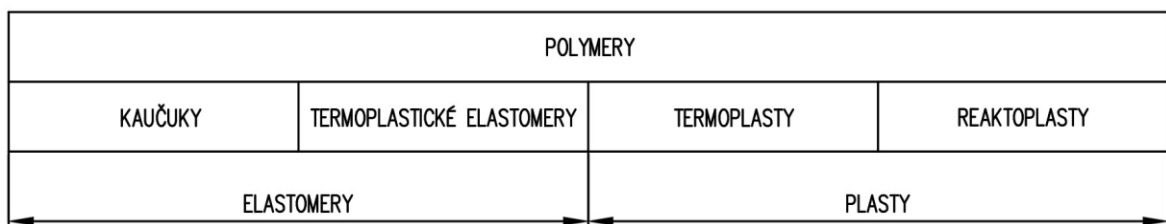
1 POLYMERY

Polymery jsou organické látky obsahující ve svých molekulách atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, ale často i dusíku, chloru a jiných prvků. Polymery vznikají chemickou reakcí - polymerací. Při polymeraci dochází k hromadné nebo násobné chemické reakci, kdy se z nízkomolekulárních monomerů utváří polymer. Vlastnosti polymeru jsou pak určovány třemi důležitými faktory:

- Chemickou strukturou,
- molekulovou hmotností,
- fázovou strukturou. [2, 3]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymery lze klasifikovat podle několika kritérií. Vzhledem k technologii vstřikování je důležité rozlišovat polymery z hlediska jejich chování dle působení teploty. [3]



Obrázek 1 Rozdělení polymerů z hlediska jejich chování dle působení teploty [3]

1.1.1 Plasty

Plasty při běžných podmínkách vykazují značnou tvrdost, často i křehkost. Vnější namáhání způsobí ve většině případů trvalé deformace. Při zvýšené teplotě se plasty stávají plastickými a tvarovatelnými. V závislosti na vratnosti těchto stavových změn se plasty rozdělují na dvě elementární skupiny - termoplasty a reaktoplasty. [3]

Termoplasty:

Termoplasty vlivem působení tepla a tlaku změknu, ale v jejich struktuře nedochází k chemickým změnám. Po ochlazení se vrátí znovu do pevného stavu. Makromolekuly termoplastů jsou lineární nebo větvené. Dle uspořádání vnitřní struktury lze termoplasty dále rozdělit na amorfní a semikrystralické. [3, 4]

- **Amorfní termoplasty** - jejich vnitřní struktura je neuspořádaná, makromolekuly zaujímají klubkovitý tvar. Neuspořádaná struktura vykazuje pouze malá smrštění. Mezi jejich významné vlastnosti patří křehkost, tvrdost a vysoká pevnost. Některé amorfní termoplasty se vyznačují nízkým indexem lomu světla a transparentností. Mezi nejčastěji vstříkované amorfní termoplasty se řadí: PS, ABS, PVC, PMMA, PC, ASA. [3, 4]
- **Semikrystalické termoplasty** - jejich vnitřní struktura je zčásti uspořádaná, ale obsahuje i neuspořádanou fázi. Makromolekuly se seskupují do lamel a vytvářejí sférolity. Neuspořádaná fáze způsobuje elasticitu a houževnatost. Důsledkem uspořádané fáze je zvýšená tuhost a pevnost. Mezi nejčastěji vstříkované semikrystalické termoplasty se řadí: PP, PE, PA, POM, PBT, PET. [3, 4]

Reaktoplasty:

U reaktoplastů dochází vlivem působení tepla a tlaku k chemické reakci - vytvrzení. Reaktoplasty přechází z lineárního nebo větveného do zesíťovaného stavu a stávají se tak nerozpustnými a znovu nezpracovatelnými. Reaktoplasty odolávají organickým rozpouštědly. Využívají se pro výrobu laminátů, lepidel, lehčených a nátěrových hmot a dalších přípravků. Mezi velmi používané reaktoplasty patří fenolformaldehydové, polyesterové a epoxidové pryskyřice. [3, 5]

1.1.2 Elastomery

Elastomery vykazují elastické chování. Za běžných podmínek je lze vratně deformovat i při použití malých sil. Jejich struktura je neuspořádaná. Určité elastomery mohou za zvýšené teploty a tlaku, při účasti vulkanizačních činidel, vulkanizovat. Vulkanizace je chemická reakce, při které dochází k síťování makromolekul. Elastomery schopné vulkanizace se nazývají kaučuky. Kaučuky se uplatňují při výrobě technické pryže. [3, 6]

Kaučuky:

Podle původu vzniku se kaučuky rozdělují na přírodní a syntetické kaučuky. [3]

- **Přírodní kaučuky** - získávají se vysrážením kyselinou mravenčí z rostlin kaučukovníku ve formě latexu, který je dále zpracováván v přírodní nebo modifikované formě. [3, 6]

- **Syntetické kaučuky** - uměle vyrobené kaučuky, které nahrazují přírodní kaučuky. Mezi hlavní druhy syntetických kaučuků lze zařadit izoprenové kaučuky, butadien a butadien-styrenové kaučuky. [3, 6]

Termoplastické elastomery:

Termoplastické elastomery jsou za zvýšené teploty opakovaně tvarovatelné a fixovatelné. Jedná se o blokové kopolymery typu ABA, přičemž prostřední blok B je tvořen ohebným řetězcem - polybutadienem nebo polyisoprenem. Koncové bloky A tvoří naopak polymer s tuhými a málo ohebnými makromolekulami - PS nebo PA. Typy polymerů A a B jsou vzájemně nemísitelné. Kopolymer vykazuje při běžných teplotách elastické chování, nad teplotou tání pak vlastnosti typické pro termoplasty. [4, 5]

1.2 Příprava termoplastů před jejich zpracováním

Před zpracováním plastů dochází k řadě technologických operací. Tyto operace ovlivňují zpracovatelnost plastů a jejich konečné vlastnosti. [7]

1.2.1 Míchání

Míchání je proces, při kterém jsou dva nebo více druhů materiálů vneseny do míchacího prostoru. Cílem je smíchat základní polymer s přísadami, které zlepší jeho vlastnosti nebo zpracovatelnost. Těmito přísadami se rozumí zejména plniva, stabilizátory, barviva nebo různá maziva. Základním požadavkem míchacího procesu je rovnoměrná distribuce míchaných složek v objemu směsi a jejich rovnoměrné rozptýlení. [7]

1.2.2 Granulace

Granulací získá polymer s přísadami konečný tvar ve formě granulí, který je velmi vhodný pro další zpracování. Granule mohou být zhotoveny například ve formě válečků nebo čoček. Polymer ve formě granulí je z hlediska sypané hmotnosti ideální pro mísení s dalšími materiály a taky dávkování. K výrobě granulátu se využívají dva hlavní způsoby - granulace z pásů a granulace ze strun. Výběr způsobu granulace je podmíněn například vlastnostmi zpracovávaného materiálu nebo ekonomikou celého zpracovatelského procesu. [11]

Granulace z pásu:

Materiál ve formě deskového polotovaru je nařezán na proužky, které jsou následně nasekány na požadovaný tvar granulátu. Tuto technologii není vhodné využít při zpracování polymerů o vyšší tvrdosti. [11]

Granulace ze strun:

Materiál ve formě taveniny je vytlačován přes vytlačovací hlavu o velkém množství kruhových otvorů. Průchodem skrze kruhové otvory získává tavenina tvar strun, které jsou následně nasekány na požadovaný tvar granulátu. K sekání může docházet za tepla i za studena. Při sekání za studena dochází ke granulaci až po ochlazení. Pro termoplastické polymery je využívána zejména technologie granulace za tepla, kdy dochází k odřezávání granulátu bezprostředně po vytlačení taveniny. Jako chladicí prostředek se využívá nejčastěji voda, vodní mlha. Tuto technologii není vhodné využít při zpracování polymerů s nízkou viskozitou. [11]

1.2.3 Recyklace

V případě termoplastů lze odpad využít jako surovinu pro opětovné zpracování. Odpady mohou vznikat během výroby nebo po skončení životního cyklu daného výrobku, a proto je důležité jejich rozlišení, protože odpad z výrobků na konci životnosti může být častokrát znečištěn nebo znehodnocen. Za vhodný technologický odpad lze označit výrobní zbytky, odstříky taveniny, vtokové zbytky nebo zmetky. [7]

1.2.4 Sušení

Některé termoplasty mohou vykazovat vyšší obsah vlhkosti, což není vhodné pro zpracovatelský proces. Mezi navlhavé termoplasty patří především PA, PC a PBT. Granulát se proto suší na výrobcem předepsaný obsah zbytkové vlhkosti. Hodnota zbytkové vlhkosti PA by měla být v mezích 0,3 % až 0,1 %. U dalších zmíněných termoplastů nesmí zbytková vlhkost přesahovat 0,02 %. Při vyšším obsahu vlhkosti dochází ke zhoršení kvality povrchu, vznikají povrchové vady výrobků a zhoršují se i jejich mechanické vlastnosti. [7]

Způsob spojení vlhkosti s materiálem hraje velkou roli při určování potřebné doby sušení. Voda může být vázána přilnavostí - povrchová vlhkost, nebo kapilárními silami - vlhkost v mikrokapilárách. Povrchová vlhkost je v každém případě nežádoucí. K sušení

dochází v sušárnách, které mohou fungovat na různých principech. Nejčastěji se užívá sušení mokrým ohřátým vzduchem nebo suchým vzduchem. [7]

1.2.5 Barvení

Před tvářecím procesem se přimíchávají do surových granulátů různé barvivové koncentráty, které upravují estetické vlastnosti zpracovávaného materiálu. Pro dávkování koncentrátů se používají objemová nebo váhová zařízení, která mohou být součástí linky pro přípravu materiálu nebo přímo součástí výrobního stroje. [7]

2 KONSTRUKCE VÝROBKŮ Z TERMOPLASTŮ

Konstrukce výstřiků je závislá na mnoha faktorech, a proto je důležité jejich důsledné zvážení. Mezi nejdůležitější faktory lze řadit:

- Výrobní možnosti a metody,
- požadovaná rozměrová a tvarová přesnost,
- konstrukční zásady výrobků pro vstřikování,
- mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti,
- estetické vlastnosti a jakost povrchu,
- prostředí použití,
- ekonomická náročnost,
- možnost recyklace. [4]

2.1 Obecné konstrukční zásady výstřiků

Tvary výstřiku by měly být navrženy konstruktérem tak, aby bylo co nejvíce eliminováno použití pohyblivých tvarových dílů forem, šikmých nebo tvarových vyhazovačů a hydraulicky nebo jinak ovládaných jader. [4]

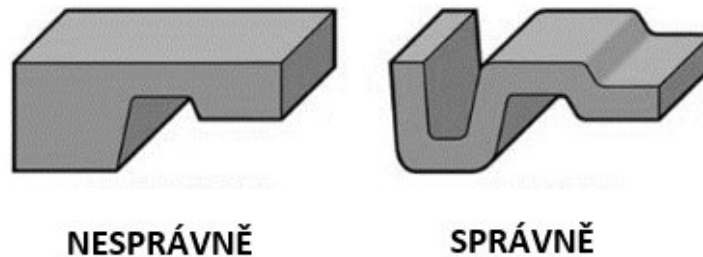
Hlavním úkolem je určení dělicích rovin podle konstrukce výstřiku. Výstřik bude zaformován minimálně ve dvou částech formy, proto jeho tvarová řešení musí být navržena tak, aby bylo možné jeho bezproblémové odformování. Již při návrhu tvarové geometrie výstřiku by měl konstruktér zohlednit následnou vyrobitelnost tvarových dílů. Způsobem zaformování je podmíněna volba vyhazovacího, vtokového a temperačního systému. [4]

2.1.1 Geometrie stěn

Tloušťka stěny:

Zásadním pravidlem při vstřikování termoplastů je pokud možno dodržení jednotné a symetrické tloušťky stěn výstřiku. V úsecích s tlustými nebo tenkými stěnami by docházelo k rozdílným časům při ochlazování a dalším nestabilitám. Po dosažení vyhazovací teploty budou v blízkosti tlustých stěn vyšší teploty, než v blízkosti tenkých stěn. Tyto teplotní rozdíly způsobí při smršťování geometrické vady výrobku, propadliny nebo rozměrové nepřesnosti. [8, 9]

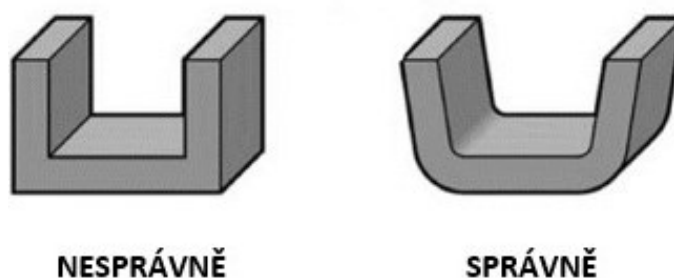
Příliš velká tloušťka stěny by měla za následek velkou hmotnost a tuhost vstřikovaného dílu, vznik deformací a propadlin vlivem nerovnoměrného chlazení a neefektivního působení dotlaku. V neposlední řadě by příliš velká tloušťka stěny značně prodloužila dobu vstřikovacího cyklu, a proto se volí co nejmenší možná. [8, 9]



Obrázek 2 Příklad vhodného návrhu tloušťku stěny výrobku [10]

Konstrukční úkosy:

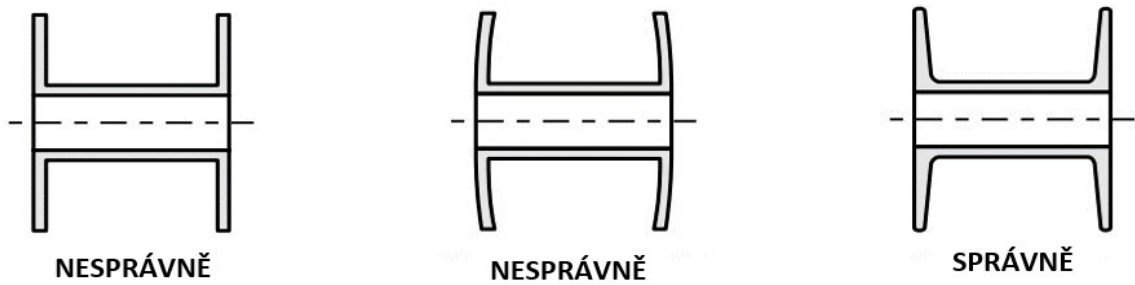
Úkosy na vnitřních i vnějších stěnách jsou nezbytné pro snadné odformování výstřiku z formy. Vnější stěny vyžadují menší úkosy, než vnitřní stěny. Pro vnější úkosy jsou jejich minimální hodnoty mezi $0,25^\circ$ až $0,5^\circ$, pro vnitřní $0,5^\circ$ až 1° . Ve většině případů jsou uvedené hodnoty adekvátní. Optimální zhotovení úkosů je podmíněno mnoha faktory - druh vstřikovaného materiálu, směr a způsob vyhazování nebo velikost koeficientu tření povrchu dutiny formy. [8]



Obrázek 3 Příklad vhodného návrhu úkosů výrobku [10]

Tvarová geometrie:

Tvary stěn výstřiku musí zaručit dokonalé zaformování. Nekonenční tvary stěn mohou být příčinou nežádoucích vad výstřiku. Vzhledem k tomu, že požadavky zákazníka na tvarovou geometrii dílu mohou být různorodé a ne vždy bezproblémově realizovatelné, je nutné hledat kompromis mezi původním návrhem a optimálně vyrobiteľným dílem. [8]

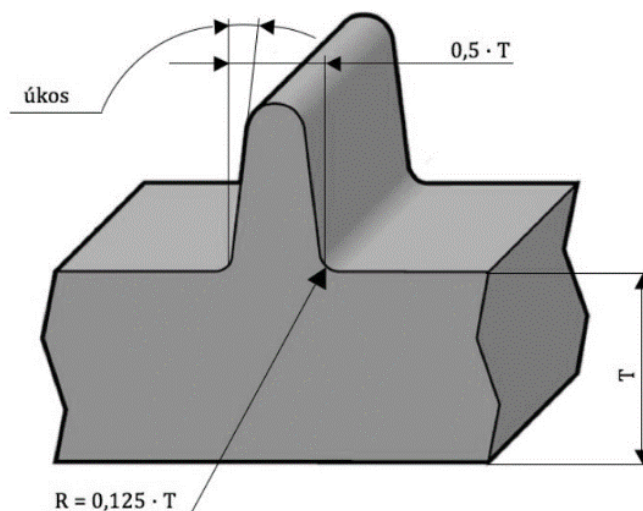


Obrázek 4 Tvarové geometrie výstřiku [8]

2.1.2 Žebrování

Žebra jsou důležitým konstrukčním prvkem výstřiků, u kterých je vyžadována vyšší pevnost nebo tuhost, aniž by byla zvětšena tloušťka stěny. Při konstrukci žeber platí určitá doporučení:

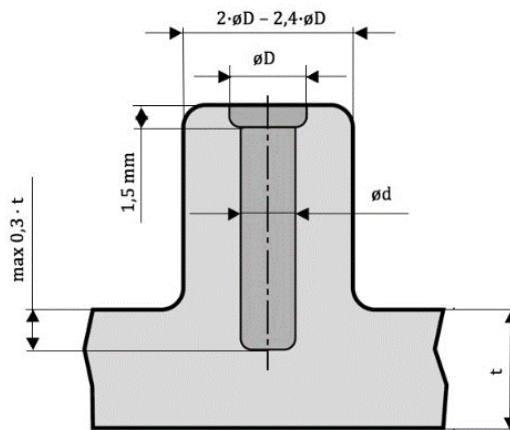
- Tloušťka žeber by neměla přesáhnout 50 % tloušťky základní stěny,
- není vhodné kombinovat žebra různých tlouštěk,
- vhodnější je navrhnout více žeber menší tloušťky,
- rozteč žeber by měla být alespoň dvojnásobkem tloušťky stěny,
- žebra nesmí bránit toku taveniny v dutině,
- minimální úkosy žeber by měly být $0,75^\circ$ až 1° . [8, 4]



Obrázek 5 Doporučené rozměry žebra [10]

2.1.3 Nálitky

Nálitky jsou obvykle válce s vnitřním otvorem, využívající se pro spojení více komponent za použití samořezných šroubů. Nálitky musí být schopny odolat krouticímu momentu, který vzniká při utahování šroubů a taky potenciální tahové síle při konečném použití. Nejčastěji jsou umístěny k bočním stěnám nebo koncovým rohům. Ke stěnám by měly být připojeny pomocí podpor, ale v určitých případech mohou být jejich součástí. Pro konstrukci nálitků platí podobná doporučení jako pro konstrukci žeber. [9]

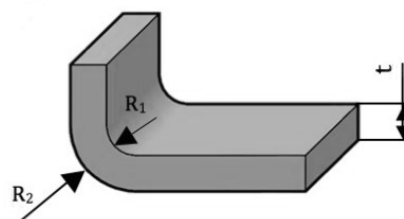


Obrázek 6 Doporučené rozměry nálitku [10]

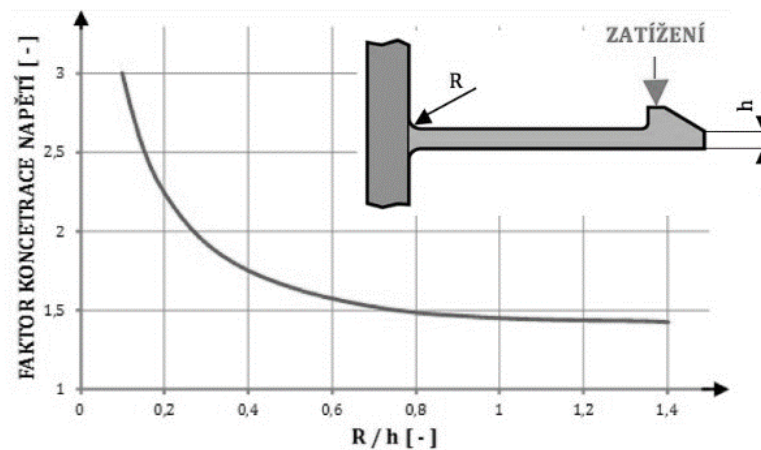
2.1.4 Ostré hrany

Vnitřní rohy a vruby:

Vnitřní rohy a vruby mají za následek zvýšenou koncentraci napětí v těchto místech, která může zvláště při zatížení u křehkých materiálů vyvolat deformaci a v krajním případě způsobit praskliny nebo i přetržení. Proto se tato místa vždy opatřují zaoblením jak na vnitřní, tak i na vnější straně stěny. Zaoblení zlepšuje rázovou houževnatost, ale taky usnadňuje vyhození výstřiku z formy a zvyšuje životnost formy snížením kavitace v její tvarové dutině. Doporučená velikost vnitřních zaoblení je v ideálním případě polovina tloušťky stěny, minimální doporučená hodnota se udává jako 0,1 mm. Zaoblení musí být zhotoveno s kvalitní povrchovou úpravou, aby byl zaručen rovnoměrný tok taveniny. [8]



Obrázek 7 Příklad vhodného zaoblení ostrých hran [10]



Obrázek 8 Vliv velikosti zaoblení na velikost koncentrace napětí [10]

Vnější hrany:

Při konstrukci výstřiku je potřeba vzít v úvahu i bezpečnostní hledisko - ostré hrany mohou způsobit poranění. Proto se vnější hrany opatřují zaoblením nebo zkosením pod úhlem pod úhlem 45 °. Zkosení zabraňuje negativním problémům s tokem taveniny a může být aplikováno i pro efektivnější přenos tepla poblíž rohů nebo zvýšení pevnosti a tuhosti výstřiku. [9]

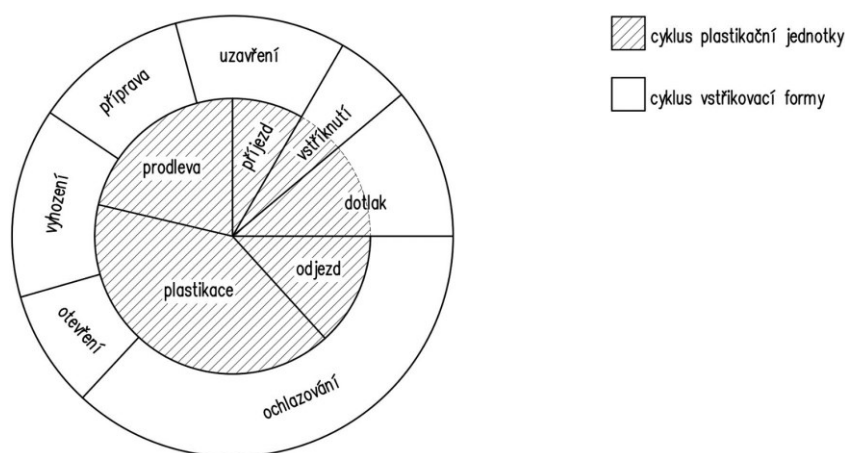
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je v současné době nejpoužívanější technologií pro zpracování polymerních materiálů. Jedná se o cyklický tvářecí proces, který je význačný tím, že zpracovávaný materiál se v rámci vstřikovacího cyklu v žádném okamžiku nedostává do zcela rovnovážného stavu vzhledem k podmínkám, ve kterých se právě nachází. Podmínky jsou vyjádřené teplotou taveniny a formy, dobou vstřikovacího cyklu, napětím nebo rychlostí deformace polymerní taveniny v rámci cyklu. [4, 11]

Vstřikováním jsou vyráběny konečné výrobky, ale i polotovary a díly pro další zpracování. Mezi hlavní přednosti vstřikování patří dobrá rozměrová i tvarová přesnost, kvalita povrchu vstřikovaných dílů a krátké výrobní cykly. Technologie vstřikování nachází uplatnění zejména ve velkosériové a hromadné výrobě. [4, 11]

3.1 Vstřikovací cyklus

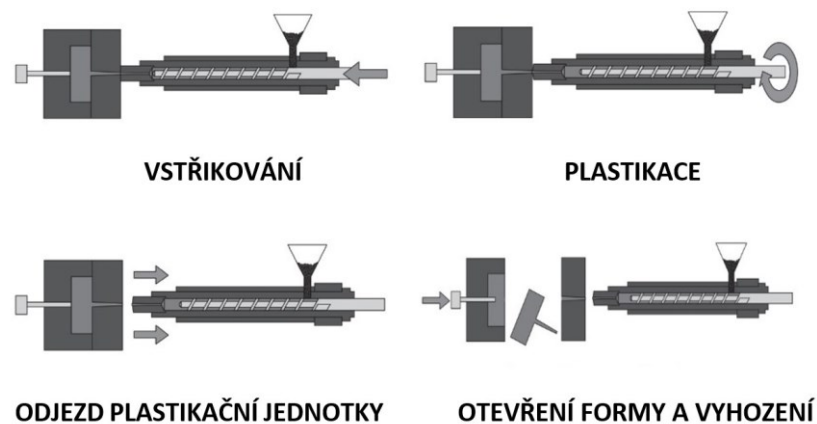
Vstřikovací cyklus lze definovat jako sled přesně specifikovaných fází, které se podílejí na výrobě vstřikovaného dílu. Během vstřikovacího cyklu prochází polymerní materiál teplotním a tlakovým cyklem. [12]



Obrázek 9 Výšečový diagram vstřikovacího cyklu [27]

Vstřikovací cyklus začíná uzavřením vstřikovací formy. Plastikační jednotka se i s připravenou taveninou nachází ve výchozí poloze. Následně se plastikační jednotka přisouvá a dosedá tryskou na uzavřenou formu. Při dosednutí dojde ke vstřiku taveniny skrze vtokovou vložku, skrze kterou tavenina dále proudí pomocí rozvodných kanálů a vtokového ústí do dutiny formy. Po vyplnění dutiny formy se začíná tavenina ochlazovat. Plastikační jednotka se následně vrací do výchozí polohy. Po požadovaném ztuhnutí taveniny je forma

otevřena a dochází k fázi vyhození výstřiku, během které se v plastikační jednotce připravuje dávka taveniny pro další vstříkovací cyklus. [12]



Obrázek 10 Vstříkovací cyklus [19]

3.1.1 Plastikační fáze

Během plastikační fáze dochází k plastikaci materiálu, jeho homogenizaci a následné přípravě taveniny pro vstříknutí do dutiny formy. Plastikace probíhá v plastikační komoře, ve které je uložen šnek. Při plastikaci se šnek otáčí a posouvá zpět, zplastikovaný materiál je dopravován před čelo šneku směrem k trysce, kde je hromaděn a homogenizován. [4]

Aby došlo k optimálnímu naplnění tvarové dutiny formy, je důležité zajistit teplotní a viskozitní homogenitu dávky taveniny před čelem šneku. K tomu přispívá ideální nastavení teplot v topných pásmech, obvodová rychlost a zpětný odpor šneku. Špatně zhomogenizovaná tavenina by mohla zapříčinit vznik tokových čar a studených spojů. [4]

Orientace makromolekul výstřiku se odvíjí od teploty taveniny. S rostoucí teplotou klesá stupeň orientace a výstřik se stává izotropním. Ve směru toku taveniny dochází k degradaci houževnatosti a pevnosti v tahu, naopak se snižuje vnitřní pnutí a pevnost studených spojů se zvyšuje. [4]

3.1.2 Vstříkovací fáze

V průběhu vstříkovací fáze dochází k vyplnění tvarové dutiny formy homogenní taveninou. Při vstříkování se šnek neotáčí, posouvá se dopředu jako píst a tlačí taveninu z plastikační komory do formy přes vstříkovací trysku. Vstříkovací fáze se dělí na plnění a dotlak. [4]

Plnění musí probíhat dostatečně rychle a zároveň tak, aby rychlost čela proudu taveniny byla v každém místě průřezu tvarové dutiny obdobná, čímž se zabrání předčasnému chladnutí a tuhnutí taveniny. [4]

K dotlaku dojde po naplnění všech tvarových dutin formy. Tlak stoupne na 80 - 90 % hodnoty vstřikovacího tlaku a zároveň klesne vstřikovací rychlost. Přepnutí ze vstřikovacího tlaku musí být provedeno tak, aby tlaková odezva v průběhu plnicí fáze byla plynulá - po přepnutí nesmí být propad ani výrazné zvýšení tlaku na tlakové křivce. K přepnutí dochází dosažením tlakového maxima. Předčasné přepnutí tlaku může zapříčinit zvýšení anizotropie a vysoké vnitřní pnutí. [4]

3.1.3 Dotlaková fáze

Dotlaková fáze kompenzuje rozměrové nedostatky, které vznikají vlivem úbytku objemu vstřikovaného materiálu během jeho smršťování v dutině formy. Zároveň se eliminuje vznik případných deformací, propadlin a bublin. Dotlakem je rovněž zajištěno lepší vykopírování povrchu (dezénu, lesku) dutiny formy. [4]

Velikost a průběh dotlaku se musí volit tak, aby bylo dosaženo požadovaných tvarů, rozměrů a hmotnosti výstřiku. Pokud by byl dotlak navržen zbytečně nad optimum, může dojít ke zvýšení vnitřního pnutí ve výstřiku a ekonomické náročnosti vstřikovacího procesu. Dotlak by měl teoreticky trvat takovou dobu, dokud nedojde k zamrznutí ústí vtoku na výstřiku. [4]

3.1.4 Ochlazovací fáze

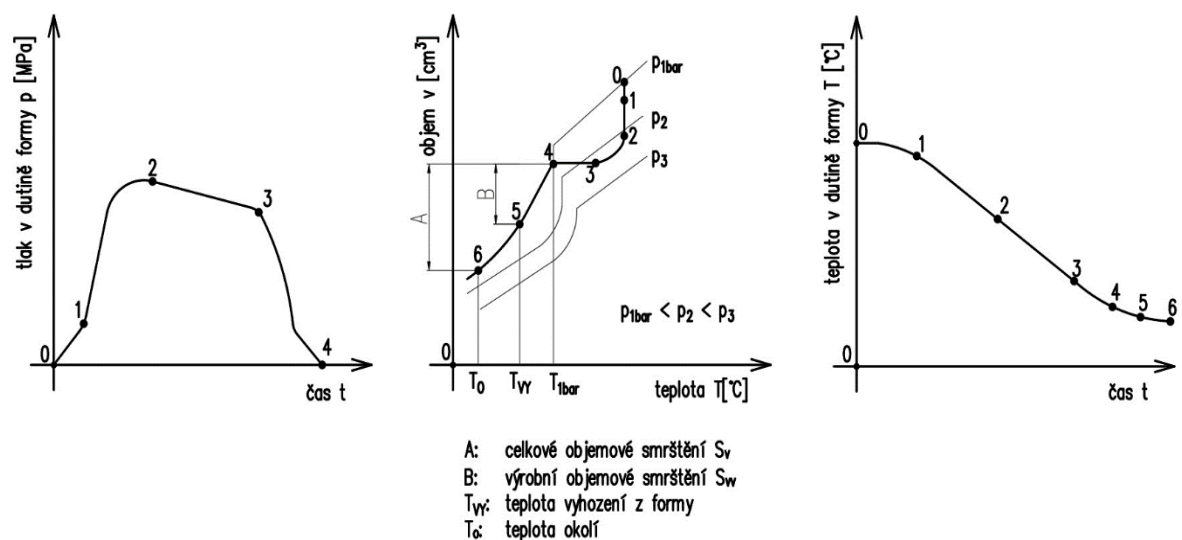
Ochlazování výstřiku začíná již během vstřikovací fáze (při začátku plnění tvarové dutiny formy taveninou) a trvá až do doby, kdy dochází k jeho vyhození z formy. Teplota formy a doba ochlazování jsou hlavními parametry ochlazovací fáze. Doba ochlazování musí být taková, aby došlo k vyhození výstřiku bez jakýchkoliv deformací nebo potenciálních vad. Teplota formy ovlivňuje jakost výstřiku, zejména kvalitu jeho povrchu. [4]

Z hlediska reologie polymeru je důležitá rychlost ochlazování, která ovlivňuje vnitřní strukturu, orientaci a tepelné pnutí. Při pomalém ochlazování se prodlužuje doba ochlazování a u semikrystalických termoplastů dochází ke zvýšenému podílu krystalické fáze (rovnoměrná struktura způsobuje minimalizaci vnitřního pnutí a maximální izotropii - vyšší kvalita výstřiků), ale zároveň nastává i větší smrštění. [4]

Z hlediska ekonomické náročnosti výroby je důležitá optimalizace doby ochlazování, protože se většinou jedná o nejdélší fázi vstřikovacího cyklu, kterou je potřeba volit s ohledem na kvalitativní a cenové požadavky odběratele výstřiku. [4]

3.2 Tlak, měrný objem a teplota během vstřikování

Průběh vstřikovacího cyklu lze znázornit v $p-v$ diagramech. Tyto diagramy popisují závislost specifického objemu na teplotě při různých tlacích a slouží nejen k teoretickému objasnění vstřikovacího procesu, ale umožňují stanovit změny měrného objemu v průběhu vstřikovacího cyklu, díky čemuž lze určit velikosti smrštění a deformace během simulačních výpočtů a následně tak optimalizovat vstřikovací proces. [4]



Obrázek 11 $p-v$ diagramy vstřikovacího cyklu [4]

Jednotlivé úseky diagramu $p-v$ lze popsat následovně:

- **Bod 0:** Tavenina v plastikační komoře je stlačována šnekem - dochází ke zvýšení tlaku na čele šneku, který dopraví taveninu do vtokového ústí,
- **bod 0-1 objemové naplnění:** Dutina formy je objemově plněna taveninou,
- **bod 1:** Objem dutiny formy je zcela vyplněn,
- **bod 1-2 komprese taveniny:** Tavenina je komprimována do dutiny formy a začíná se ochlazovat. Vnitřní tlak nabývá prakticky maximální hodnoty,
- **bod 2:** Přepnutí z plnicí fáze na fázi dotlakovou,

- **bod 2-3 izobarické chlazení:** Tavenina tuhne. Snižujícím se tlakem nastává objemové smršťování výstříku. Ke kompenzaci objemové změny dochází dotlakem,
- **bod 3:** Vtokové ústí zamrzlo. Tvarová dutina formy nepojme další taveninu. Dotlak nevyrovná objemové změny výstříku,
- **bod 3-4 izochorické chlazení:** Tlak uvnitř dutiny formy izochoricky klesá až na hodnotu atmosférického tlaku,
- **bod 4:** Tlak uvnitř formy dosáhl hodnoty atmosférického tlaku. Povrch výstříku se důsledkem smrštění odděluje od stěn tvarové dutiny formy,
- **bod 4-5 ochlazování na vyhazovací teplotu:** Nedochází ke změně tlaku. V průběhu ochlazování dojde k zatumnutí výstříku v celém objemu,
- **bod 5:** Vyhození výstříku z formy při teplotě vyhazování,
- **bod 5-6 ochlazování na pokojovou teplotu:** Chlazení výstříku probíhá mimo formu. Výstřík nabývá téměř konečného rozměrového a tvarového stavu. [4]

3.3 Smrštění a deformace termoplastů

Smrštění je objemová změna během tuhnutí polymerních tavenin, která je zapříčiněna jejich stlačitelností, rozpínavostí a kontrakcí. Deformaci lze popsat jako změnu tvaru při konstantním objemu a je výsledkem působení různých vlivů. Deformace vznikají zejména působením různých složek celkového smrštění, obzvláště:

- Rozdílného smrštění ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny,
- rozdílných hodnot smrštění u výstříků s odlišnými tloušťkami stěn,
- rozdílů smrštění způsobených nestejným působením dotlakové fáze při vstřikování,
- rozdílného smrštění vlivem nerovnoměrného teplotního pole ve formě. [4]

Semikrystalické termoplasty vykazují větší objemové smrštění než amorfni termoplasty, jelikož krystalizace způsobuje dodatečné smrštění, a proto mají i vyšší míru deformace. Přesto jsou semikrystalické termoplasty využívány ke konstrukčním účelům více než amorfni termoplasty. To je zdůvodněno především jejich charakteristickými vlastnostmi - vykazují dostatečnou pevnost, houževnatost a tuhost, která je potřebná pro odformování výstříků bez jejich poškození. [4]

Velikost smrštění lze korigovat různými způsoby:

- Zvýšením dotlaku dojde k jeho výraznému zmenšení,
- prodloužení dotlakové fáze zapříčiní jeho značnou redukci,
- nižší teplota formy způsobí jeho drobný úbytek,
- zvýšením teploty taveniny nastane jeho mírný pokles. [12]

3.4 Vady výstřiků

Ačkoliv je v současné době technologie vstřikování velmi rozvinutá, nelze vyloučit během výroby různé vady výstřiků, přestože jsou k dispozici stále pokročilejší možnosti simulací v programech sloužících pro předběžnou demonstraci vstřikovacího procesu. [14]

Vadu na výstřiku lze charakterizovat jako defekt, kterým se odlišuje vzhled, rozměry nebo tvary od standardu, který je specifikován výkresem, 3D modelem nebo referenčním vzorkem. Mezi hlavní příčiny vzniku vad patří:

- Konstrukce tvaru výstřiku (nerovnoměrná tloušťka stěn, konstrukce žeber, ostré rohy a hrany),
- technologické parametry (teplota, velikost tlaku a dotlaku, rychlost vstřikování, otáčky šneku, doba ochlazování),
- vstřikovací forma (nevhodná konstrukce vstřikovací formy, nízká tuhost, chybný výběr materiálu formy, návrh vtokového systému, odvzdušnění dutiny formy),
- vstřikovací stroj (malá uzavírací síla, opotřebení části stroje),
- vstřikovaný materiál (tokové vlastnosti, aditiva, neoptimální dávkování, nečistoty). [14]

3.4.1 Zjevné vady

Tyto vady jsou vizuálního charakteru. Dále se rozdělují na tvarové vady a povrchové vady.

Mezi běžně vyskytující se tvarové vady patří nedostříknutý výrobek, propadliny, přetoky, stopy po vyhazovačích a rozměrové nedokonalosti. [14, 15]

Nedostříknutý výrobek:

Při vstřikování nebyla tvarová dutina formy zcela vyplněna taveninou. [13]

Tabulka 1 Příčiny vzniku nedostříknutého výrobku [13]

Zdroj příčiny	Příčiny
Konstrukce výstříku	nevhodně zvolená tloušťka stěny
Technologické parametry	nízká vstřikovací rychlost nebo tlak, nulový zpětný tlak
Vstřikovací forma	nefunkční odvzdušnění, nevyvážený vtokový systém
Vstřikovací stroj	malý průměr trysky, opotřebený tavící válec
Vstřikovaný polymer	vysoká viskozita, neúplné roztavení, nepřesné dávkování

Propadliny:

Propadliny jsou místa na výstříku, kde povrch není v jedné rovině, ale vznikly zde nežádoucí prohlubně. [13]

Tabulka 2 Příčiny vzniku propadlin [13]

Zdroj příčiny	Příčiny
Konstrukce výstříku	nerovnoměrná tloušťka stěn
Technologické parametry	nízká vstřikovací rychlost, krátká doba ochlazování
Vstřikovací forma	nefunkční odvzdušnění, nevyvážený vtokový systém, teplota
Vstřikovací stroj	nízký výkon, typ trysky, porucha zpětného ventilu šneku
Vstřikovaný polymer	vysoká viskozita, nevhodný vliv aditiv

Přetoky:

Přetoky představují přebytečný plast, který přesahuje přes okraje výstříku. [13]

Tabulka 3 Příčiny vzniku přetoků [13]

Zdroj příčiny	Příčiny
Technologické parametry	vysoký vstřikovací tlak, vysoká teplota taveniny
Vstřikovací forma	opotřebení/poškození dělicích rovin, nevhodné odvzdušnění
Vstřikovací stroj	malá uzavírací síla, opotřebení přepínacího systému
Vstřikovaný polymer	nízká viskozita

Mezi běžné povrchové vady patří studené spoje, dieselefekt, jetting, drobné bubliny, tokové čáry, tmavé body či šmouhy, rýhovaný nebo jinak znehodnocený povrch. [16]

Studené spoje:

Studené spoje patří mezi vady, které se projevují na vzhledu výstříku, ale negativně ovlivňují i jeho mechanické vlastnosti, zejména pevnost. Vznikají spojením dvou a více čel taveniny při obtékání překážky ve formě - například jádra v dutině formy. [13]

Tabulka 4 Příčiny vzniku studených spojů [13]

Zdroj příčiny	Příčiny
Technologické parametry	nízká nebo příliš vysoká vstřikovací rychlost, nízká teplota
Vstřikovací forma	nevhodné umístění vtokového ústí, nedokonalé odvzdušnění
Vstřikovací stroj	nízký výkon stroje, malá uzavírací síla
Vstřikovaný polymer	nevhodný vliv aditiv

Dieseľefekt:

Jedná se o spálené místo, nejčastěji ve formě černé stopy, na výstřiku. K dieseľefektu dochází, pokud nejsou odváděny plyny z dutiny formy a vlivem vysokých tlaků během procesu dochází k jejich vznícení. [13]

Tabulka 5 Příčiny vzniku dieseľefektu [13]

Zdroj příčiny	Příčiny
Technologické parametry	vysoká vstřikovací rychlost, vysoký zpětný tlak
Vstřikovací forma	nefunkční odvzdušnění, kontaminace olejem nebo tukem
Vstřikovací stroj	poškozené teplotní regulátory, poškozené šrouby a jiné díly
Vstřikovaný polymer	nevhodný vliv aditiv

Jetting:

Jetting je volný proud taveniny, který postupuje tvarovou dutinou formy, dokud nenarazí na překážku. Po ochlazení se jedná o viditelnou vzhledovou vadu na výstřiku. [13]

Tabulka 6 Příčiny vzniku jettingu [13]

Zdroj příčiny	Příčiny
Technologické parametry	vysoká vstřikovací rychlost
Vstřikovací forma	nevhodný návrh a umístění vtokového systému
Vstřikovací stroj	nízký výkon stroje

3.4.2 Skryté vady

Tyto vady nelze rozpoznat vizuálně. Jedná se o různé defekty ve vnitřní struktuře materiálu, a proto je z aplikačního hlediska jejich výskyt velmi nebezpečný, protože negativně ovlivňují vlastnosti výstřiků. Skryté vady vznikají důsledkem nerovnoměrné orientace makromolekul nebo vláken, vnitřního pnutí, nerovnoměrné krystalizace, degradačních procesů nebo různých vnitřních defektů. [14]

4 VSTŘIKOVACÍ STROJ

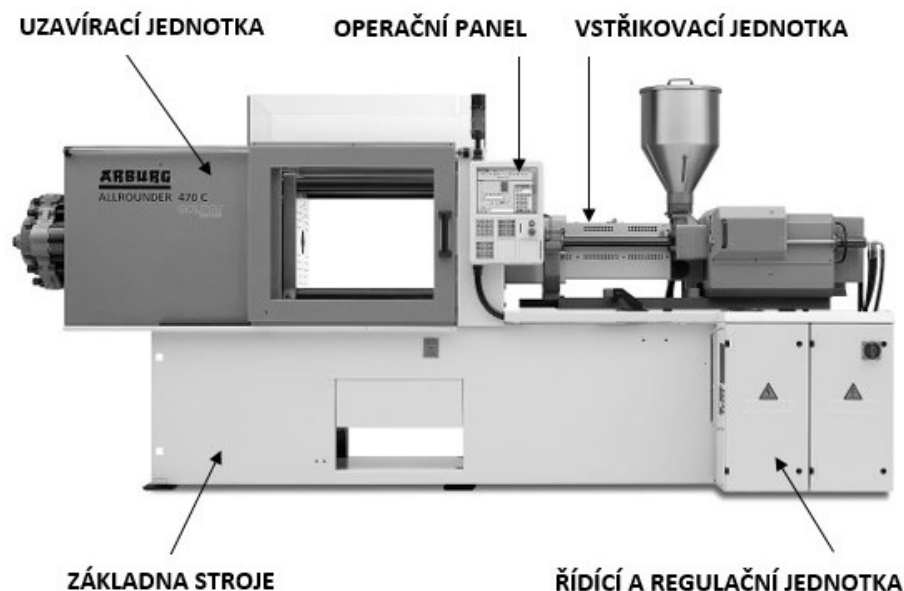
Vstřikovací stroj je zařízení, které je určeno pro zpracování polymerních materiálů, zpravidla ve formě granulátu nebo prášku. Vstřikovací stroje se nejčastěji rozdělují podle:

- *Typu pohonu zajišťující pohyb v hlavních osách:* hydraulický, elektrický nebo hybridní motor,
- *pracovního členu v plastikační komoře:* šnekové nebo pístové,
- *směru posuvu pohyblivé části uzavírací jednotky:* vertikální nebo horizontální,
- *velikosti uzavírací síly stroje:* do 50 tun, 50 - 500 tun. [17]

Vstřikovací stroj se skládá ze tří hlavních částí:

- Vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- řídicí a regulační jednotka.

Podle požadavků zákazníka je případně vstřikovací stroj výrobcem dovybaven doplňujícími prvky - dopravníky, roboty a manipulátory, sušárnami a dalšími. [17]



Obrázek 12 Vstřikovací stroj [18]

Volbu vstřikovacího stroje je třeba posoudit podle mnoha parametrů, které se odvíjí od návrhu výstřiku. [17]

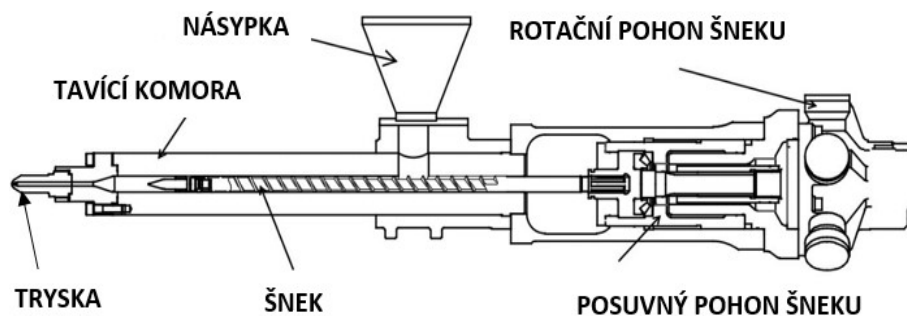
Základními parametry jsou velikost uzavírací síly stroje, vstřikovací kapacita - určuje maximální objem taveniny, který lze vstříknout z plastikační komory za jeden pracovní zdvih, plastikační kapacita - udává největší množství taveniny, které lze zplastikovat za jednotku času, vzdálenost vodících sloupků a rozměry upínacích desek. [17]

4.1 Vstřikovací jednotka

Primární funkcí vstřikovací jednotky je převést polymer z tuhého stavu do stavu viskózní taveniny a tu bezprostředně poté vstříknout do tvarové dutiny formy. [17]

Nejpoužívanější jsou vstřikovací jednotky se šnekem, který je uložen otočně i posuvně. Rotace šneku i přesun dávky taveniny je zajištěn pohonem. Přísun trysky vstřikovací jednotky ke vtokové vložce formy umožňuje posuvná konzole, ke které je vstřikovací jednotka připevněna. [17]

Polymer vstupuje do jednotky násypkou, na níž navazuje plastikační komora, která je obklopena topnými elementy (avšak většina tepla potřebného pro zpracování polymeru pochází z přeměny mechanické energie šneku na tření energii tepelnou - **disipace**). Na konci plastikační komory se nachází vstřikovací tryska, skrze kterou je tavenina vstřikována do dutiny vstřikovací formy. [17]



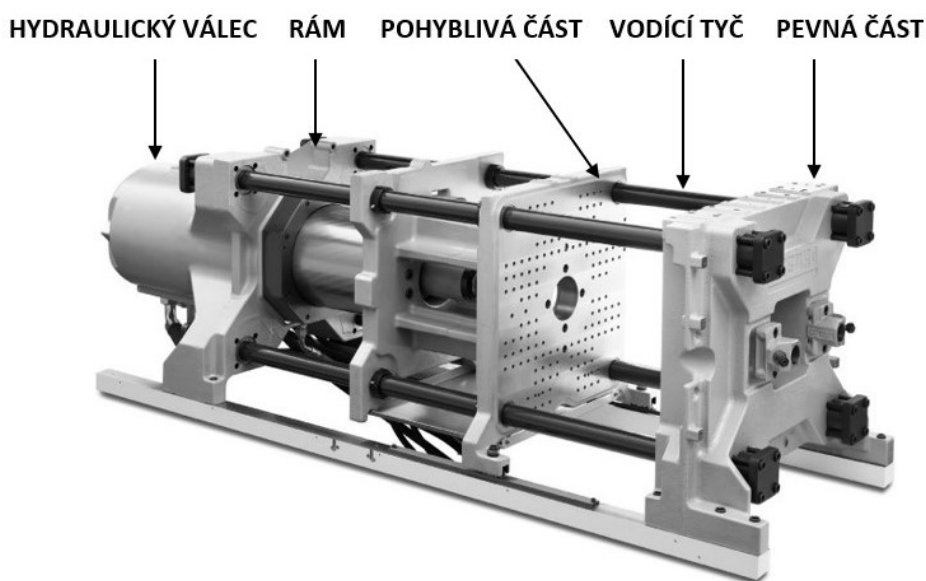
Obrázek 13 Schéma šnekové vstřikovací jednotky [21]

4.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zabezpečuje plynulé otevírání a zavírání vstřikovací formy, jež je v ní upevněna. Je složena z vodících tyčí, pevné a pohyblivé upínací desky a mechanismem vyvolujícím uzavírací sílu. Mechanismus pro vyvození uzavírací síly může být mechanický,

hydraulický nebo kombinovaný. Uzavírací síla zamezuje tlaku, vyvozenému během vstřikovací nebo dotlakové fáze, otevřít formu. [17]

Uzavírací jednotky se dělí podle způsobu ovládní na hydraulické, mechanické, elektrické nebo kombinované. Výhodou hydraulické uzavírací jednotky jsou nižší pořizovací náklady, nastavení libovolné hloubky otevření, kratší délka posuvu pohyblivé části formy a jednodušší nastavení uzavírací síly. Výhodou kombinovaných systémů je pak vyvození velké uzavírací síly a vyšší rychlost pohybů posuvné upínací desky. [17]



Obrázek 14 Hydraulická uzavírací jednotka [19]

4.3 Řídící a regulační jednotka

Základním prvkem je regulátor. Funkcí regulátoru je příjem a zpracování aktuálních hodnot monitorovaných parametrů ze vstřikovacího stroje. Tyto hodnoty případně umožňuje regulačními prvky regulovat do požadovaných mezí. Regulační systémy jsou řízeny mikroprocesory, což umožňuje optimalizaci během vstřikovacího procesu. Pro monitorování parametrů slouží barevná obrazovka s dotykovým panelem, jenž je součástí operačního panelu. Regulační jednotka zahrnuje i různá signalizační zařízení, která informují o případné poruše vstřikovacího stroje. [17]

5 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj pro výrobu plastových výrobků, jež splňuje řadu funkcí spojených s technologií vstřikování. Hlavní funkce vstřikovací formy jsou:

- Zadržení taveniny v její tvarové dutině tak, aby byla zcela vyplněna a udávala výrobku tvar dokonalé kopie tvarové dutiny,
- převod tepla z taveniny o vyšší teplotě do chladnější vstřikovací formy,
- rychlé a opakovatelné vyhození výrobku ze vstřikovací formy. [9]

Spolehlivé zajištění těchto funkcí souvisí s požadavky na vstřikovací formu, které musí splňovat:

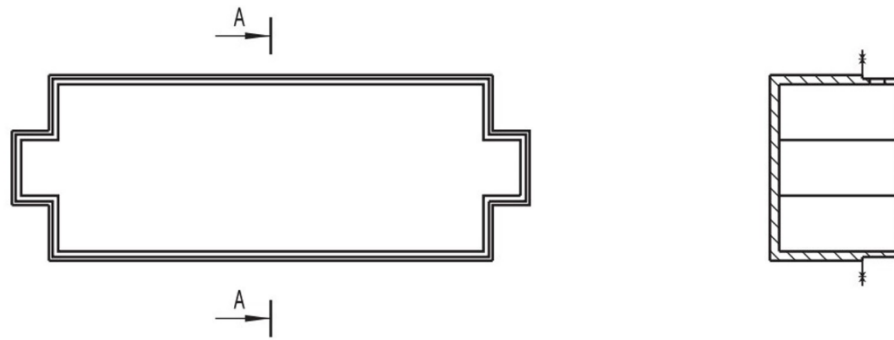
- Odolnost vůči působení velkých sil, které by mohly vést k jejímu otevření nebo vychýlení,
- zajistit laminární a vyvážený tok taveniny z trysky vstřikovacího stroje do jedné, případně více tvarových dutin. [9]

Před zahájením návrhu vstřikovací formy je nezbytně nutné mít všechny informace, jež jsou potřebné pro dosažení úspěšného návrhu:

- 3D model dílu včetně požadavků na jeho tvarovou a rozměrovou přesnost, materiál, jakost povrchu, funkčnost,
- násobnost formy,
- parametry vstřikovacího stroje,
- požadavky na montáž a provoz. [4]

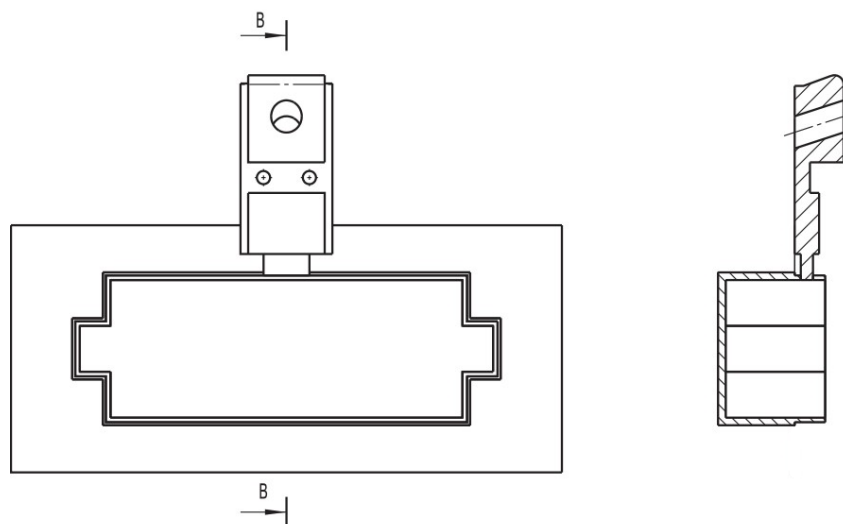
5.1 Postup při návrhu vstřikovací formy

Po obdržení všech informací je na konstruktérovi, aby zvolil optimální dělicí roviny na výstřiku. Geometrie dělicích rovin by měly být jednoduché a snadno proveditelné během výroby. Způsob umístění dělicích rovin musí zabezpečit dosažení požadované rozměrové a tvarové přesnosti, správného směru a velikosti technologických úkosů. Při zaformování výstřiku do obou částí formy musí být zajištěna souosost. Volbě dělicích rovin je následně přizpůsoben návrh rámu formy včetně vtokového, temperačního a vyhazovacího systému. Stopy po dělicích rovinách nesmí způsobit jakýkoliv defekt výstřiku. [4]



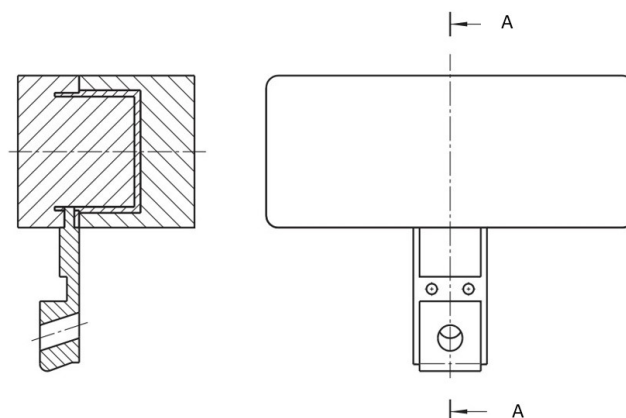
Obrázek 15 Volba dělicích rovin [18]

Jsou-li součástí výstřiku otvory na jeho bočních stranách, musí konstruktér zvolit ideální způsob odformování těchto otvorů. [18]



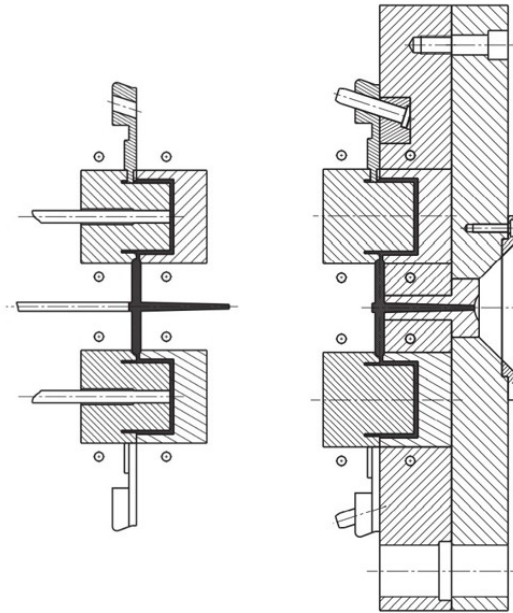
Obrázek 16 Návrh odformování bočních otvorů [18]

Po navržení bočních tvárníků je potřeba vyřešit konstrukci tvarové dutiny včetně případného návrhu tvarových vložek. [18]



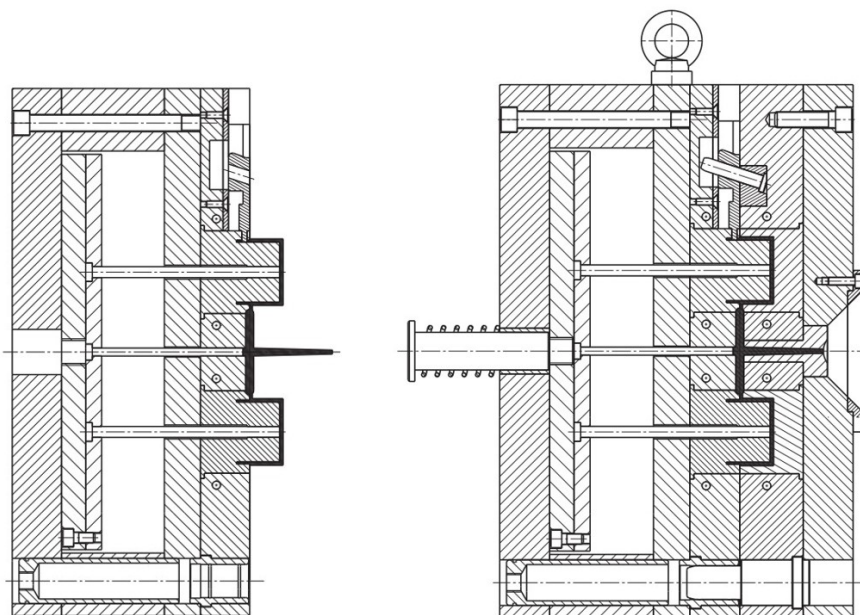
Obrázek 17 Konstrukce tvarové dutiny [18]

Podle požadavků zákazníka a složitosti vstřikovaného výrobku následně konstruktér stanoví vhodnou násobnost vstřikovací formy a rozmístění tvarových dutin. Dalším krokem je zhotovení vyhadzovacího, vtokového a temperačního systému, včetně jejich rozvržení do rámu formy na straně vtoku. [18]



Obrázek 18 Zhotovení pevné části vstřikovací formy [18]

Následně je zkompletován rám vstřikovací formy na straně vyhadzovačů. Obě části vstřikovací formy jsou vzájemně složeny a podle potřeby a požadavků je pak vstřikovací forma dovybavena například o různé manipulační prvky. [18]



Obrázek 19 Celková kompletace vstřikovací formy [18]

Při konstrukci vstřikovací formy nachází široké uplatnění normalizované díly od specializovaných výrobců, jako jsou například Meusburger nebo HASCO. Využití normálií značně urychlí a zkvalitní výrobu vstřikovací formy. Tyto díly jsou rozměrově, materiálově i pevnostně optimalizovány, a proto jsou použitelné prakticky ihned bez dalších výrobních operací. [4]

5.2 Konstrukce rámu vstřikovací formy

Vstřikovací formy mohou být konstrukčně řešeny několika způsoby. Mezi hlavní typy konstrukčního provedení patří:

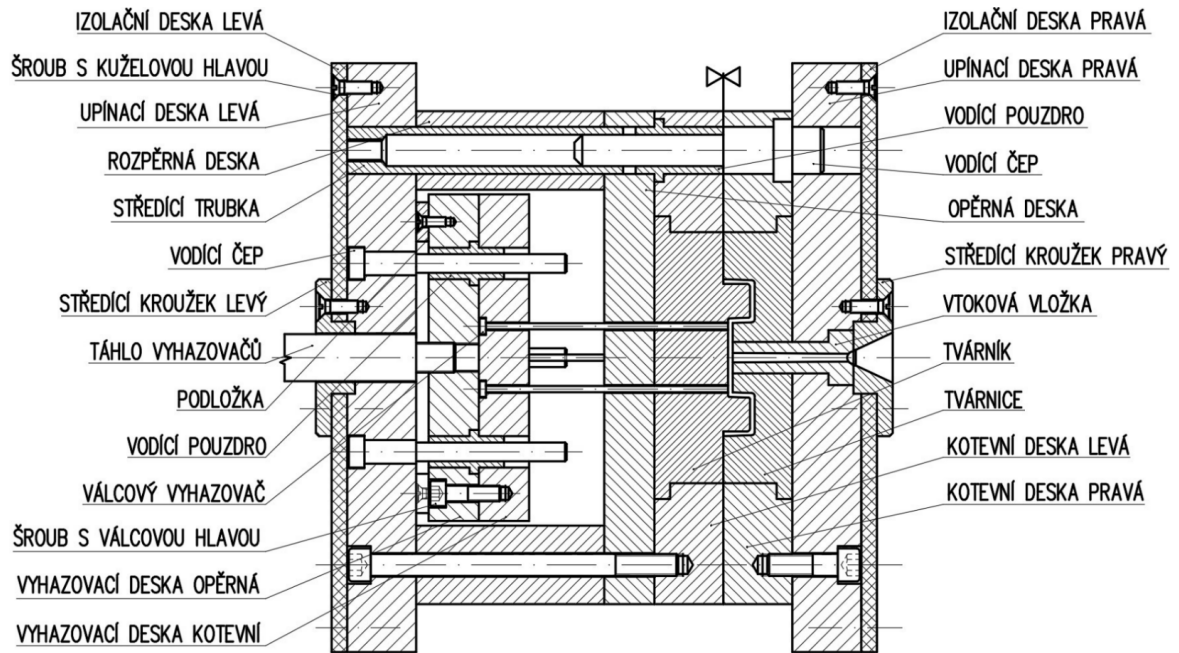
- Dvoudeskové vstřikovací formy,
- vstřikovací formy se stírací deskou,
- vstřikovací formy s posuvnými čelistmi,
- třídeskové vstřikovací formy. [19]

Pro svoji jednoduchost, snadnou údržbu a nižší cenu je dvoudeskové provedení vstřikovací formy přednostní. Složitější formy by se měly vyrábět pouze tehdy, nelze-li dvoudeskové řešení formy realizovat. Rám formy se skládá ze dvou částí, které jsou rozděleny podle dělicí roviny výstřiku. [20]

U běžného dvoudeskového provedení vstřikovací formy jsou tyto dvě části složeny tak, že levá upínací, vyhazovací kotevní a opěrná, rozpěrná, opěrná, kotevní a izolační deska jsou součástí levé - pohyblivé strany formy. Pravá upínací, kotevní a izolační deska jsou součástí pravé - nepohyblivé strany formy. [20]

Dutina formy je tvořena tvarovými vložkami, kterým jsou rozměrově přizpůsobeny kotevní desky. Vzájemné spojení desek je zajištěno šrouby. Přesný posun pohyblivé části formy je umožněn vodíci sloupky, které jsou vedeny ve vodících pouzdrech a vystředěny středíci trubkami. Na obou stranách formy jsou středíci kroužky, které slouží k vystředění a zajištění přesné polohy na vstřikovacím stroji. [20]

Rozměry upínacích desek a velikost průměru středících kroužků jsou signifikantními aspekty pro kompatibilitu vstřikovací formy se vstřikovacím strojem. [20]



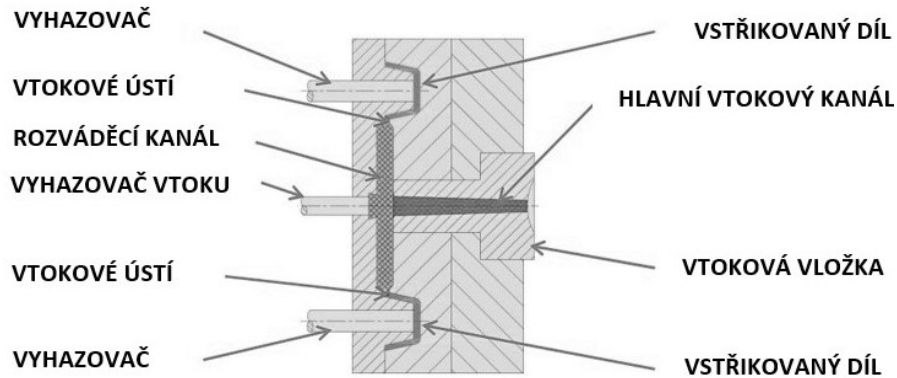
Obrázek 20 Řez vstřikovací formou [18]

5.3 Vtokový systém

Vtokový systém přijímá zplastikovaný polymer ze vstřikovací jednotky a rozvádí jej do dutiny formy. Konfigurace a rozměry vtokového systému značně ovlivňují tok polymeru ve formě a následně i kvalitu výrobku. Vtokový systém by měl být navržen s ohledem na co nejkratší vstřikovací cykly s maximální efektivitou využití polymeru. Uspořádání vtokového systému záleží na velikosti výrobku a způsobu jeho zaformování, ale taky na násobnosti a konstrukci vstřikovací formy. [19]

5.3.1 Studené vtokové systémy

Studený vtokový systém se skládá z hlavního vtokového kanálu, rozváděcích kanálů, vtokového ústí a přidržovače vtoku. Při vstříknutí zplastikovaného polymeru do studeného vtokového systému dochází k neprodlenému ochlazování na jeho stěnách. Roste viskozita a odpor proti toku, na povrchu se vytváří vrstva ztuhlého polymeru, a proto je důležité odstupňování rozváděcích kanálů, čímž se zajistí současné a rovnoměrné vyplnění všech tvarových dutin. [22]



Obrázek 21 Schéma studeného vtokového systému [22]

Mezi výhody studených vtokových systémů patří:

- Konstruktivně jednodušší a ekonomicky méně nákladné provedení formy,
- nevyžadují zdroj elektrické energie,
- lze využít normalizovaných prvků. [22]

Mezi nevýhody studených vtokových systémů patří:

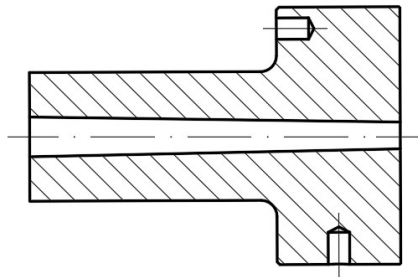
- Větší spotřeba materiálu,
- musí být oddělen zbytek vtokového systému,
- nutnost použití přidržovače vtoku. [22]

Vtoková vložka:

Vtoková vložka přijímá taveninu prostřednictvím trysky vstříkovací jednotky. Hlavní vtokový kanál je kuželového tvaru s úkosem $0,5^\circ$ až $1,5^\circ$. [22]

Dosedací plocha pro trysku musí mít alespoň o 1 mm větší poloměr zaoblení, než je zaoblení trysky. Průměr na vstupu hlavního vtokového kanálu musí být větší o 0,5 až 1 mm než je průměr trysky. Průměr na výstupu hlavního vtokového kanálu by měl být alespoň o 1,5 mm větší, než je tloušťka výstřiku, nebo totožný s šířkou rozvodného kanálu [22]

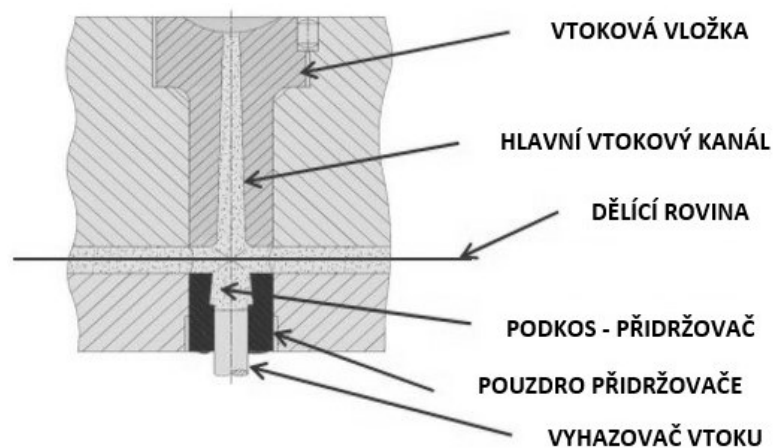
Pro ustanovení přesné polohy vtokové vložky ve formě slouží otvory, do kterých jsou vsazeny pojistné kolíky. Vtoková vložka je tepelně i mechanicky velmi namáhána, a proto se k její výrobě užívá otěruvzdorná nástrojová ocel - například 1.2826. Následně je vtoková vložka tepelně zpracovávána kalením a leštěna (jakost povrchu - R_a až 0,1 μm). [22]



Obrázek 22 Vtoková vložka [26]

Přidržovač vtoku:

Přidržovač vtoku slouží k přidržení vtokového systému na pohyblivé části formy. Je konstruován tak, aby zachytil přední čelo taveniny a umožnil její proudění do tvarových dutin formy. [20]



Obrázek 23 Přidržovač vtoku [22]

Rozvodné kanály:

Úkolem rozvodných kanálů je dopravení taveniny z vtokové vložky do vtokového ústí. Rozvodné kanály definují tyto základní parametry:

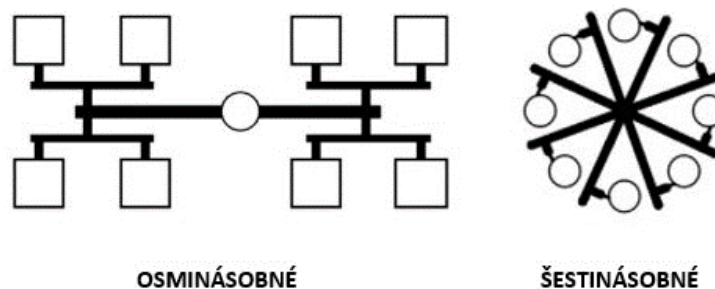
- Tvar průřezu,
- velikost průřezu,
- počet a uspořádání tvarových dutin ve formě,
- výrobní hledisko (je-li potřeba zhotovit drážky na levé i pravé straně formy, nebo stačí pouze na jedné straně). [20]

Tvar průřezu musí zajistit co nejnižší ztráty tepla a tlaku. Přednostním a geometricky nejvhodnějším průřezem je kruhový. Vhodnost průřezu určuje smáčivé číslo - čím vyšší smáčivé číslo je, tím je průřez vhodnější. Lichoběžníkový se uplatňuje zejména u třídeskových forem. Obdélníkové, čtvercové a půlkruhové průřezy jsou krajně nevhodné, protože značně omezují průtok taveniny. Ideální typ toku taveniny je laminární. [20]



Obrázek 24 Typy průřezů rozvodných kanálů [20]

Velikost průřezu lze určit buď výpočtem, nebo definovat podle tloušťky stěny výstřiku, velikost by měla však být taková, aby byl zajištěn dostatečný tlak do všech dutin. [20]



Obrázek 25 Příklady rozvržení rozvodných kanálů [20]

Rozložení rozvodných kanálů musí být co nejkratší možné, aby bylo zajištěno rychlé a rovnoměrné vyplnění tvarové dutiny formy taveninou. Zároveň je nutné rozvrhnout rozvodné kanály i s ohledem na co nejmenší spotřebu materiálu. [20]

Vtokové ústí:

Vtokové ústí představuje malý otvor, kterým prochází zplastikovaný polymer do dutiny formy. Návrh vtokového ústí je definován:

- Tvarem a požadovanými vlastnostmi výstřiku,
- druhem polymeru a jeho plniv,
- délkou vstřikovacího cyklu,
- způsobem zaformování výstřiku. [22]

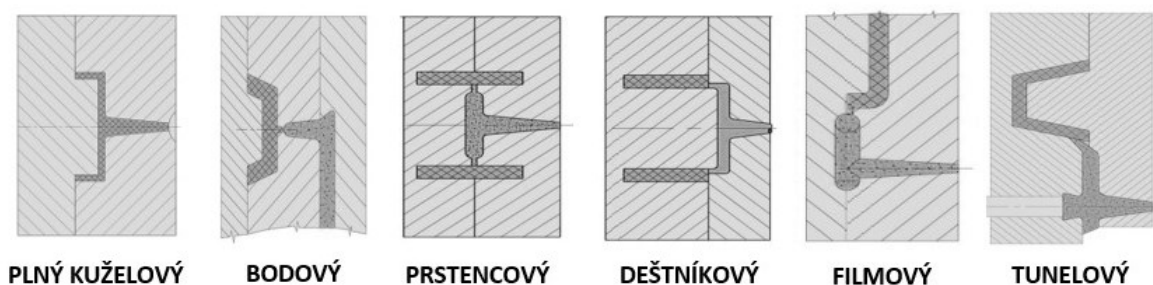
Délka a rozměry průřezu vtokového ústí se volí nejmenší možné, aby na výstřiku zůstaly pouze nepatrné stopy. Tvar vtokového ústí by měl umožnit rychlé a jednotné plnění dutiny formy fontánovým tokem taveniny. Vtokové ústí se umísťuje do nejtlustšího místa výstřiku, ve směru orientace žeber. Poloha vtokového ústí nesmí bránit úniku vzduchu. Vtokové ústí musí být umístěno tak, aby studené spoje nevznikaly na pohledových a mechanicky namáhaných místech. [20]

Pro jednoduché a symetrické tlustostěnné výrobky se používá plný kuželový vtok, který ústí do dutiny přímo z hlavního vtokového kanálu. Je výrobně jednoduchý, účinný z hlediska působení dotlaku, ale jeho nevýhodou je následné náročné oddělení vtokového zbytku od výrobku. Taktéž zanechává poměrně velkou stopu na povrchu výstřiku. [22]

Pro tenkostěnné výrobky se používá bodový vtok s čočkovitým zahloubením, které zvětšuje tloušťku stěny výrobku naproti vtokového ústí. Tím je kompenzován pokles mechanických vlastností, ke kterému by mohlo nastat při oddělování vtoků. Konstrukce formy musí být řešena jako třidesková. [22]

Pro rotační vstříkované díly se využívá deštníkových, talířových a prstencových vtoků. Tyto vtoky rovnoměrně vyplňují tvarovou dutinu, ale spotřeba materiálu je vyšší a jejich následné oddělení od výrobku komplikovanější. [22]

Při vstříkování kompozitů s termoplastickou maticí a tenkých plochých dílů se využívá filmových vtoků. Tunelové vtoky se používají, pokud je požadováno automatické oddělení vtokového zbytku. [22]



Obrázek 26 Příklady vtokových ústí [22]

5.3.2 Vyhřívání vtokových systémů

Vyhřívání vtokových systémů udržují konstantní teplotu polymeru od trysky plastikační jednotky až k dutině formy. Tím je zaručena stálá viskozita v celém průřezu a délce

rozvodného systému. Jsou složeny z centrálního vtoku, rozvodného bloku, trysky a případně ovládací jehly. [23]

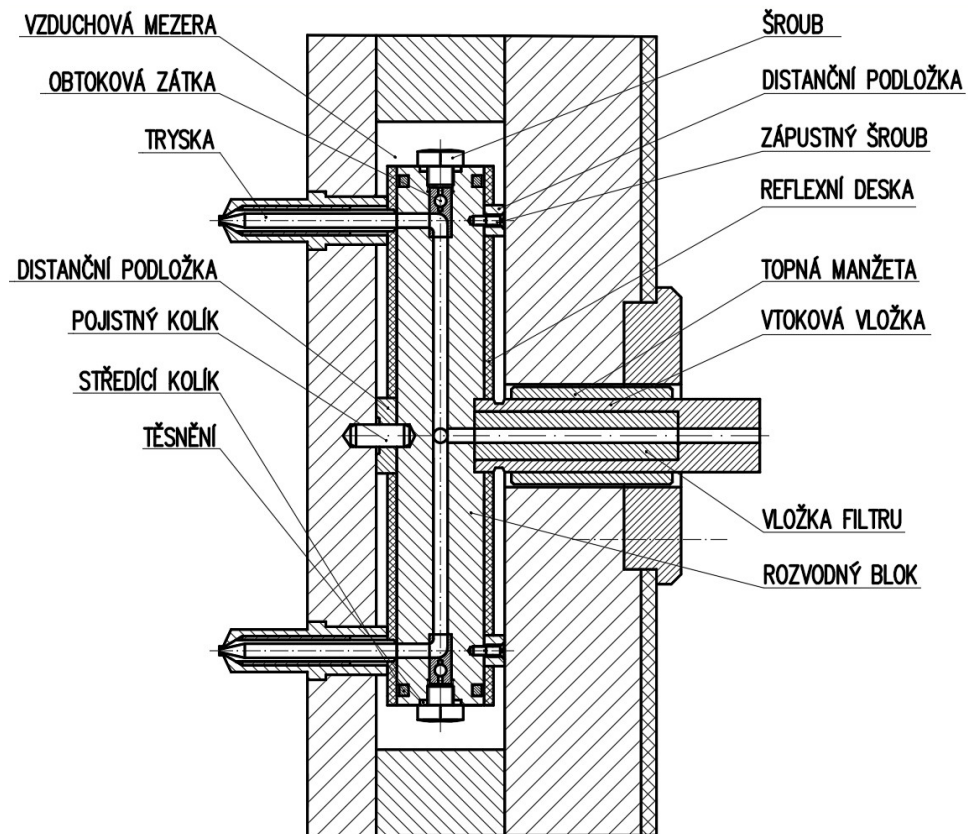
Mezi výhody vyhřívaných vtokových systémů patří:

- Dokonalejší výsledné vlastnosti výstříku (vlivem optimalizace teploty),
- zkrácení výrobních cyklů,
- eliminace vzniku odpadů,
- nižší spotřeba materiálu. [20]

Mezi nevýhody vyhřívaných vtokových systémů patří:

- Složitější konstrukční provedení vstřikovacích forem,
- vyšší pořizovací i provozní náklady a nároky na obsluhu,
- nelze využít pro tepelně citlivé materiály. [20]

Z důvodu teplotních rozdílů je okolí vyhřívaného vtoku nutno izolovat od formy. K tomu se běžně využívá vzduchová mezera. [20]



Obrázek 27 Vyhřívaný vtokový systém [26]

Vyhřívání trysky:

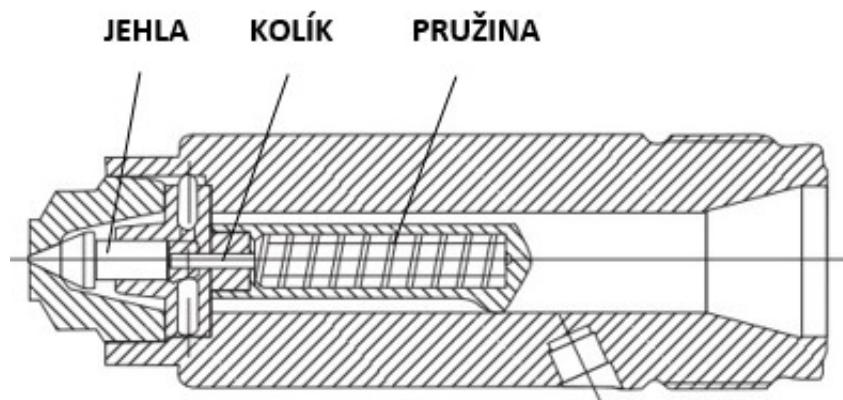
Zajišťuje převod taveniny z rozvodného bloku do dutiny formy. K ohřevu trysek dochází elektricky. Dle způsobu konstrukce topení lze trysky rozdělit na nepřímo vyhřívané trysky a přímo vyhřívané trysky. [23]

- **Nepřímo vyhřívané trysky** - v ocelovém pouzdře trysky je obsaženo malé topné těleso, jehož špička se vměšuje do vtokového ústí.
- **Přímo vyhřívané trysky** - mohou být konstruovány s vnějším nebo vnitřním ohřevem. Při vnějším ohřevu proudí tavenina středem trysky, topný svazek je navinut z vnější strany. Při vnitřním ohřevu proudí tavenina kolem topné patrony ve středu trysky. [23]

Ústí trysky může být zavedeno přímo do dutiny formy nebo do předkomůrky, kde však tavenina může zatékat i do nevhodných míst. Ústí trysky může být zakončeno:

- Bez hrotu,
- s hrotem,
- s uzavírací jehlou. [23]

U vstřikování rozměrných a tvarově složitých výstřiků se často využívá zakončení s uzavírací jehlou. Toto zakončení se však využívá i u polymerů, které jsou náchylné k „táhnutí vlákna“ - například polypropylen nebo polystyren. Uzavírací jehly jsou ovládány mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky. Využitím trysky s uzavírací jehlou dochází k rychlejšímu plnění dutiny taveninou. Konstrukční řešení trysky s uzavírací jehlou však vyžaduje velmi přesný vtokový systém. [23]



Obrázek 28 Tryska s uzavírací jehlou [19]

Rozvodné bloky:

Jejich funkcí je rozvedení taveniny do dutin vícenásobných vstřikovacích forem. Pro správnou funkci musí být elektrické odporové vodiče rozmístěny v drážkách rovnoměrně po celém rozvodném bloku. Vodiče jsou zakrytovány tepelně vodivými materiály (nejčastěji měď), z toho důvodu přestupuje téměř veškeré teplo přímo do rozvodného bloku a tepelné ztráty jsou minimální. Konstrukční provedení rozvodného bloku musí zajistit rychlý ohřev a optimální tok taveniny. [23]

5.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k vyhození výstřiku, včetně vtokového zbytku, z dutiny formy. Konstrukce vyhazovacího systému má velký vliv na efektivitu celého výrobního procesu. Vyhazovací systém musí být navržen s ohledem na tvar a rozměry výstřiku, materiál výstřiku a zvolený vtokový systém. Vyhazovací systém musí zajistit vyvození dostatečné vyhazovací síly, aby došlo k bezpečnému vyhození výrobku. Vyhazovací systém může být konstruován jako mechanický, pneumatický, hydraulický nebo kombinovaný. U prototypových forem může být výstřik vyhozen ručně. [20]

5.4.1 Mechanický vyhazovací systém

Jedná se o variantu vyhazovacího systému, která je konstrukčně jednoduchá a levná. K vyhození výstřiku dochází prostřednictvím:

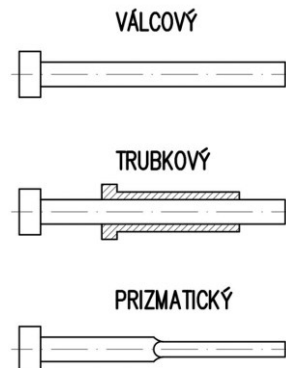
- Vyhazovacích kolíků,
- stírací desky. [20]

Vyhazovací kolíky

Řešení vyhazovacího systému s vyhazovacími kolíky je nejběžnějším provedením. Volba typu a množství vyhazovacích kolíků je podmíněna tvarem výstřiku. Vyhazovací kolíky patří mezi normalizované díly, které jsou vyráběny v široké rozměrově řadě. Jako materiál se užívá nástrojová ocel - například 1.2210. Pro dosažení optimální tvrdosti povrchu jsou vyhazovací kolíky tepelně zpracovávány - kalením. Tvar vyhazovacích kolíků může být:

- Válcový,
- trubkový,

- prizmatický,
- speciální (tvarový, pružný, šikmý). [20]



Obrázek 29 Příklady vyhazovacích kolíků [26]

Pro speciální případy vyhazování se používají šikmé vyhazovací kolíky, které jsou umístěny pod různými úhly vůči hlavní dělicí rovině. Využívají se zejména pro vyhození výstříků s vnějším otvorem, podkosem nebo jiným tvarovým prvkem a nahrazují složitější mechanismy s posuvnými čelistmi. [20]

Hlavy vyhazovacích kolíků mohou být konstruovány jako válcové nebo tvarové, jež zabraňují jejich potočení kolem vlastní osy. Vyhazovací kolíky jsou nejčastěji uloženy s vůlí ve vyhazovacích deskách na levé straně formy. [24]

Vyhazovací kolíky by se měly umísťovat:

- Na nepohledovou stranu výstříku,
- obtížně odformovatelná místa (žebra, nálitky),
- vnější okraje na výstříku. [24]

Vyhazovací kolíky by se neměly umísťovat:

- Do pohledových ploch výstříku,
- na funkční plochy výstříku. [24]

Stírací desky

Vyhazovací systémy se stírací deskou jsou velmi účinné - působí plošně a dokážou vyvodit velké uzavírací síly. Jejich využití je zejména pro vyhazování rozměrných výstříků. K posuvu stírací desky dochází běžně tlakem vyvozeným pomocí vyhazovacího trnu. [20]

Stírací desky mohou být použity v kombinaci se stíracími kroužky, které zvyšují celkovou životnost vyhazovacího systému. [20]

5.5 Boční odformování

Pro odformování otvorů ve vedlejších dělicích rovinách se využívá posuvných čelistových mechanismů. Posuvné čelistové mechanismy se dají ovládat:

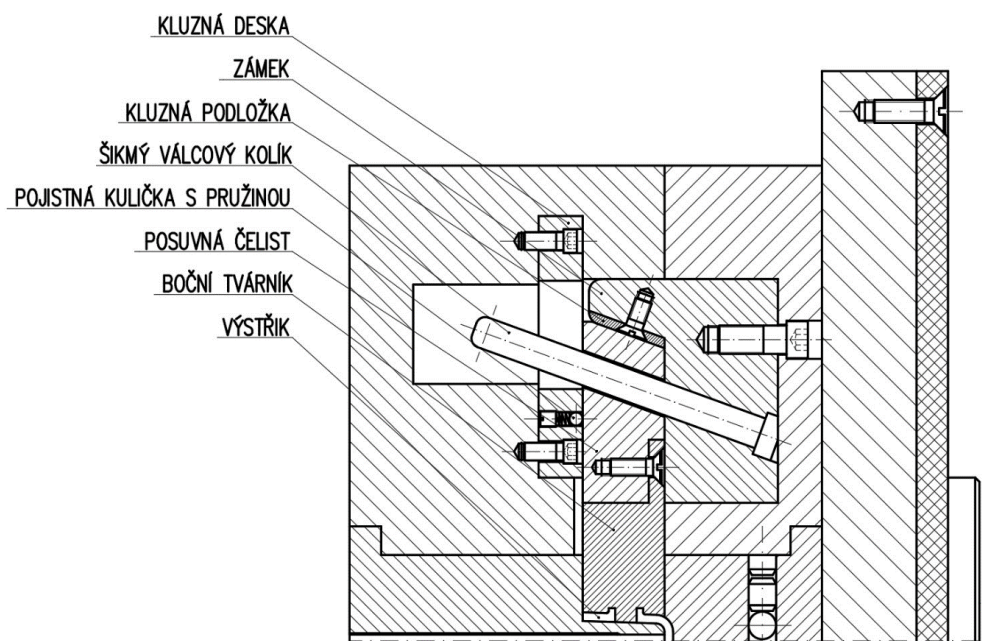
- Mechanicky,
- hydraulicky,
- pneumaticky. [20]

5.5.1 Mechanicky ovládaný mechanismus

Při otvírání formy je vyvozen vedlejší pohyb - posuv čelisti, který zajistí odformování bočního otvoru. Tyto mechanismy nejčastěji využívají šikmých válcových kolíků, které jsou uloženy s vůlí pod úhlem sklonu 15° až 25° . Lomené kolíky se používají v případě požadavku odformování se zpožděním. [20]

Posuvná čelist se během vstřikovacího cyklu nachází ve dvou polohách:

- Uzavřené - posuvná čelist je pevně zapřena o zámek (forma je uzavřena - vstřikování),
- otevřená - posuvná čelist je zajištěna například pojistnou kuličkou s pružinou (forma je otevřena - dochází k vyhazování výstřiku). [20]



Obrázek 30 Boční odformování mechanicky ovládanými posuvnými čelistmi [26]

5.6 Temperační systém

Optimální temperační systém zajišťuje konstantní teplotní pole vstřikovací formy a shodné podmínky každého vstřikovacího cyklu. Teperace má velký vliv na plnění tvarové dutiny, odvod tepla z tvarové dutiny a ochlazení polymeru. Nevhodné řešení temperačního systému může způsobit nežádoucí vady na výstřiku. Tvarové dutiny a jádra by měly být vždy opatřeny temperačními kanály. Pro dosažení rovnoměrného teplotního pole by měla být teperace řešena ve všech místech tvarové dutiny formy, zvláštní pozornost je pak potřeba věnovat oblastem, kde je riziko zvýšené koncentrace tepla. Bez dostatečného chlazení se prodlouží doba chlazení, jejíž délka má hlavní dopad na výrobní efektivitu. [20]

Při návrhu temperačního systému je nutné brát v úvahu měrnou tepelnou kapacitu vstřikovaného polymeru a jeho krystalickou strukturu, ale i teplotní vlastnosti materiálů použitých při výrobě formy. [20]

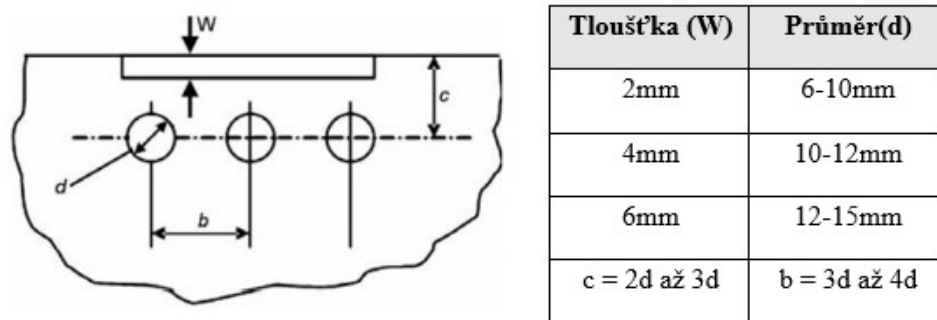
Tabulka 7 Zpracovatelské teploty polymerů ke vstřikování [25]

Druh polymeru	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	210 - 270	50 - 85
PE	180 - 270	20 - 60
PMMA	200 - 250	40 - 60
PP	240 - 300	20 - 80
PS	180 - 280	55 - 80
PVC	170 - 190	40 - 60
PA	230 - 250	70 - 120

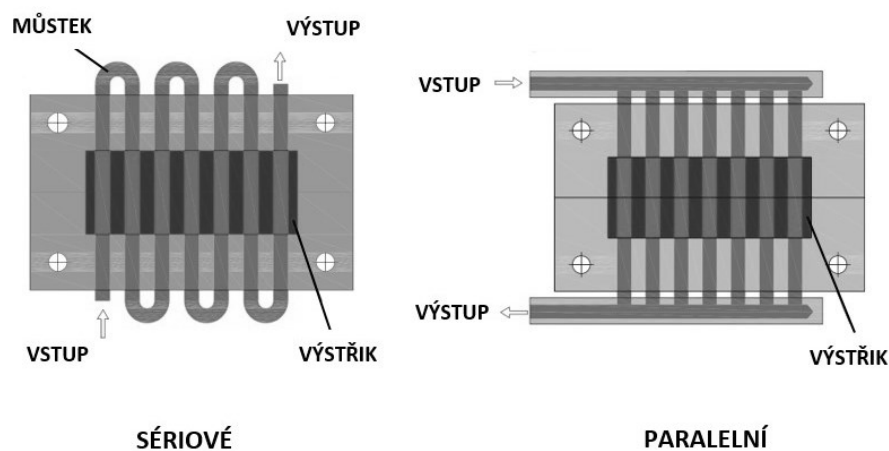
5.6.1 Temperační kanály

Nejjednodušším způsobem je rozvádění temperačního média od nejteplejšího místa k nejchladnějšímu soustavou vrtaných kruhových kanálů o průměru 6 až 15 mm. Při návrhu je vhodnější uvažovat větší počet kanálů o menším průměru než menší počet o větším průměru. Délka kanálů nesmí být příčinou tlakových ztrát. V neposlední řadě je nutno brát v potaz vyrobiteľnost temperačních kanálů - příliš štíhlé kanály se obtížně vrtají. [20]

Konstrukční provedení může být sériové nebo paralelní. Pro účinné chlazení nesmí být kanály příliš daleko od sebe, aby nevznikal rozdílný teplotní gradient, ale taky nesmí být příliš blízko u sebe, aby nedošlo ke snížení tuhosti formy a lokalizovanému prochlazení. Prochází-li temperační médium skrze více desek, je nutno přechody utěsnit těsníci O-kroužky. [20]



Obrázek 31 Doporučené rozměry temperačních kanálů [20]



Obrázek 32 Konstrukční provedení temperačních kanálů [25]

5.6.2 Chlazení jádra

Aby nedocházelo k prodlužování výrobních cyklů, tak je nutné zajistit i ochlazování uvnitř tvarového jádra. Toho lze dosáhnout chladicí spirálou, přepážkou, šikmými otvory nebo tepelnými trubicemi. [20]

5.6.3 Temperační prostředky

Pro chlazení je nejčastěji používanou kapalinou voda. Voda umožňuje dobrý přenos tepla a má velmi příznivé průtokové charakteristiky. Při ochlazování výstřiků velmi rychlých vstřikovacích cyklů je používána voda v kombinaci s nemrznoucí směsí o teplotě až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve většině případů se používá voda o teplotě 5 až $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. V případě použití vody se hromadí v temperačních kanálech vodní kámen a řasy, které pak způsobují snížení účinnosti temperačního systému, a proto je nezbytné udržovat temperační kanály čisté. Toho se docílí obohacením vody o příměsi, které zabraňují vzniku vodního kamene a výskytu řas. Olej se

používá při teplotách formy nad 100 °C. Chlazení není účinné, jako za použití vody, ale je daleko přívětivější pro životnost temperačního systému. [20]

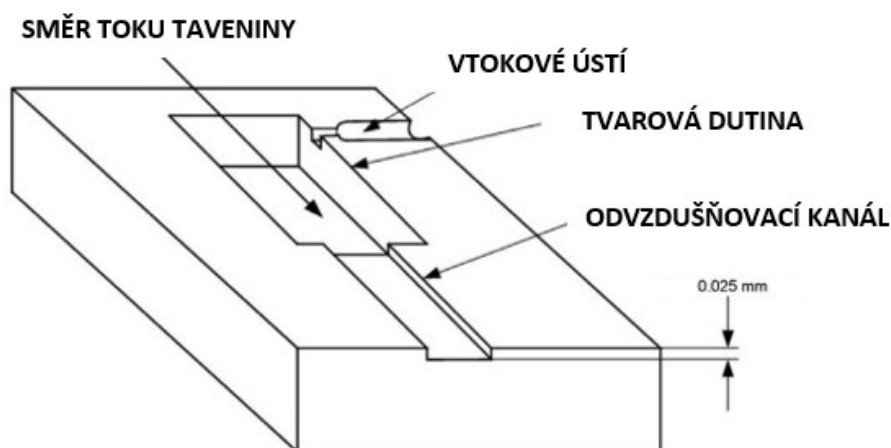
5.7 Odvzdušňovací systém

Odvzdušnění tvarových dutin forem je při návrhu vstřikovací formy velmi často zanedbáváno. Problémy s tím spojené tak vyplynou až při uvedení formy do provozu. Před vstřikováním je dutina formy vyplněna vzduchem. Když tavenina vstupuje do dutiny formy, musí vytlačit veškerý vzduch mimo dutinu formy. [20]

Odvod vzduchu nejčastěji probíhá dělicí rovinou nebo vůlemi mezi tvarovými díly a vyhazovacími prvky. Může se však stát, že tento způsob odvzdušnění nebude dostatečný, zejména pokud musí být vytlačen velký objem vzduchu při vysokých vstřikovacích rychlostech. Zachycený vzduch v dutině formy během vstřikování může způsobit vady na výstřiku, a proto se oblast tvarové dutiny opatřuje odvzdušňovacími kanálky, které musí být konstruovány tak, aby nedocházelo k zatékání polymeru. [20]

Velikost odvzdušňovacích kanálků bývá obvykle 0,015 až 0,025 mm. Poloha odvzdušňovacích kanálků závisí na směru proudění taveniny. Délka kanálků by měla být taková, aby došlo k co nejrychlejší expanzi a ochlazení vzduchu. Důležité je jejich frekventované čištění. [20]

Další metodou odvzdušnění forem je použití konstrukčních dílů vyrobených z porézních kovů, které umožňují únik vzduchu. [20]



Obrázek 33 Odvzdušnění tvarové dutiny [20]

5.8 Materiály vstřikovacích forem

Běžným materiálem pro výrobu vstřikovacích forem je ocel. Při konstrukci vstřikovacích forem se používá především běžná konstrukční ocel s nízkým obsahem uhlíku a legovaná nástrojová ocel. Jako legující prvky se využívají chrom, nikl, molybden, wolfram a méně často pak kobalt a vanad. Druh oceli se volí podle:

- Ceny,
- požadovaných vlastností (tepelná vodivost, pevnost, tvrdost, korozivzdornost, rozměrová stabilita),
- zpracovatelských vlastností (obrobitelnost, dokončovací operace),
- možností chemicko-tepelného zpracování (cementování, nitridace, kalení, žíhání, popouštění). [20]

Posuvné prvky zhotovené z legovaných ocelí (1.7131) se cementují a prokalují (HRC 59-61), funkční a tvarové prvky zhotovené z nástrojových ocelí (1.2713, 1.2343, 1.2601, 1.2307) se prokalují na tvrdost (HRC až 62). Posuvné části formy se povlakuji pro vyšší oděruvzdornost a lepší kluzné vlastnosti. [20]

Tvarové a funkční prvky, u kterých jsou kladeny vysoké nároky na jakost povrchu, se povrchově upravují leštěním, elektroerozivně nebo tryskáním. V případě vstřikování polymerů náchylných ke korozi se můžou i pochromovat. [20]

V některých případech se ocel nahrazuje neželeznými materiály. Mezi takové materiály patří slitiny zinku. Ty se využívají při výrobě prototypových tvarových dutin, zejména pro svůj hladký, neporézní povrch a snadnou obrobitelnost. [20]

Dalším materiálem jsou beryliové mědi, které slouží především k výrobě tvarových částí a vyhazovačů. Uplatňují se zejména pro svou výbornou tepelnou vodivost, vlivem které dobře odvádí teplo. Vyznačují se taky odolností vůči oxidaci a korozi. [20]

Jako izolační materiál se uplatňuje syntetická pryskyřice smíchaná s tužidlem a skelným vláknem, případně hliníkovým práškem - především pro výrobu krajních izolačních desek. [20]

Tabulka 8 Přehled nejpoužívanějších ocelí při výrobě forem [20]

Kategorie	Použití	W.Nr.	Poznámka
Nízkouhlíková ocel	Desky forem, středící kroužky	1.0402	Použití při málo náročných aplikacích
Předtvrzená nástrojová ocel	Tvarové dutiny a jádra	1.2713	Vhodná pro tepelné zpracování
Tvrzená nástrojová ocel	Tvarové dutiny a jádra s vysokou pevností a tvrdostí	1.2343	Vhodná pro tepelné zpracování, dobrá obrobiteľnosť
Nerezová ocel	Při vstřikování materiálů náchylných ke korozi (PVC)	1.4021	Horší teplotní přenos
Ocel s vysokým obsahem uhlíku a chromu	Tvarové dutiny a jádra s maximálními nároky na tvrdost.	1.2601	Vhodná pro tepelné zpracování
Ocel k nitridaci	Vysoce opotřebovávané prvky (kluzné podložky, vyhazovače)	1.2307	Vhodná pro tepelné zpracování, houževnatá, horší obrobiteľnosť
Legovaná ocel	Vodící prvky (Vodící čepy a pouzdra, středící trubky)	1.7131	Vhodná pro tepelné zpracování, dobrá obrobiteľnosť

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zadáním bakalářské práce byly stanoveny tyto cíle:

1. Zpracovat literární rešerši na dané téma.
2. Vyhотовit 3D model zadaného vstřikovaného dílu.
3. Vytvořit konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný díl.
4. Nakreslit sestavu formy včetně patřičných pohledů a kusovníku.

Cílem literární rešerše bylo nabýt vědomostí o technologii vstřikování, konstrukci vstřikovaných výrobků, vstřikovacích strojích a konstrukci vstřikovacích forem a poté tyto vědomosti aplikovat při řešení praktické části.

V praktické části bylo cílem zhotovení 3D modelu elektroinstalačního boxu a návržení konstrukce vstřikovací formy pro jeho výrobu včetně 2D výkresové dokumentace.

7 POUŽITÉ PROGRAMY

7.1 Catia V5R20

Catia (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) je vyspělý počítačový software, jenž byl vyvinut francouzskou společností Dassault Systemes. Catia v sobě zahrnuje CAD/CAM/CAE moduly, jejichž funkce lze uplatnit v mnoha odvětvích průmyslu při vývoji různorodých výrobků. Mezi značné výhody patří možnost propojení a provázanosti jednotlivých modulů.

Při realizaci praktické části práce byl uplatněn modul CAD. Při návrhu 3D modelu výrobku bylo využito prostředí Part Design a pro konstrukci vstřikovací formy prostředí Mold Tooling Design a Assembly Design. Pro tvorbu 2D výkresové dokumentace slouží prostředí Drafting.

7.2 Databáze normálií od výrobce Meusburger

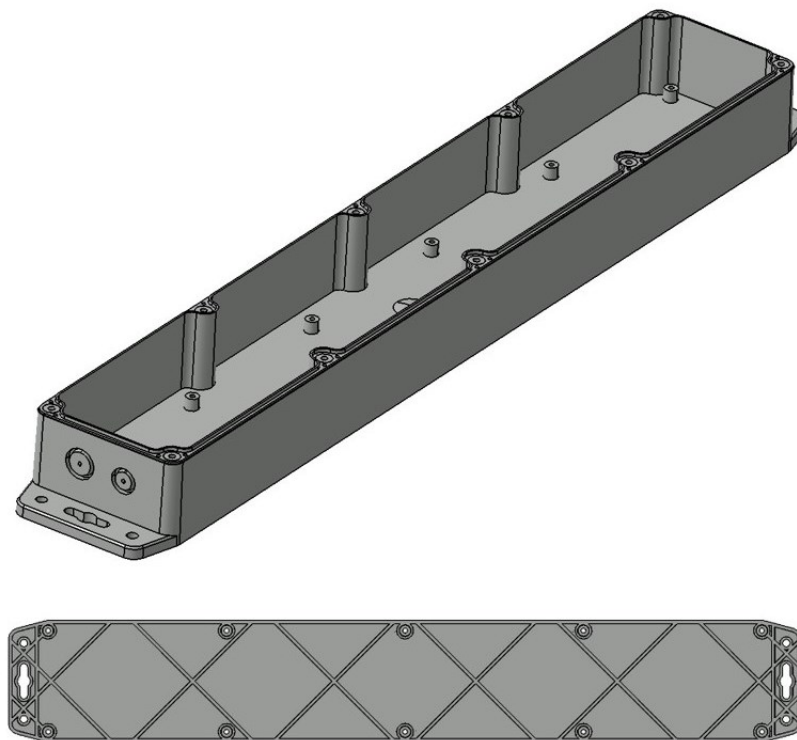
Užitím normalizovaných dílů lze značně usnadnit a zjednodušit návrh konstrukce vstřikovací formy. Normalizované díly od rakouské firmy Meusburger jsou vysoce kvalitní díly, které jsou přehledně orientovány a rozříděny dle oblasti použití v e-katalogu na jejich webových stránkách. Pro každý normalizovaný díl existuje tabulka s vyráběnými variacemi, a to i včetně informační příručky, ve které je daný díl jednoduše popsán. Zvolený díl z e-katalogu lze převést do požadovaného formátu ve formě 3D modelu a následně jej vložit do programu CATIA V5R20.

7.3 Autodesk Moldflow 2023

Program Moldflow je počítačový software umožňující řešit problémy v oblasti vstřikování polymerních materiálů pomocí různých druhů simulací. Tento program s uživatelsky jednoduchým a intuitivním prostředím umožňuje využitím pokročilých nástrojů řešit a eliminovat možné nesnáze vznikající během výroby. Užitím programu Moldflow lze zefektivnit a optimalizovat návrh výstřiků a vstřikovacích forem, ale i samotného vstřikovacího procesu.

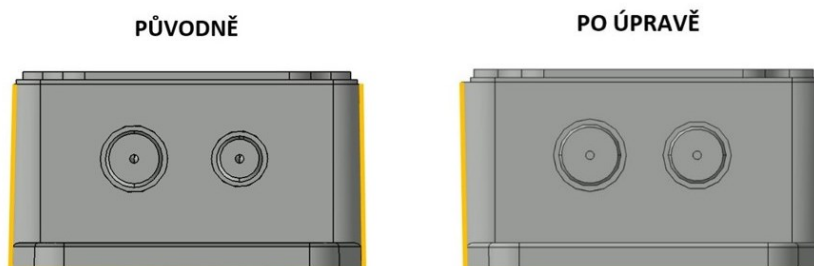
8 POPIS VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Vstřikovaným výrobkem je elektroinstalační box. Jedná se o elektrotechnickou součást, která se využívá v pevných elektrických rozvodech nízkého napětí. Umožňuje umístění prvků pro propojení vodičů, kabelů nebo k připevnění zásuvek a ovládacích přístrojů. Základní rozměry jsou 80 x 45 x 520 mm (šířka x výška x délka). Průměrná tloušťka stěny je 3 mm.

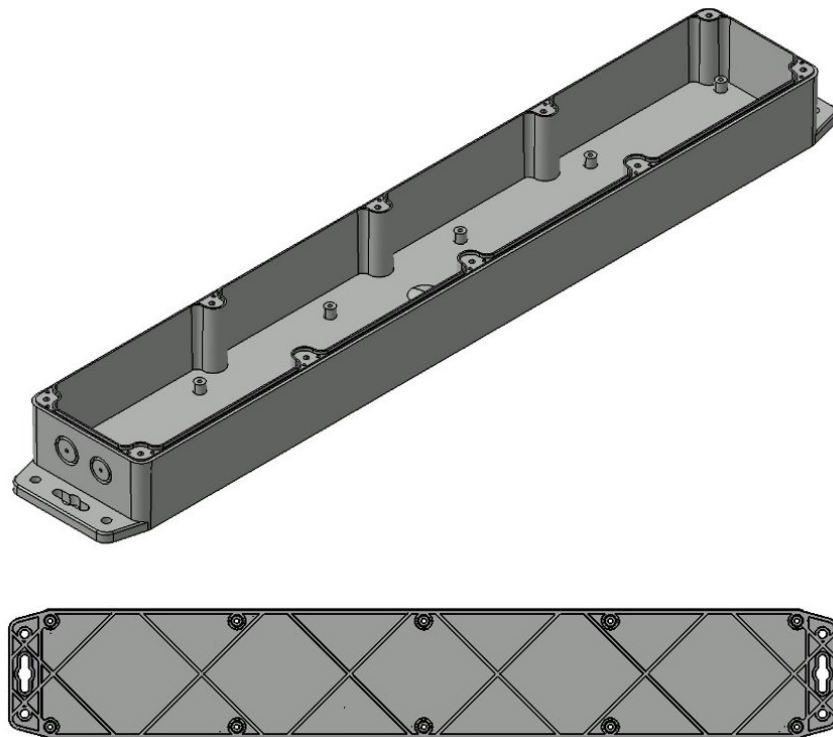


Obrázek 34 Původní návrh elektroinstalačního boxu

Původní model byl navržen s podkoso, které by mohly negativně ovlivnit vyhazování výstřiku z formy, a proto bylo navrženo nové řešení, které tento problém eliminuje. Upravena byla i kruhová vybrání.



Obrázek 35 Porovnání úkosů před a po úpravě modelu



Obrázek 36 Model elektroinstalačního boxu po úpravě

Výstřík je tvořen hlavní obdélníkovou částí s vybráním, ve které jsou otvory pro přichycení spojovaných komponent, ale i pro samotnou montáž. Na bocích jsou výstupky s drážkami sloužícími pro uchycení. Na bočních plochách jsou z obou stran kruhová vybrání o dvou rozdílných průměrech, která lze následně odstranit. Kruhovými otvory, do kterých se umístí průchodky, je vedena kabeláž. Na spodní straně je zhotoveno žebrování, které zvyšuje tuhost a pevnost. Většina ploch je zhotovena s úkosy, jež umožňují snadné vyhození výstříku ze vstřikovací formy.

Tabulka 9 Základní fyzikální vlastnosti vstříkovaného výrobku

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hmotnost	g	369,4
Objem	cm ³	310,4
Povrch	cm ²	204,0

8.1 Volba materiálu

Výstřík musí vykazovat dobré izolační a mechanické vlastnosti, zároveň také odolnost vůči prostředí, v němž bude figurovat. Důležitým faktorem je i vhodnost materiálu pro vstřikování, aby byl samotný vstřikovací proces efektivní, bezproblémový, ale i

ekonomický. Veškeré tyto požadavky splňuje amorfnní termoplastický materiál ABS plněný z 20 % skleněným vláknem s obchodním názvem LUPOS GP2200 vyráběný společností LG Chemical.

Zvolený materiál je v oblasti výroby elektrotechnických komponent jedním z nejpoužívanějších na trhu. Je charakteristický svou rozměrovou stálostí, vykazuje mimořádnou pevnost a houževnatost, velmi dobře odolává chemickým vlivům, vlhkosti a teplotním rozdílům. Z hlediska aplikace jsou význačné jeho izolační vlastnosti a nevodivost. Z hlediska tokových vlastností je tento materiál vhodný pro vstřikování. [28]

Tabulka 10 Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti zvoleného materiálu [28]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hustota	g/cm ³	1,19
Index toku taveniny	g/10min	2
Modul pružnosti v ohybu	MPa	5000
Pevnost v ohybu	MPa	120
Pevnost v tahu	MPa	85
Smrštění ve směru toku	%	0,1 - 0,3

Tabulka 11 Doporučené procesní parametry zvoleného materiálu [28]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Teplota formy	°C	50 - 80
Teplota sušení	°C	80 - 100
Teplota taveniny	°C	235 - 245
Doba sušení	hod.	3 - 4

9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vstřikovací forma byla navržena na vstřikovací stroj od výrobce ARBURG - ALLROUNDER 820 A se vstřikovací jednotkou 1300/60. Zvolená konfigurace vstřikovacího stroje splňuje veškeré parametry pro zajištění optimálního průběhu procesu při vstřikování navrženého výstřiku.



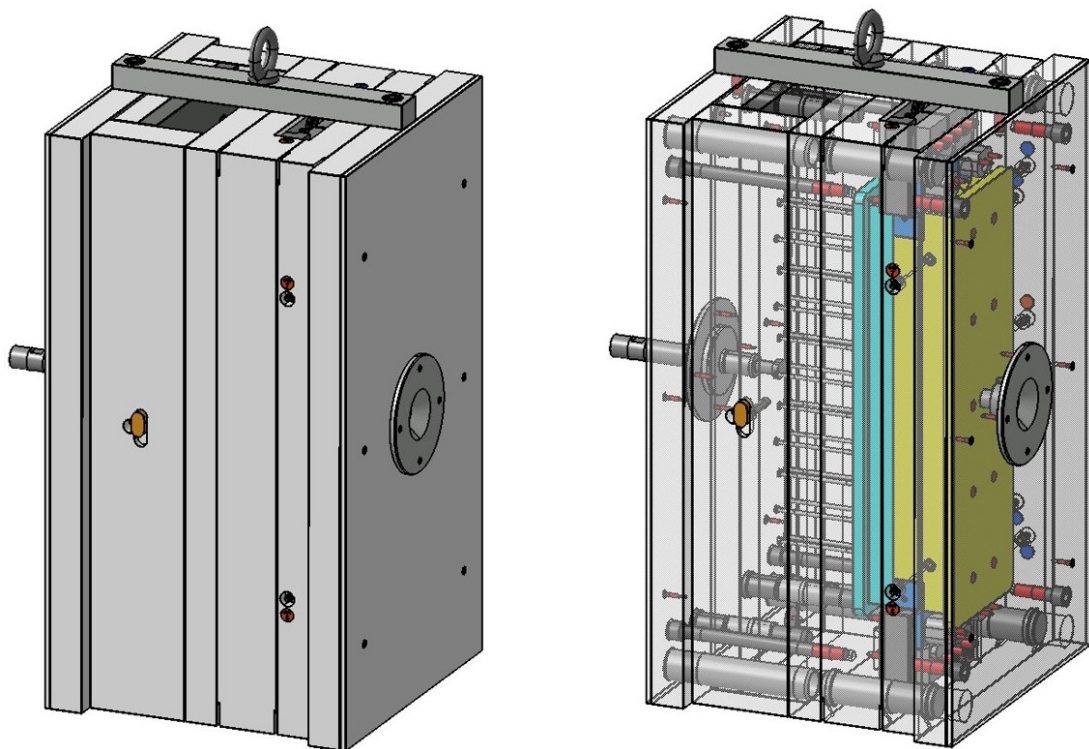
Obrázek 37 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 820 A [29]

Tabulka 12 Vybrané parametry zvoleného vstřikovacího stroje [29]

Parametr	Jednotka	Hodnota stroje	Hodnota formy
Vzdálenost mezi vodícími čepy	mm	820 x 820	446 x 796
Maximální délka formy	mm	1600	582
Maximální hmotnost formy	kg	4000	930
Průměr středících kroužků	mm	160	160
Uzavírací síla	kN	4000	-
Průměr šneku	mm	60	-
Délka šneku	l/d	20	-
Vstřikovací tlak	bar	2000	-
Dávka taveniny na jeden zdvih	g	594	433
Zdvihový objem	cm ³	678	373

10 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je koncipována jako jednonásobná, dvoudesková s posuvnými čelistmi a studeným vtokovým systémem. Vstřikovací forma je složena z levé - pohyblivé části a pravé - nepohyblivé části. Kompletní vstřikovací forma je opatřena závěsným systémem. Při návrhu konstrukce formy byly použity normálie od výrobce Meusburger, jejichž využitím byl celý proces značně zefektivněn.



Obrázek 38 Model vstřikovací formy

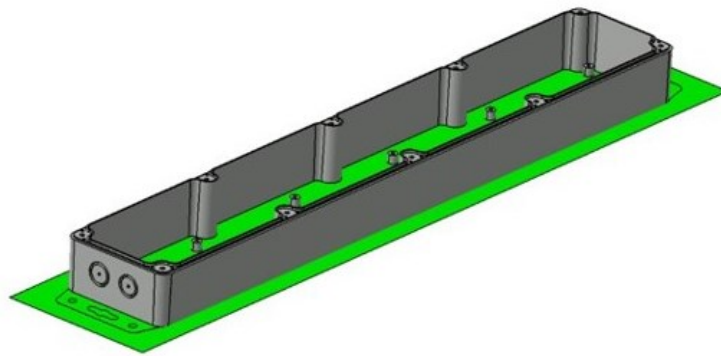
Tabulka 13 Základní rozměry vstřikovací formy

Rozměr	Jednotka	Hodnota
Výška formy	mm	796
Šířka formy	mm	446
Délka formy	mm	582
Průměr středících kroužků	mm	160
Závit vyhazovacího čepu	mm	M16 x 1,5
Rádus pro dosednutí trysky	mm	R40

10.1 Zaformování výstřiku do vstřikovací formy

Optimální návrh dělicích rovin umožňuje odformování výstřiku, minimalizuje možnost jeho poškození při vyhazování ze vstřikovací formy a rovněž zajišťuje jeho požadovanou tvarovou a rozměrovou přesnost. Dělicí roviny jsou zvoleny s ohledem na proveditelnost výroby jednotlivých tvarových dílů. Hlavní dělicí rovina rozděluje výstřik na dvě části, které jsou odformovány tvárníkem a tvárnicí.

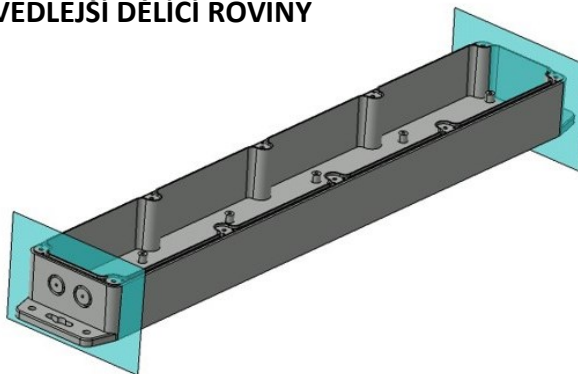
HLAVNÍ DĚLÍCÍ ROVINA



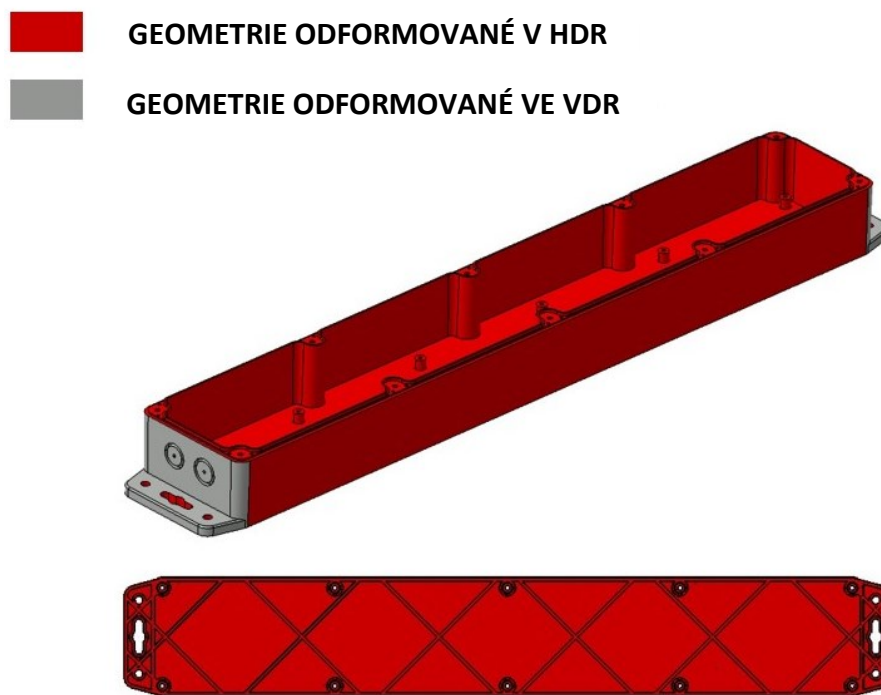
Obrázek 39 Hlavní dělicí rovina výstřiku (HDR)

Boční tvarové geometrie jsou odformovány ve vedlejších dělicích rovinách posuvnými čelistmi.

VEDLEJŠÍ DĚLÍCÍ ROVINY



Obrázek 40 Vedlejší dělicí roviny výstřiku (VDR)



Obrázek 41 Tvarové geometrie odformované v daných rovinách

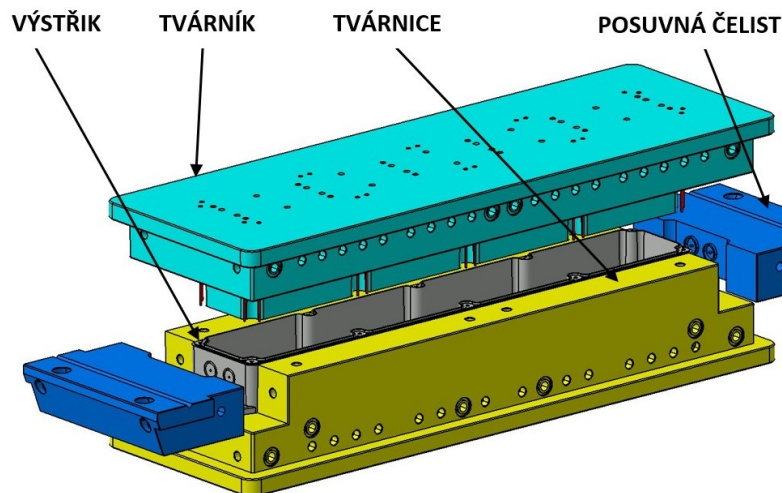
10.2 Stanovení násobnosti vstřikovací formy

Navržený elektroinstalační box je rozměrově složitý výstřik s vyšším počtem tvarových prvků. Pro zhotovení jednoho výstřiku je potřeba do dutiny vstřikovací formy dopravit velké množství taveniny, což vstřikovací stroj ve zvolené konfiguraci bezpečně zajišťuje pouze pro jeden výstřik během vstřikovacího cyklu (viz tab. 13), a proto je forma koncipována jako jednonásobná.

10.3 Tvarové díly vstřikovací formy

Tvarovými díly je definována dutina vstřikovací formy. Tvarové díly musí přesně lícovat, aby nedocházelo k úniku taveniny. Velikost tvarové dutiny je zvětšena o hodnotu smrštění vstřikovaného polymeru, tím je zajištěna maximální rozměrová a tvarová přesnost finálního výstřiku. Pro zvolený vstřikovaný materiál LUPOS GP2220 udává výrobce dle materiálového listu průměrnou hodnotu smrštění 0,2 %.

Tvarové díly jsou zhotoveny z nástrojové oceli W.Nr. 1.2343, která je tepelně zpracována - kalena na 60 HRC. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších druhů oceli pro výrobu tvarových částí vstřikovacích forem.

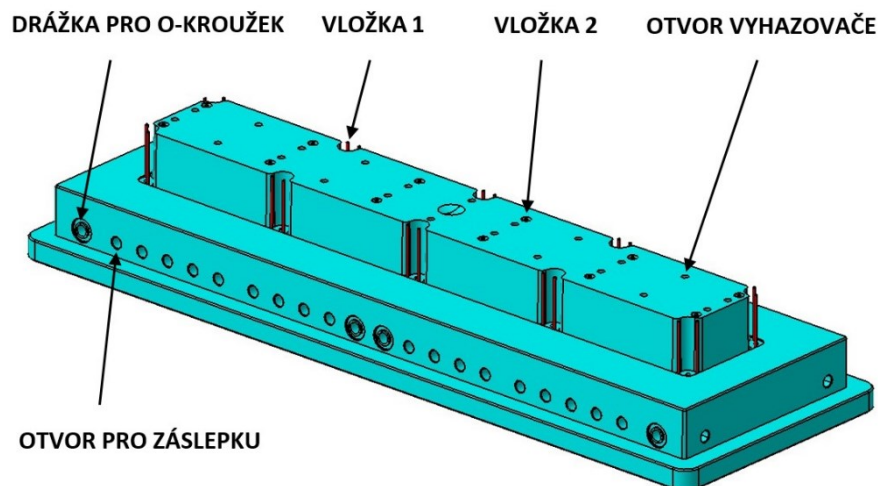


Obrázek 42 Zaformování výstříku ve tvarových dílech vstříkovací formy

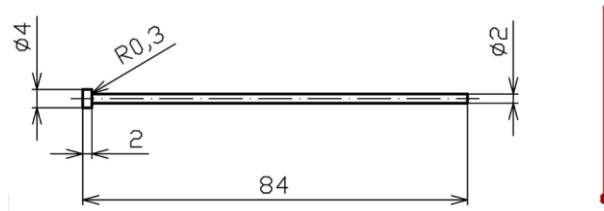
10.3.1 Tvárník

Tvárník je řešen jako tvarová vložka osazená do kotevní desky v levé části vstříkovací formy. Hrany osazení tvarových vložek jsou opatřeny zaoblením z výrobních důvodů - při obrábění kapsy kotevní desky by nebylo možné zhotovení ostrých rohů. Základní rozměry tvárníku jsou 190 x 86 x 575 mm (šířka x výška x délka).

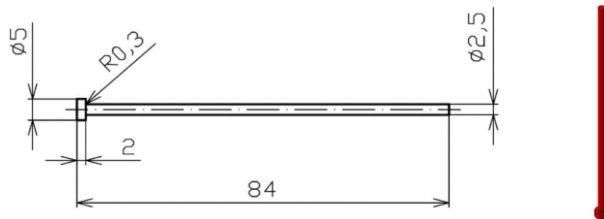
Do tvárníku jsou zespod vsazeny dva rozměrové typy válcových tvarových vložek, které slouží pro zhotovení otvorů navrženého výstříku. Za účelem zvýšení efektivity a životnosti vstříkovací formy jsou tyto tvarové vložky zhotoveny jako vyměnitelné. Změně polohy tvárníku i tvarových vložek je zamezeno zapřením jejich základen o podpěrnou desku. Tvárník je zhotoven s otvory, kterými jsou vedeny vyhazovací kolíky. Temperační kanálky jsou vrtány z bočních stran, včetně otvorů pro vsazení jednotlivých záslepek. U vyústění temperačních kanálků jsou vyfrézovány drážky pro těsnící O-kroužky.



Obrázek 43 Popis tvárníku



Obrázek 44 Vložka 1 - 2D a 3D pohled

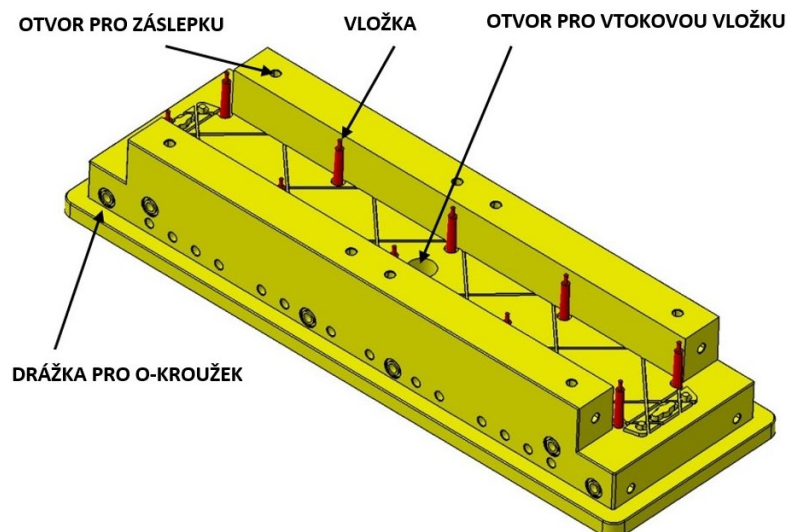


Obrázek 45 Vložka 2 - 2D a 3D pohled

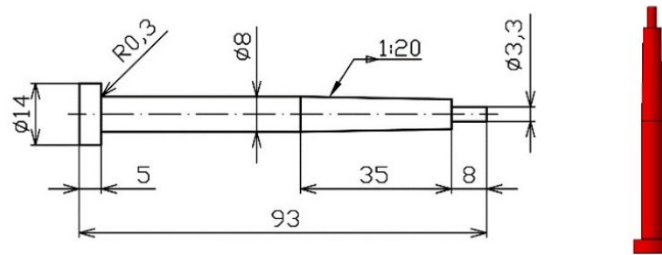
10.3.2 Tvárnice

Tvárnice je řešena jako tvarová vložka osazená do kotevní desky v pravé části vstřikovací formy. Hrany osazení jsou zaobleny obdobně jako u tvárníku. Základní rozměry tvárnice jsou 190 x 92 x 575 mm (šířka x výška x délka).

Do tvárnice jsou zespod vsazeny vyměnitelné kužel - válcové tvarové vložky, které slouží pro zhotovení otvorů navrženého výstřiku. Jejich poloha je dána zapřením o upínací desku. Na spodní straně tvárnice je zhotoven otvor pro uložení vtokové vložky. Temperaci umožňuje soustava vrtaných temperačních kanálků. Ty lze zaslepit vsazením zásepek do příslušných otvorů. Místa, na kterých temperační médium přechází z tvárnice do kotevní desky a naopak obsahují frézované drážky pro těsnící O-kroužky.



Obrázek 46 Popis tvárnice

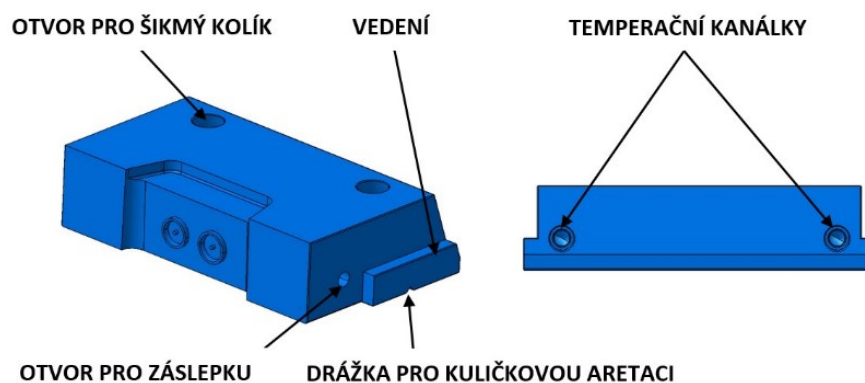


Obrázek 47 Vložka tvárnice - 2D a 3D pohled

10.3.3 Posuvná čelist a její funkce

Odformování bočních tvarových geometrií je zajištěno dvěma shodnými bočními posuvnými čelistmi. Základní rozměry jsou 174 x 42 x 100 mm (šířka x výška x délka).

Výčnělky na bocích umožňují vedení mezi vodícími lištami posuvné jednotky. Součástí jsou dva otvory pod úhlem 18°, které slouží pro vedení šikmými kolíky. Úkos posuvné čelisti umožňuje optimální zapření o uzavírací zámek. Po stranách jsou zhotoveny otvory pro vsazení temperačních záslepek. Drážka zhotovená ze spodní strany je určena pro zaklínění kuličkové aretace.

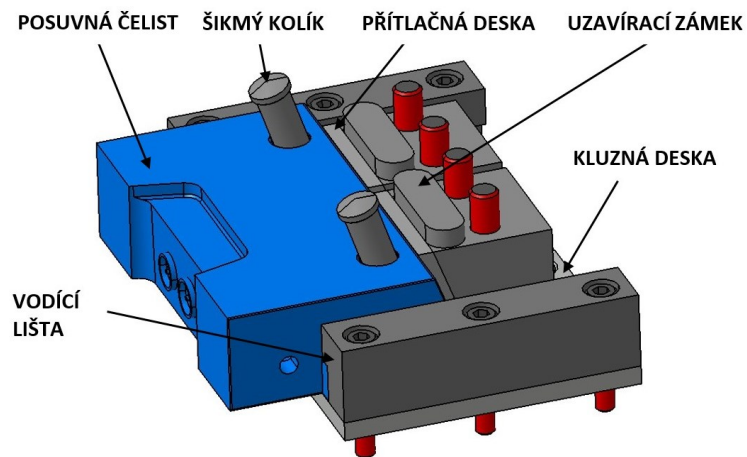


Obrázek 48 Popis posuvné čelisti

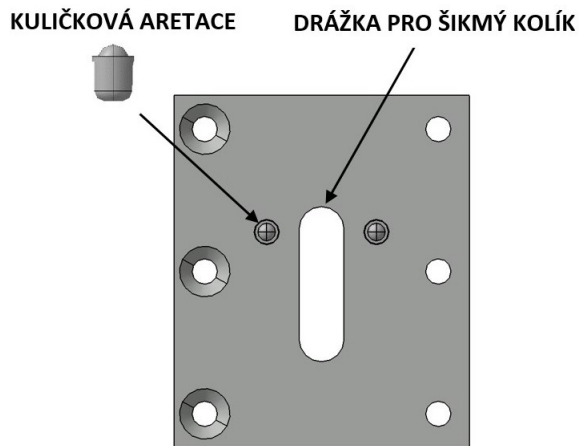
Posuvná čelist je ovládána mechanickou posuvnou jednotkou, která je složena z normalizovaných dílů. Posuvné čelisti jsou uchyceny ve vodících lištách v levé části vstřikovací formy. Vodící lišty jsou zhotoveny s nitridovanými kluznými plochami. Pohyb čelistí usnadňují kluzné desky, které jsou DLC povlakovány pro zajištění maximální kluznosti a oteřuvzdornosti. Posuvné čelisti využívají k pohybu při uzavírání nebo otevírání vstřikovací formy dvou šikmých kolíků s kónickým nákrůžkem, jejichž úhel sklonu je 18°.

Pravá část vstřikovací formy je opatřena uzavíracími zámkami s klínem, aby nedošlo ke změně polohy čelistí v uzavřené poloze - vlivem velkých sil vznikajících v důsledku vysokých tlaků během vstřikování. Posuvná jednotka je navržena s dvěma uzavíracími

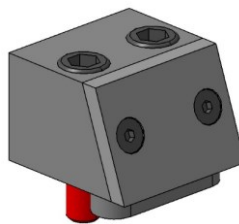
zámky pro zajištění dostatečné tuhosti a pevnosti. Pro zajištění šikmých kolíků v kotevní desce pravé části vstřikovací formy slouží uchycení pro šikmé kolíky. Otevřená poloha posuvné čelisti je zajištěna kuličkovou aretací s pružinkou, která při dosažení maximálního zdvihu posuvné čelisti zapadne do vyhotovené drážky. Kuličková aretace je uložena v kluzných deskách. Maximální zdvih čelistí je 25 mm.



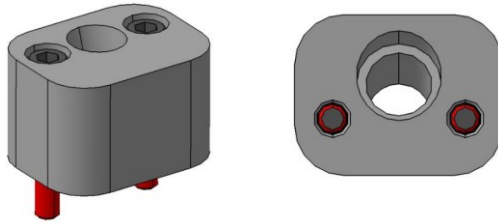
Obrázek 49 Sestava posuvné jednotky



Obrázek 50 Kluzná deska s kuličkovou aretací



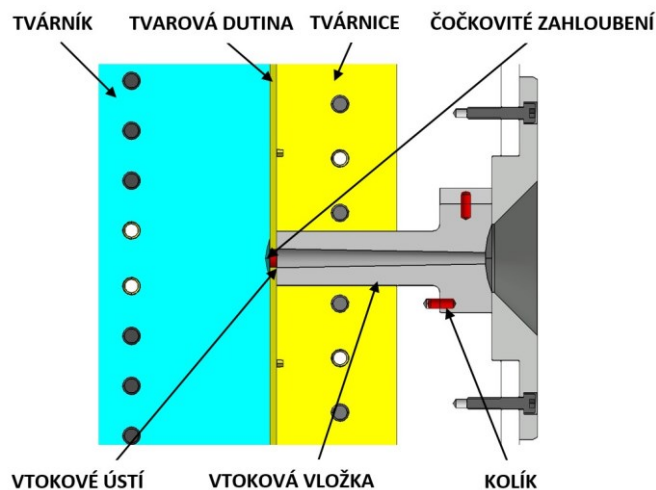
Obrázek 51 Uzavírací zámek s klínem



Obrázek 52 Uchycení šikmého kolíku

10.4 Vtokový systém

Vtokový systém zajišťuje vedení taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do dutiny vstřikovací formy. Z hlediska násobnosti vstřikovací formy a způsobu zaformování výstřiku je navržen studený vtokový systém s plným kuželovým vtokem ústícím do tvarové dutiny.



Obrázek 53 Řez vtokovou soustavou

Hlavním prvkem vtokového systému je vtoková vložka s úkosem 1° a průměrem vtokového ústí 8,5 mm, proti kterému je na stěně výrobku zhotoveno čočkovité zhloubení. Úkolem čočkovitého zhloubení je koncentrovat větší množství taveniny v oblasti ústí vtoku, jež umožňuje vyrovnat vzniklé deformace. Vtoková vložka je mezi deskami ukotvena a zajištěna proti pootočení pojistnými kolíky.

10.5 Temperační systém

Nezbytnou součástí vstřikovací formy je temperace, která má zásadní vliv na plnění tvarové dutiny a následné optimální chládnutí a tuhnutí polymeru. Temperační systém udržuje rovnoměrné teplotní pole vstřikovací formy a opatřuje odvod tepla z tvarové dutiny.

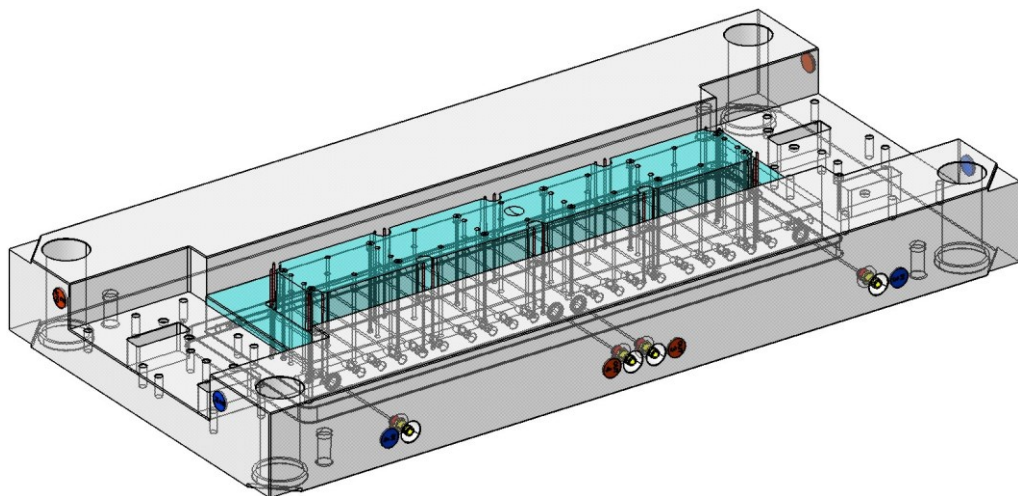
Vstřikovací forma se musí před začátkem výrobního cyklu vyhřát na pracovní teplotu, která závisí na druhu vstřikovaného polymeru. Tato hodnota je udávána v jeho materiálovém listu výrobcem - pro zvolený materiál je tato teplota 50 - 80 °C. Jako temperační médium je použita voda. Vzhledem k průměrné tloušťce výstřiku, jež činí 3 mm, jsou navrženy temperační okruhy tvořené vrtanými kanálky kruhového průřezu o průměru 8 mm. Místa přechodu temperačního média jsou utěsněny O-kroužky. Nevyužitá místa temperačních kanálků jsou zaslepena záslepkami. Temperační okruhy jsou konstruovány tak, aby vyústění bylo převážně na odvrácené straně od obsluhy. Tato vyústění jsou označena příslušnými značkami s číslem označení temperačního okruhu.



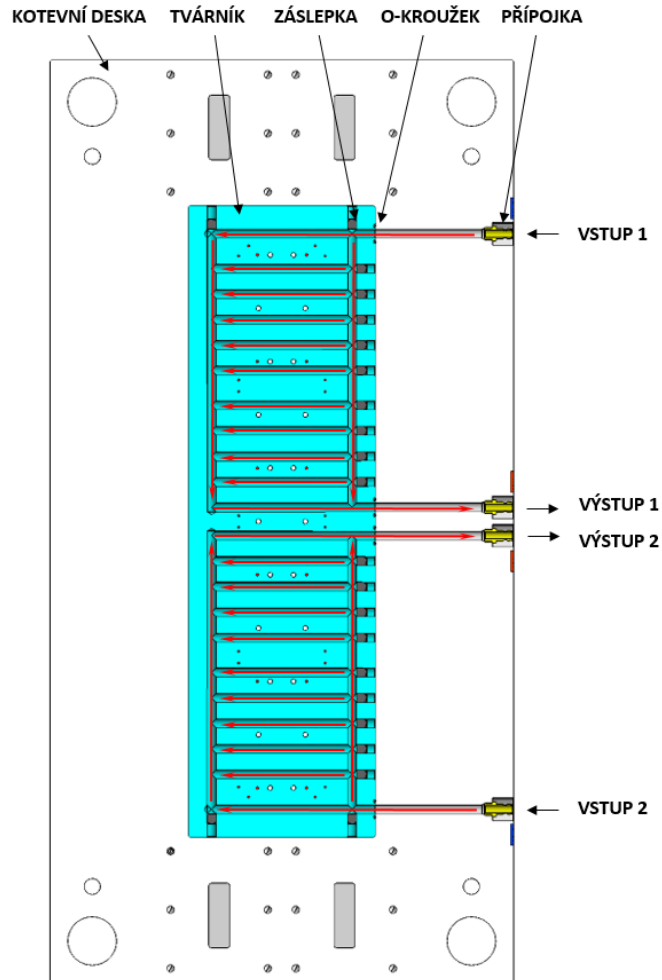
Obrázek 54 Normalizované temperační prvky [26]

10.5.1 Temperace tvárníku

Temperace je zajištěna dvěma paralelními temperačními okruhy. Osově vzdálenosti jednotlivých temperačních kanálků jsou navrženy s ohledem na rozmístění vyměnitelných tvarových vložek.



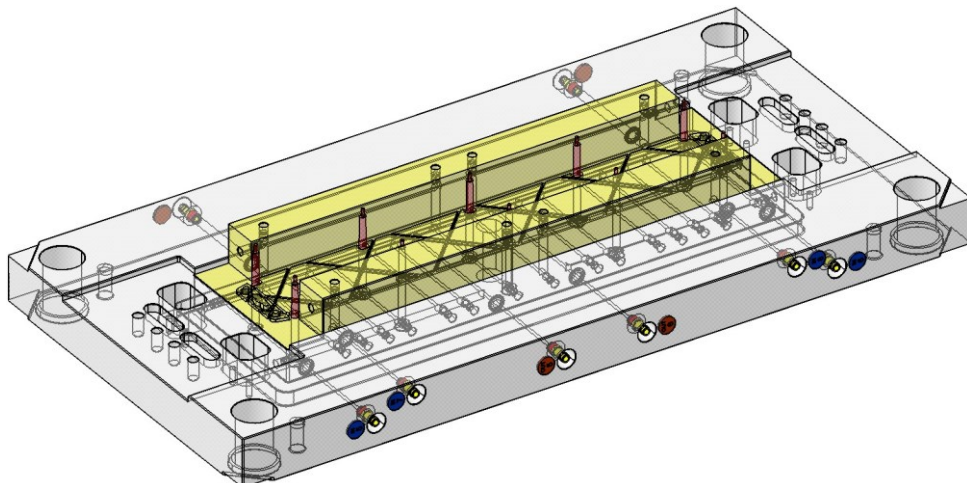
Obrázek 55 Temperace tvárníku 3D



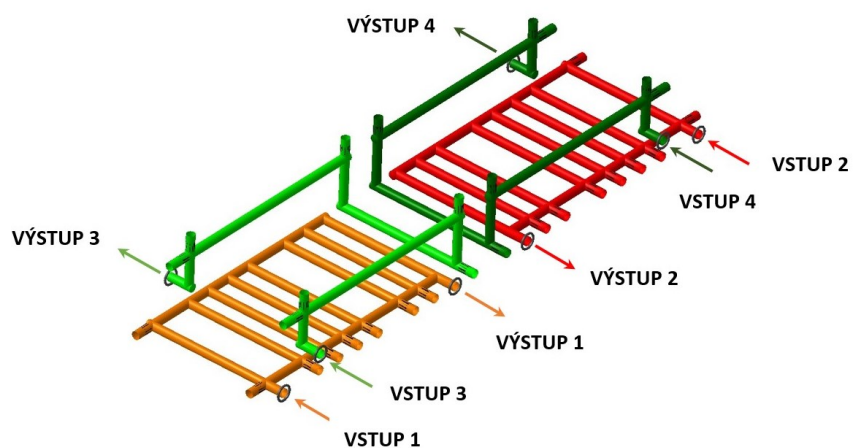
Obrázek 56 Řez temperačními okruhy tvárníku

10.5.2 Temperace tvárnice

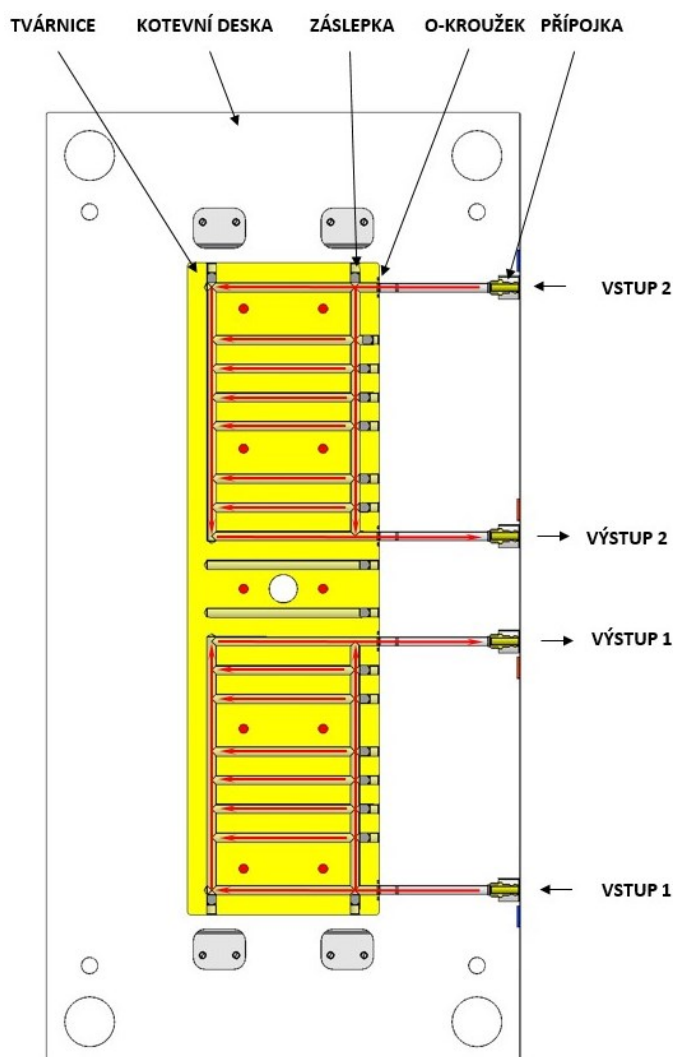
Temperace je zajištěna dvěma sériovými okruhy a dvěma paralelními okruhy. Návrh osových vzdáleností kanálků je proveden s ohledem na rozmístění vyměnitelných tvarových vložek a vtokové vložky.



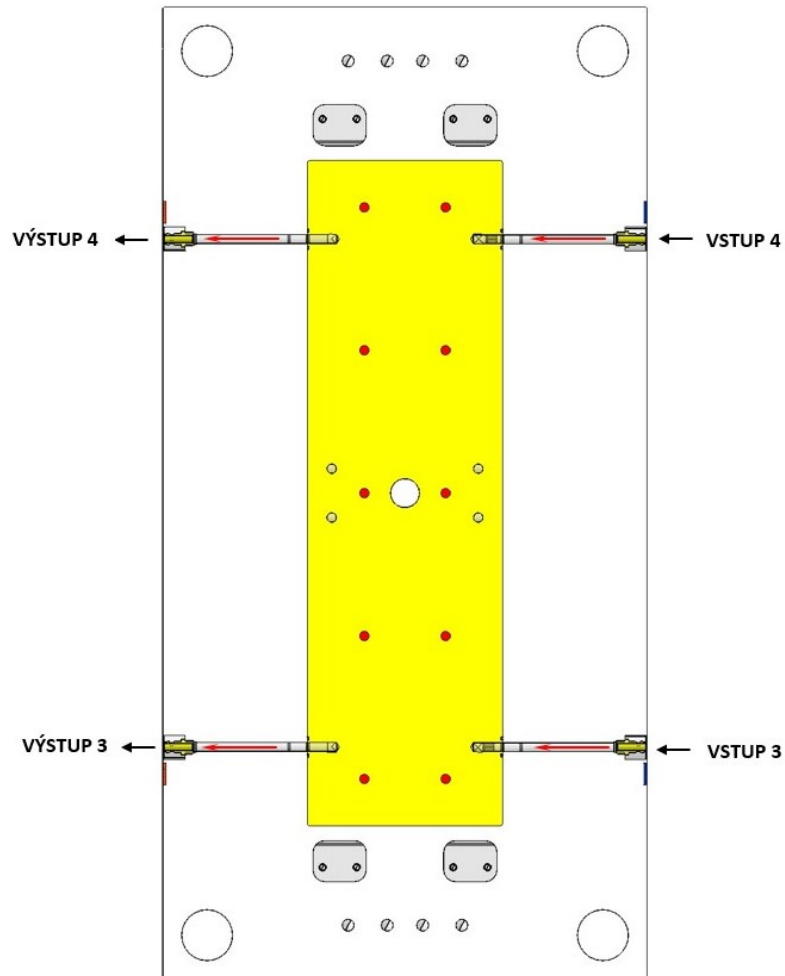
Obrázek 57 Temperace tvárnice 3D



Obrázek 58 3D zobrazení temperačních okruhů tvárnice



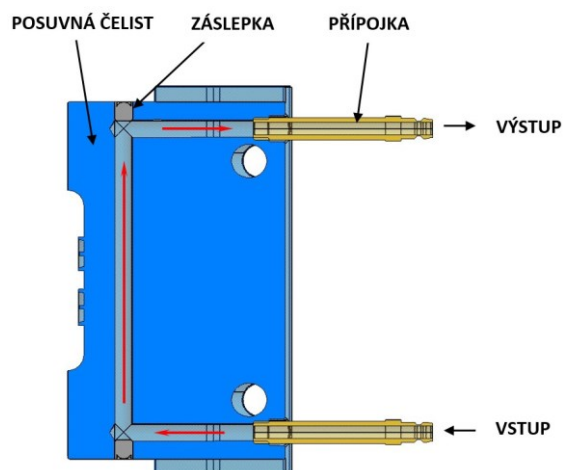
Obrázek 59 Řez paralelními okruhy tvárnice



Obrázek 60 Řez sériovými okruhy tvárnice

10.5.3 Temperace posuvných čelistí

Temperace posuvné čelisti napomáhá udržovat rovnoměrné teplotní pole tvarové dutiny a probíhá jedním sériovým okruhem.



Obrázek 61 Řez temperačním okruhem boční čelisti

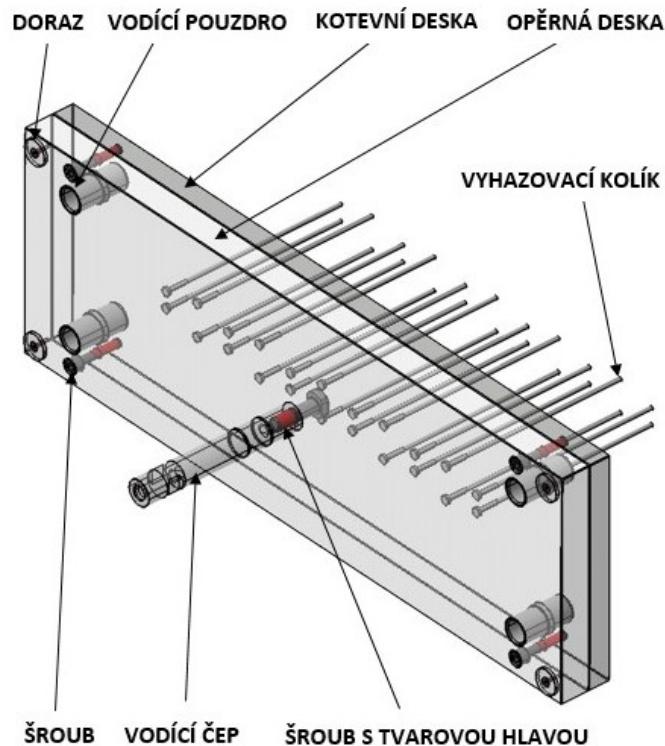
10.6 Vyhazovací systém

Po ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu dochází k jeho vyhození z dutiny vstřikovací formy. Způsob vyhazování je mechanický. K tomu slouží vyhazovací systém umístěný v levé části vstřikovací formy.

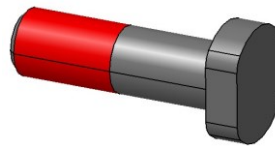
Základem vyhazovacího systému jsou dvě desky - opěrná a kotevní, které jsou vzájemně spojeny šrouby. V kotevní desce jsou ukotveny válcové vyhazovací kolíky o průměru 4mm - uložení vyhazovacích kolíků je provedeno s menší vůlí H7/g6. Změně jejich polohy zabraňuje opěrná deska. Vzhledem k velikosti výstřiku je zvolen vyšší počet vyhazovacích kolíků.

Vyhazovací paket je opatřen dorazovými podložkami, jejichž funkcí je vymezení vzdálenosti při zavření formy. Ve vyhazovacím paketu jsou ukotvena vodící pouzdra, která umožňují vedení po vodících sloupcích usazených v upínací desce levé části vstřikovací formy.

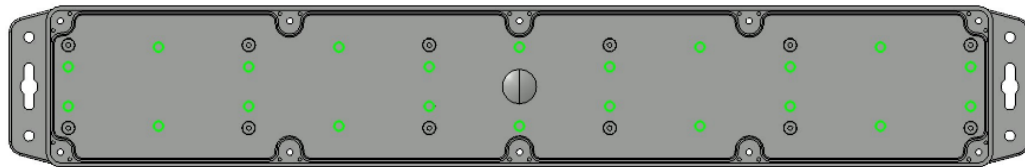
Ovládání vyhazovacího systému je realizováno vodícím čepem, který je spojen s vyhazovacím paketem šroubem s tvarovou hlavou, jenž je uložen v opěrné desce vyhazovacího paketu. Tvarová hlava šroubu zabraňuje protočení čepu kolem jeho vlastní osy. Maximální vyhazovací zdvih je navržen na hodnotu 69 mm.



Obrázek 62 Vyhazovací paket



Obrázek 63 Šroub s tvarovou hlavou



Obrázek 64 Místa dotyku vyhazovačů na výstřiku

10.7 Odvzdušnění

Tvarová dutina formy je před zahájením vstřikovacího procesu vyplněna vzduchem. Při plnění tvarové dutiny taveninou je potřeba, aby byl vzduch odváděn i se vznikajícími zplodinami. Odvzdušnění tvarové dutiny je řešeno vúlemi mezi vyhazovacími a tvarovými prvky. Konstrukce formy je řešena tak, že po odzkoušení lze dodatečně realizovat odvzdušnění přibroušením dělicí roviny.

10.8 Rám vstřikovací formy

Rám vstřikovací formy tvoří sestava vzájemně propojených desek s vodícím a středícím příslušenstvím, jenž tvoří funkční nosič tvarových dutin a vtoků. Návrh rámu vstřikovací formy je řešen využitím stavebnicových prvků Meusburger. Při návrhu rámu vstřikovací formy je vycházeno z typizace, rozmístění a velikosti tvarových dutin.

Rozměry jednotlivých desek odpovídají katalogovým standardům a jsou navrženy tak, aby forma tvořila funkční kompaktní celek s dostatečnou tuhostí. Desky jsou poté ve výrobě doplněny o požadované prvky, popřípadě jsou dodělány zkosené hrany a jiné konstrukční náležitosti. Podle navržených desek jsou určeny velikosti dalších rámových prvků - spojovacích šroubů, vodících čepů, vodících pouzder a centrovacích pouzder. Z důvodu jednodušší montáže jsou použity výhradně šrouby s vnitřním šestihranem. Průměr středících kroužků je zvolen s ohledem na zvolený vstřikovací stroj.

Vstřikovací forma je na své horní straně opatřena závěsným zařízením, které je připevněno šrouby k upínacím deskám formy - tím je zamezeno jejímu otevření. Použitím

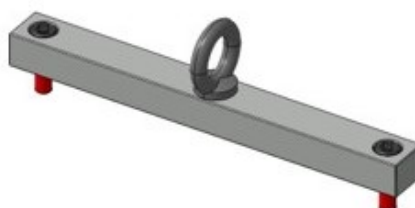
jeřábu lze s formou jednoduše manipulovat. Taktéž je vybavena i vyhazovacím zámkem, který zamezuje vyhazovacímu paketu v jeho posunutí.

ŠROUB S KUŽELOVOU HLAVOU**ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU****KOLÍK**

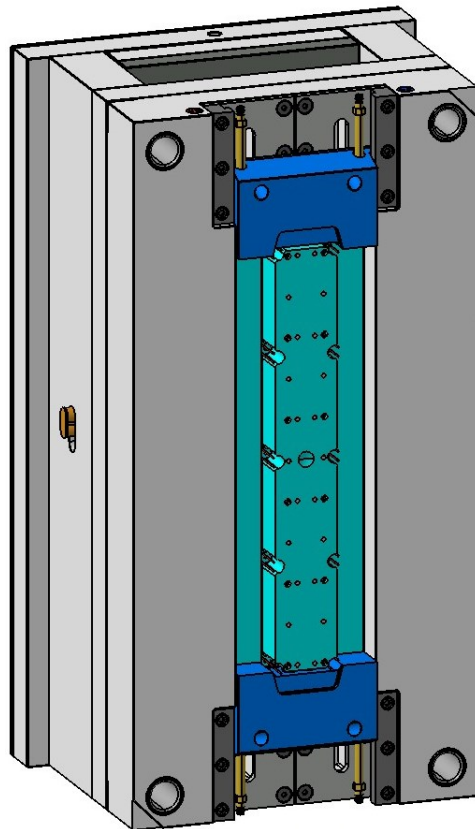
Obrázek 65 Spojovací součásti

VODÍCÍ ČEP**VODÍCÍ ČEP PAKETU****VODÍCÍ POUZDRO PAKETU****CENTROVACÍ POUZDRO****VODÍCÍ POUZDRO**

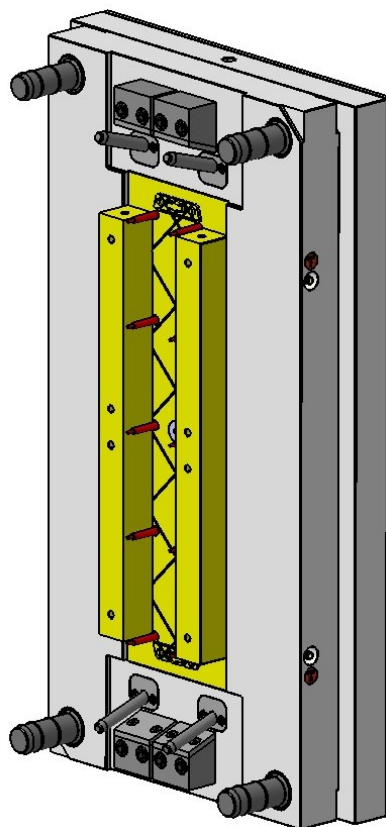
Obrázek 66 Vodící prvky rámu

ZÁMEK PAKETU**ZÁVĚSNÉ ZAŘÍZENÍ****STŘEDÍCÍ KROUŽEK**

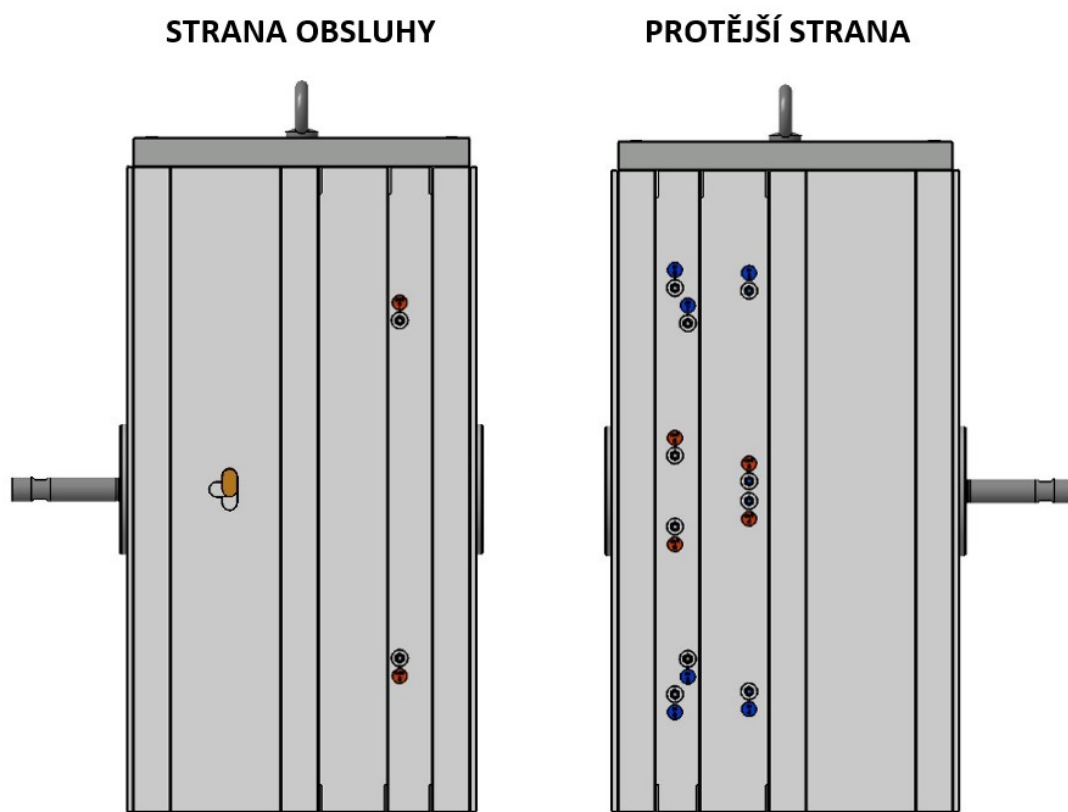
Obrázek 67 Ostatní prvky vstřikovací formy



Obrázek 68 Pohled do levé části vstřikovací formy



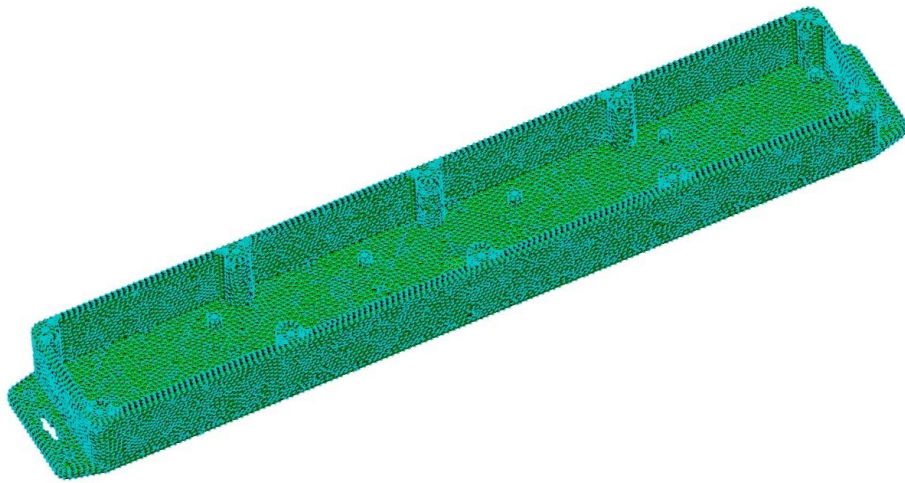
Obrázek 69 Pohled do pravé části vstřikovací formy



Obrázek 70 Vstřikovací forma z pohledu obsluhy

11 ANALÝZY PRŮBĚHU TOKU TAVENINY

Pro ověření správnosti konstrukčního provedení vtokového systému byly zhotoveny dvě verifikační simulace v programu Moldflow Synergy 2023. Simulacemi bylo zkoumáno vhodné umístění vtokového ústí, následně pak průběh a čas plnění dutiny vstřikovací formy taveninou. Pro případ simulace byl model výstřiku opatřen sítí a zároveň mu byl přiřazen materiál LUPOS GP2200. Vzhledem k průměrné tloušťce stěny výstřiku 3 mm byla zvolena 2,5D síť (Dual Domain) s trojúhelníkovými elementy.



Obrázek 71 Vysítovaný model

```
Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles           77386
  Connected nodes    38663
  Connectivity regions 1

  Invisible triangles      0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not included)
  Surface Area:      2055.26 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:         328.928 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    12.53     1.78     1.16

Edge details:
  Free edges           0
  Manifold edges     116079
  Non-manifold edges  0

Orientation details:
  Elements not oriented  0

Intersection details:
  Element intersections  0
  Fully overlapping elements  0

Match percentage:
  Match percentage      85.5%
  Reciprocal percentage  83.1%

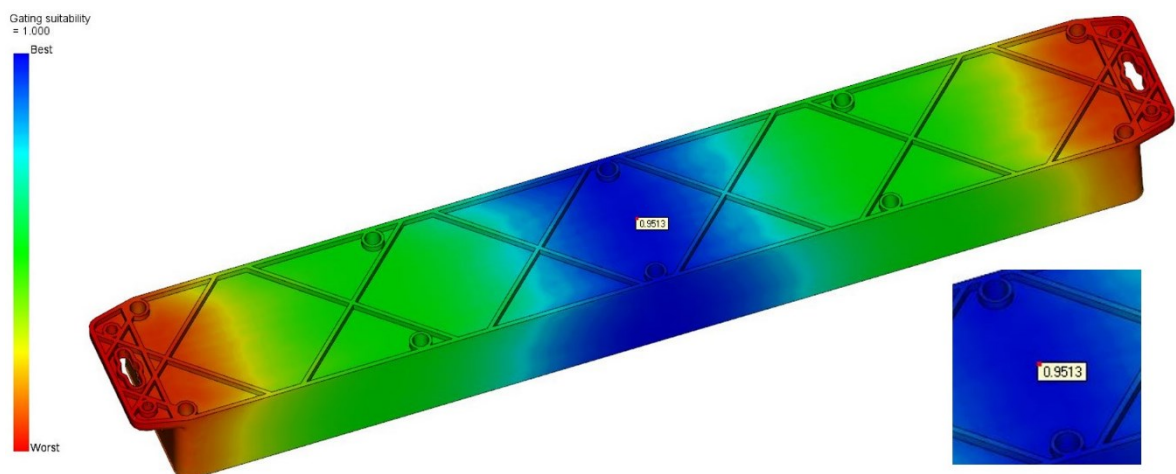
Suitable for Dual Domain analysis.
```

Obrázek 72 Vlastnosti sítě

Kvalita sítě byla následně ověřena na základě vyhodnocených vlastností sítě. Z hlediska vhodnosti sítě jsou nejdůležitějšími faktory Aspect Ratio, Match Percentage a Reciprocal Percentage. Aspect Ratio udává poměr stran mezi šířkou a výškou elementu sítě a hodnota by měla být optimálně menší než 20. Match Percentage definuje procento prvků, pro které byl na opačné straně modelu nalezen shodný prvek. Reciprocal Percentage udává procento shodných prvků, které se zpětně shodují se stejným prvkem. V obou případech je optimální hodnota větší než 80 %. Z uvedených vlastností (viz obr. 72) lze usoudit, že síť je pro daný typ analýzy vhodně zvolena.

11.1 Vhodnost umístění vtokového ústí

V první simulaci byla ověřována vhodnost návrhu umístění vtokového ústí. Plochy znázorněné (viz obr. 73) modrou barvou značí nejvhodnější místa umístění vtokového ústí, plochy znázorněné červenou barvou naopak znázorňují nejméně vhodná místa. Dle výsledků simulace je umístěno vtokové ústí s vhodností 95%.

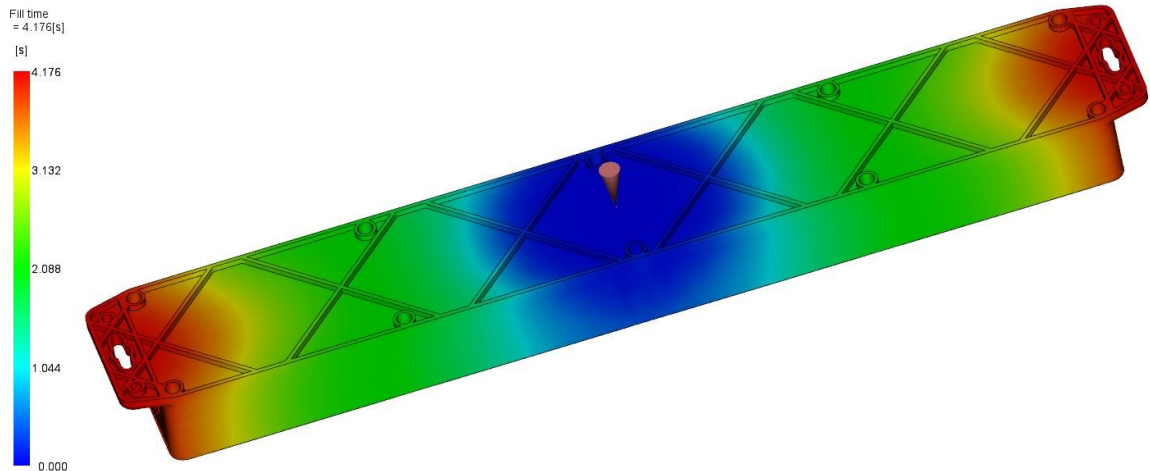


Obrázek 73 Vhodnost umístění vtokového ústí

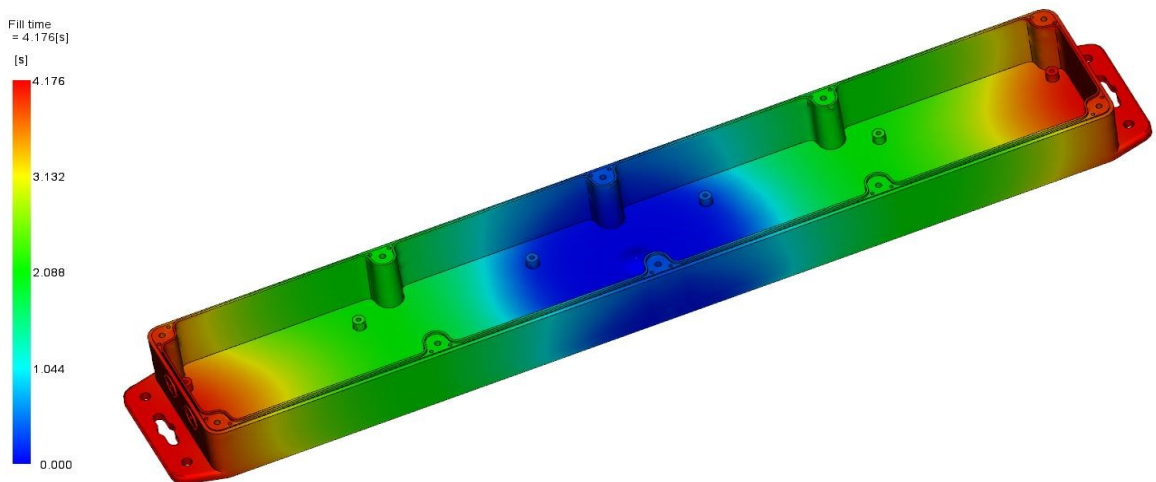
11.2 Čas plnění

Před zahájením samotné simulace bylo nutné nadefinovat parametry dotlakové fáze vstřikování. Pro tento případ byl bod přepnutí na dotlak definován při 99 % zaplnění dutiny vstřikovací formy. Hodnota dotlaku byla nastavena jako 80 % maximálního vstřikovacího tlaku působícího po dobu 10 s. Předmětem simulace bylo zjistit, zda bude tavenina postupovat dutinou vstřikovací formy rovnoměrně a zda dojde k jejímu celkovému zaplnění, popřípadě za jakou dobu.

Z následujících obrázků (viz obr. 74, 75) je patrné, že tavenina postupovala rovnoměrně a stabilně v průběhu celé dutiny formy - došlo tak ke kompletnímu zatečení. Čas plnění byl v krajních plochách 4,176s. Tyto krajní plochy jsou znázorněny červenou barvou. Modrou barvou jsou znázorněny místa poblíž vtokového ústí.



Obrázek 74 Čas plnění (pohled 1)



Obrázek 75 Čas plnění (pohled 2)

11.3 Diskuze výsledků

Cílem analýzy bylo zjistit pomocí vhodných simulací, zda je na výrobku správně umístěno vtokové ústí a následně vyhodnotit, jestli dojde ke kompletnímu zatečení polymeru do tvarové dutiny vstříkovací formy, popřípadě za jaký čas.

Simulacemi bylo potvrzeno, že pro daný typ výstřiku je optimální umístění vtokového ústí skutečně vprostřed, a to až s 95 % vhodností. Následně bylo zjištěno, že dojde k rovnoměrnému zatečení taveniny do celé tvarové dutiny vstříkovací formy. Čas plnění byl přibližně 4,2 s.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provedení literární rešerše v oblasti technologie vstřikování, konstrukce vstřikovaných dílů a vstřikovacích forem. Následně na základě nabytých znalostí vypracovat praktický návrh konstrukční formy pro zadaný model - v tomto případě se jednalo o elektroinstalační box. Součástí návrhu je zhotovená výkresová dokumentace vstřikovací formy a daného výrobku.

V teoretické části bylo popsáno celkově pět kapitol - základní informace o polymerních materiálech, konstrukce výrobků z termoplastů, technologie vstřikování, vstřikovací stroje a vstřikovací formy.

V praktické části byl zhotoven 3D model elektroinstalačního boxu dle zadání vedoucího bakalářské práce. Původní řešení nebylo optimální, a proto bylo upraveno. Dle charakteristiky vstřikovaného výrobku byl zvolen vhodný materiál, ze kterého bude výrobek zhotoven. Jako materiál byl zvolen termoplastický polymer ABS s 20% skelných vláken, jehož obchodní název je LUPOS GP2200. Vstřikovací forma byla navržena s ohledem na zvolený vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 820A. Následně byla popsána konstrukce vstřikovací formy. Vstřikovací forma byla koncipována jako jednonásobná se studeným vtokovým systémem. Tvarové geometrie ve vedlejších dělicích rovinách jsou odformovány posuvnými čelistmi, které jsou ovládány mechanicky. Temperace je řešena průtokem vody soustavami vrtaných kanálů. Únik vzduchu z dutiny formy je realizován vůlemi mezi tvarovými a vyhazovacími prvky. Rám vstřikovací formy je navržen s ohledem na způsob zaformování a rozmístění tvarové dutiny. Vstřikovací forma je jako celek opatřena závěsným systémem, který slouží pro snadnou manipulaci. Pro ověření správnosti návrhu vtokového systému byla vyhotovená analýza, jejímiž výsledky bylo navržené řešení podpořeno.

Vstřikovací forma byla projektována v programu Catia V5R20 a její návrh byl značně zefektivněn využitím normálií předního výrobce Meusburger. Pro 3D model elektroinstalačního boxu i vstřikovací formy byla vytvořena 2D výkresová dokumentace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kauffer, P.H.: Injection molding: Process, design, and applications. Nova Publishers, New York 2011. ISBN 978-1-61761-307-4
- [2] Mleziva J.: Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. vyd. Sobotáles, Praha 2000. ISBN 80-8592-072-7
- [3] Ducháček V.: Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [4] Zeman L.: Vstřikování plastů - teorie a praxe. 2. vyd. Grada Publishing, Praha 2018. ISBN 978-80-271-0614-1
- [5] Prokopová I.: Makromolekulární chemie. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2007. ISBN 978-80-7080-662-3
- [6] Hovorka F.: Technologie chemických látek. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. ISBN 80-7080-588-9
- [7] Zeman L.: Vstřikování plastů 2 - simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk - teorie a praxe. Grada Publishing, Praha 2021. ISBN 978-80-271-1294-4
- [8] Campo Alfredo E.: The complete part design handbook - for injection molding of thermoplastics. Hanser Publishers, Mnichov 2006. ISBN 978-1-56990-893-8
- [9] Kazmer D.: Injection mold design engineering. 2. vyd. Hanser Publishers, Mnichov 2016. ISBN 978-1-56990-570-8
- [10] Bobek J.: Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. Technická univerzita Liberec. Liberec 2015. ISBN: 978-80-88058-63-2
- [11] Lenfeld P.: Technologie vstřikování. Technická univerzita Liberec. Liberec 2015. ISBN: 978-80-88058-72-4.
- [12] Dvořák Z., Lédlová H.: Základy výrobních procesů - výrobní technologie zpracování polymerů vstřikováním. UTB ve Zlíně. Zlín 2007
- [13] Brammer S., Kerkstra R.: Injection molding advanced troubleshooting guide. Hanser Publishers, Mnichov 2018. ISBN 978-1-56990-645-3

- [14] Vady výstřiků - 1.díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje [online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>. [cit. 2022-12-25]
- [15] Vady výstřiků - 2.díl: Vady tvaru a rozměrové vady [online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>. [cit. 2022-12-25]
- [16] Vady výstřiků - 3.díl: Vady vzhledové [online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove>. [cit. 2022-12-25]
- [17] Seidl M.: Stroje pro zpracování polymerních materiálů. Technická univerzita Liberec. Liberec 2016. ISBN: 978-80-88058-71-7.
- [18] Mennig G, Stoeckhert K.: Mold-making handbook. 3. vyd. Hanser Publishers, Mnichov 2013. ISBN 978-1-56990-446-6
- [19] Goodship V.: Arburg: Practical guide to injection moulding. 2.vyd. Smithers information limited, Shawbury 2017. ISBN 978-1-91024-294-0
- [20] Jones P.: The mould design guide. Smithers rapra technology limited, Shawbury 2008. ISBN 978-1-84735-088-6
- [21] Kamal M., Isayev A., Jung Liu S.: Injection molding: Technology and fundamentals. Hanser Publishers. Mnichov 2009. ISBN 978-3-446-41685-7
- [22] Hynek M. a kol.: KA 05 - Plastové díly: Studené a živé vtokové systémy [online]. Dostupné z: [KA05 Studene a zive vtokove systemy.pdf \(zcu.cz\)](#). [cit. 2022-12-25]
- [23] Hynek M. a kol.: KA 05 - Plastové díly: Horké vtoky [online]. Dostupné z: [KA05 Horke vtoky.pdf \(zcu.cz\)](#). [cit. 2022-12-25].
- [24] Hynek M. a kol.: KA 05 - Plastové díly: Vyhazovací sestava a vyhazovače [online]. Dostupné z: [KA05 Vyhazovaci sestava a vyhazovace.pdf \(zcu.cz\)](#). [cit. 2022-12-25].
- [25] Nesch W., Pruner H.: Understanding injection molds. Hanser Publishers, Mnichov 2016. ISBN 978-1-56990-527-2
- [26] PORTÁL Meusburger: Meusburger. [online] [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: www.meusburger.com

- [27] Stoklasa, K.: Zpracovatelské inženýrství I - Základy gumárenské a plastikářské technologie, 1. vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická 2007
- [28] PORTÁL MatWeb: LG Chemical Technical Data Sheets. [online] [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: [LG Chemical Technical Data Sheets \(matweb.com\)](https://www.matweb.com)
- [29] PORTÁL ARBURG: ARBURG. [online] [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: www.arburg.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
ASA	Akrylonitril-styren-akrylát
bar	Bar
cm ²	Čtvereční centimetr
cm ³	Kubický centimetr
d	Průměr šneku
g	Gram
HDR	Hlavní dělicí rovina
hod	Hodina
HRC	Tvrdost podle Rockwella
kg	Kilogram
l	Délka
MPa	Megapascal
mm	Milimetr
min	Minuta
M	Metrický závit
Obr.	Obrázek
PA	Polyamid
PBT	Polybutylen-tereftalát
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PET	Polyetylen-tereftalát
PMMA	Polymetyl-metakrylát
POM	Polyoxymetylén
PP	Polypropylen

PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
R	Rádus
Ra	Průměrná aritmetická odchylka profilu
s	Sekunda
T	Teplota
tab.	Tabulka
VDR	Vedlejší dělicí rovina
°C	Celsiův stupeň
2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor
μm	mikrometr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení polymerů z hlediska jejich chování dle působení teploty [3].....	12
Obrázek 2 Příklad vhodného návrhu tloušťku stěny výrobku [10].....	18
Obrázek 3 Příklad vhodného návrhu úkosů výrobku [10].....	18
Obrázek 4 Tvarové geometrie výstřiku [8].....	19
Obrázek 5 Doporučené rozměry žebra [10].....	19
Obrázek 6 Doporučené rozměry nálitku [10]	20
Obrázek 7 Příklad vhodného zaoblení ostrých hran [10]	20
Obrázek 8 Vliv velikosti zaoblení na velikost koncentrace napětí [10]	21
Obrázek 9 Výšečový diagram vstřikovacího cyklu [27]	22
Obrázek 10 Vstřikovací cyklus [19]	23
Obrázek 11 pvT diagramy vstřikovacího cyklu [4]	25
Obrázek 12 Vstřikovací stroj [18]	30
Obrázek 13 Schéma šnekové vstřikovací jednotky [21].....	31
Obrázek 14 Hydraulická uzavírací jednotka [19].....	32
Obrázek 15 Volba dělicích rovin [18]	34
Obrázek 16 Návrh odformování bočních otvorů [18]	34
Obrázek 17 Konstrukce tvarové dutiny [18].....	34
Obrázek 18 Zhotovení pevné části vstřikovací formy [18]	35
Obrázek 19 Celková kompletace vstřikovací formy [18].....	35
Obrázek 20 Řez vstřikovací formou [18]	37
Obrázek 21 Schéma studeného vtokového systému [22]	38
Obrázek 22 Vtoková vložka [26].....	39
Obrázek 23 Přidržovač vtoku [22].....	39
Obrázek 24 Typy průřezů rozvodných kanálů [20]	40
Obrázek 25 Příklady rozvržení rozvodných kanálů [20]	40
Obrázek 26 Příklady vtokových ústí [22]	41
Obrázek 27 Vyhřívaný vtokový systém [26].....	42
Obrázek 28 Tryska s uzavírací jehlou [19].....	43
Obrázek 29 Příklady vyhazovacích kolíků [26]	45
Obrázek 30 Boční odformování mechanicky ovládanými posuvnými čelistmi [26]	46
Obrázek 31 Doporučené rozměry temperačních kanálů [20]	48
Obrázek 32 Konstrukční provedení temperačních kanálů [25]	48
Obrázek 33 Odvzdušnění tvarové dutiny [20].....	49
Obrázek 34 Původní návrh elektroinstalačního boxu	55

Obrázek 35 Porovnání úkosů před a po úpravě modelu	55
Obrázek 36 Model elektroinstalačního boxu po úpravě	56
Obrázek 37 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 820 A [29].....	58
Obrázek 38 Model vstřikovací formy	59
Obrázek 39 Hlavní dělicí rovina výstřiku (HDR).....	60
Obrázek 40 Vedlejší dělicí roviny výstřiku (VDR)	60
Obrázek 41 Tvarové geometrie odformované v daných rovinách.....	61
Obrázek 42 Zaformování výstřiku ve tvarových dílech vstřikovací formy.....	62
Obrázek 43 Popis tvárníku.....	62
Obrázek 44 Vložka 1 - 2D a 3D pohled.....	63
Obrázek 45 Vložka 2 - 2D a 3D pohled.....	63
Obrázek 46 Popis tvárnice	63
Obrázek 47 Vložka tvárnice - 2D a 3D pohled.....	64
Obrázek 48 Popis posuvné čelisti	64
Obrázek 49 Sestava posuvné jednotky	65
Obrázek 50 Kluzná deska s kuličkovou aretací	65
Obrázek 51 Uzavírací zámek s klínem	65
Obrázek 52 Uchycení šikmého kolíku.....	66
Obrázek 53 Řez vtokovou soustavou.....	66
Obrázek 54 Normalizované temperační prvky [26]	67
Obrázek 55 Temperace tvárníku 3D	67
Obrázek 56 Řez temperačními okruhy tvárníku	68
Obrázek 57 Temperace tvárnice 3D	68
Obrázek 58 3D zobrazení temperačních okruhů tvárnice.....	69
Obrázek 59 Řez paralelními okruhy tvárnice	69
Obrázek 60 Řez sériovými okruhy tvárnice	70
Obrázek 61 Řez temperačním okruhem boční čelisti	70
Obrázek 62 Vyhazovací paket	71
Obrázek 63 Šroub s tvarovou hlavou.....	72
Obrázek 64 Místa dotyku vyhazovačů na výstřiku.....	72
Obrázek 65 Spojovací součásti	73
Obrázek 66 Vodící prvky rámu	73
Obrázek 67 Ostatní prvky vstřikovací formy	73
Obrázek 68 Pohled do levé části vstřikovací formy	74
Obrázek 69 Pohled do pravé část vstřikovací formy	74

Obrázek 70 Vstřikovací forma z pohledu obsluhy	75
Obrázek 71 Vysířovaný model	76
Obrázek 72 Vlastnosti sítě	76
Obrázek 73 Vhodnost umístění vtokového ústí	77
Obrázek 74 Čas plnění (pohled 1)	78
Obrázek 75 Čas plnění (pohled 2)	78

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Příčiny vzniku nedostříknutého výrobku [13]	28
Tabulka 2 Příčiny vzniku propadlin [13]	28
Tabulka 3 Příčiny vzniku přetoků [13]	28
Tabulka 4 Příčiny vzniku studených spojů [13]	29
Tabulka 5 Příčiny vzniku dieselektu [13]	29
Tabulka 6 Příčiny vzniku jettingu [13]	29
Tabulka 7 Zpracovatelské teploty polymerů ke vstřikování [25]	47
Tabulka 8 Přehled nejpoužívanějších ocelí při výrobě forem [20]	51
Tabulka 9 Základní fyzikální vlastnosti vstřikovaného výrobku	56
Tabulka 10 Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti zvoleného materiálu [28]	57
Tabulka 11 Doporučené procesní parametry zvoleného materiálu [28]	57
Tabulka 12 Vybrané parametry zvoleného vstřikovacího stroje [29]	58
Tabulka 13 Základní rozměry vstřikovací formy	59

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I - Materiálový list LUPOS GP2200

Příloha P II - Parametry vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 820 A

Příloha P III - Výkresová dokumentace:

- Výkres sestavy vstřikovací formy
- Pohled L-L
- Pohled P-P
- Výkres modelu elektroinstalačního boxu

Příloha P IV - CD disk s následujícím obsahem:

- Text bakalářské práce v elektronické podobě
- Materiálový list LUPOS GP2200
- Parametry vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 820 A
- 3D model elektroinstalačního boxu
- 3D model vstřikovací formy
- Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST LUPOS GP2200

SolutionPartner



LUPOS GP2200

Injection Molding, ABS+GF20%

Description

General Purpose

Application

Electric & Electronic (Housing, Components)

Properties	Test Condition	Test Method	Unit	Typical Value
Physical				
Specific Gravity		ASTM D792	-	1.19
Molding Shrinkage (Flow), 3.2mm		ASTM D955	%	0.1 ~ 0.3
Melt Flow Rate	230 °C/3.8kg	ASTM D1238	g/10min	2
Mechanical				
Tensile Strength, 3.2mm @ Yield	5mm/min	ASTM D638	kg/cm ²	850
Tensile Elongation, 3.2mm @ Yield	5mm/min	ASTM D638	%	
@ Break	5mm/min		%	3
Flexural Strength, 3.2mm	1.3mm/min	ASTM D790	kg/cm ²	1,200
Flexural Modulus, 3.2mm	1.3mm/min	ASTM D790	kg/cm ²	50,000
IZOD Impact Strength, 6.4mm (Notched)	23 °C -30 °C	ASTM D256	kg-cm/cm kg-cm/cm	7
Rockwell Hardness	R-Scale	ASTM D785	-	115
Thermal				
Heat Deflection Temperature, 6.4mm (Unannealed)	18.6kg 4.6kg	ASTM D648	°C °C	98
Vicat Softening Temperature	5kg, 50 °C/h 1kg, 120 °C/h	ASTM D1525	°C °C	
Flammability		UL94		
0.7mm			class	
1.5mm			class	HB
1.7mm			class	
3.0mm			class	
Relative Temperature Index		UL 746B		
Electrical			°C	60
Mechanical with Impact			°C	60
Mechanical without Impact			°C	60

Note) Typical values are only for material selection purpose, and variation within normal tolerances are for various colors.

Values given should not be interpreted as specification and not be used for part or tool design.

All properties, except melt flow rate are measured on injection moulded specimens and after 48 hours storage at 23 °C, 50% relative humidity.

Updated : Aug-01, 2014

The information contained herein, including, but not limited to, data, statements and typical values, are given in good faith. LG Chem makes no warranty or guarantee, expressed or implied, (i) that the result described herein will be obtained under end - use conditions, or (ii) as to the effectiveness or safety of any design incorporating LG Chem materials, products, recommendations or advice. Further, any information contained herein shall not be construed as a part of legally binding offer. Especially, the typical values should be regarded as reference values only and not as binding minimum values. Each user bear full responsibility for making its own determination as to the suitability of LG Chem's materials, products, recommendations, or advice for its own particular use. Each user must identify and perform all tests and analyses necessary to assure that its finished parts incorporating LG Chem material or products will be safe and suitable for use under end - use conditions. The data contained herein can be changed without notice as a result of the quality improvement of the products.

LUPOS GP2200

Injection Molding, ABS+GF20%

Description

General Purpose

Application

Electric & Electronic (Housing, Components)

Electrical

Comparative Tracking Index(CTI)	Solution A	IEC 60112	Volts
Surface Resistivity		IEC 60093	Ohm
Volume Resistivity	23 °C	ASTM D257	Ohm·m
Arc Resistance	23 °C	ASTM D495	Ohm·cm
Dielectric Strength, 1mm	23 °C	ASTM D149	kV/mm
Dielectric Constant (10 ⁶ Hz)	23 °C	ASTM D150	sec

Note) Typical values are only for material selection purpose, and variation within normal tolerances are for various colors.

Values given should not be interpreted as specification and not be used for part or tool design.

All properties, except melt flow rate are measured on injection moulded specimens and after 48 hours storage at 23 °C, 50% relative humidity.

Processing Guide (Injection Molding)

Processing Parameters		Unit	Value
Drying Temperature		°C	80~100
Drying Time		hrs	3 ~ 4
Maximum Moisture Content		%	0.02
Melt Temperature		°C	235 ~ 245
Cylinder Temperature	Rear	°C	220 ~ 235
	Middle	°C	220 ~ 240
	Front	°C	220 ~ 240
Nozzle Temperature		°C	230 ~ 245
Mold Temperature		°C	50 ~ 80
Back Pressure		kg/cm ²	10 ~ 40
Screw Speed		rpm	40 ~ 80

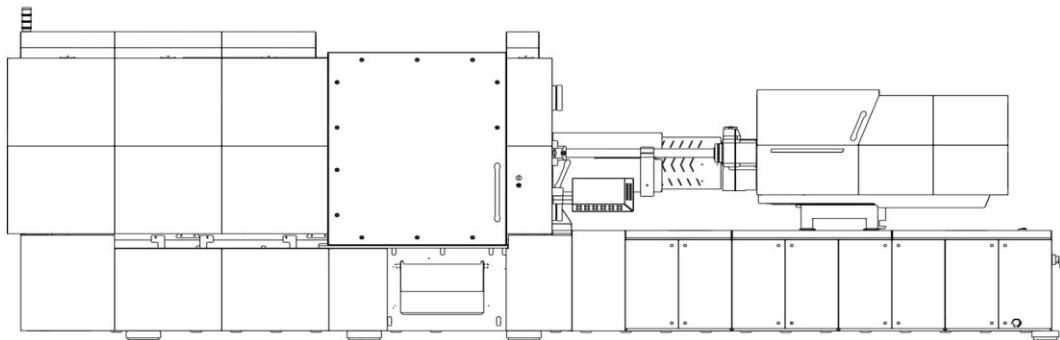
Note) Back Pressure & Screw Speed are only mentioned as general guidelines.

These may not apply or need adjustment in specific situations such as low shot sizes, thin wall molding and gas-assist molding.

Updated : Aug-01, 2014

The information contained herein, including, but not limited to, data, statements and typical values, are given in good faith. LG Chem makes no warranty or guarantee, expressed or implied, (i) that the result described herein will be obtained under end - use conditions, or (ii) as to the effectiveness or safety of any design incorporating LG Chem materials, products, recommendations or advice. Further, any information contained herein shall not be construed as a part of legally binding offer. Especially, the typical values should be regarded as reference values only and not as binding minimum values. Each user bear full responsibility for making its own determination as to the suitability of LG Chem's materials, products, recommendations, or advice for its own particular use. Each user must identify and perform all tests and analyses necessary to assure that its finished parts incorporating LG Chem material or products will be safe and suitable for use under end - use conditions. The data contained herein can be changed without notice as a result of the quality improvement of the products.

PŘÍLOHA P II: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE ARBURG ALLROUNDER 820 A



ALLROUNDER 820 A **Clamp-Design**

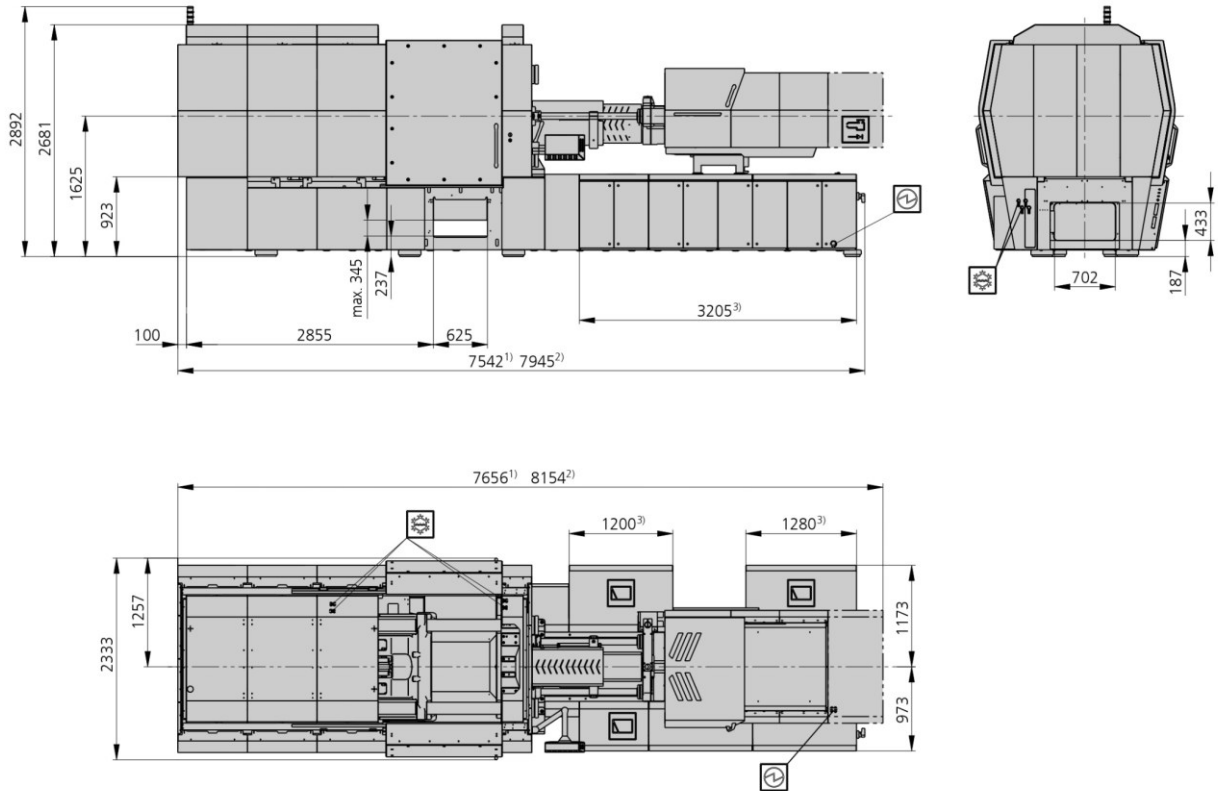
Distance between tie bars: 820 x 820 mm

Clamping force: 4000 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 1300, 2100

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 820 A



1) Injection unit 1300
 2) Injection unit 2100
 3) Depending on the power and size of the injection unit

TECHNICAL DATA | 820 A

Clamping unit			820 A
with clamping force	max. kN		4000
Opening force | stroke	max. kN | mm		--- | 750
Mould height, fixed | variable	min.-max. mm		--- | 350-850
Platen daylight fixed | variable	max. mm		--- | 1100-1600
Distance between tie bars (w x h)	mm		820 x 820
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		1171 x 1171
Weight of movable mould half	max. kg		4000
Ejector force | stroke	max. kN | mm		86 | 250
Dry cycle time EUROMAP	Comfort	min. s - mm	2,3 - 574
	Ultimate	min. s - mm	1,8 - 574

Injection unit			1300			2100		
with screw diameter	mm		55	60	70	60	70	80
Effective screw length	L/D		22	20	17	23	20	17,5
Screw stroke	max. mm		240			280		
Calculated stroke volume	max. cm ³		570	678	923	792	1078	1407
Shot weight	max. g PS		521	620	844	723	984	1286
Material throughput	max. kg/h PS		86	96	115	125	145	175
	max. kg/h PA6.6		43	48	58	62	74	88
Injection pressure	max. bar		2380	2000	1470	2500	2000	1530
Holding pressure time	max. s - bar		300-1900	300-1600	300-1170	300-2180	300-1600	300-1220
Injection flow ²	Comfort [+]	max. cm ³ /s	261 [356]	311 [424]	423 [577]	339 [452]	462 [616]	603 [804]
	Ultimate [+]	max. cm ³ /s	476	566	772	707 [919]	962 [1251]	1257 [1634]
Injection speed ³	Comfort [+]	max. mm/s	110 [150]			120 [160]		
	Ultimate [+]	max. mm/s	200			250 [325]		
Screw circumferential speed	max. m/min		55	60	70	51	60	69
Screw torque	max. Nm		1510	1640	1920	2140	2500	2850
Nozzle contact force | retraction stroke	max. kN | mm		90 | 500			110 | 600		
Heating capacity | zones	kW		22,9 | 8			31,2 | 8		
Feed hopper	l		---			---		

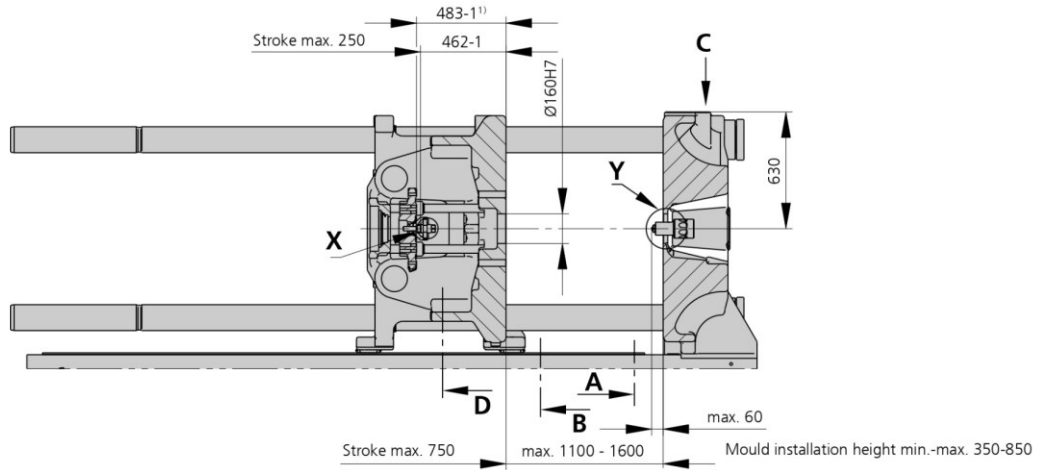
Drive and connection			Comfort		Ultimate	
with injection unit			1300	2100	1300	2100
Net weight of machine	kg		22300	23500	22300	23500
Sound press. level | Insecurity ⁴	dB(A)		57 | 3		57 | 3	
Electrical connection ³	kW		70	95	76	100
	Total	A	148	---	142	---
	Machine	A	125	160	125	160
	Heating	A	40	50	40	50
Cooling water connection	max. °C		30		30	
	min. Δp bar		1,5 | DN 25		1,5 | DN 25	

Machine type
with EUROMAP size designation ¹
820 A 4000-1300 | 2100

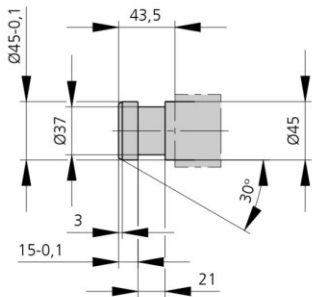
Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on versions, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure 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) Specification of maximum injection flow at maximum injection pressure.
- 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
- 4) Emission sound pressure level at the workplace. Detailed information in the operating instructions.
- 5) Forward speed of plasticising screw at 1000 bar injection pressure.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

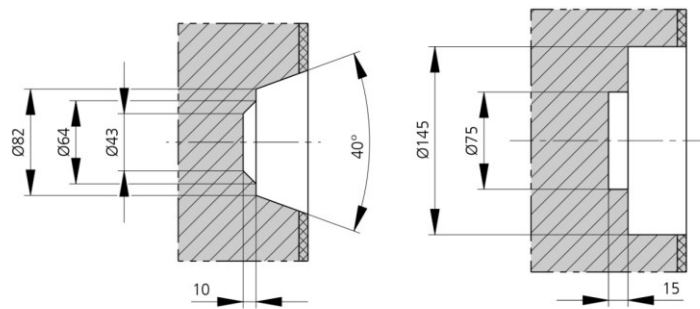
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 820 A



Ejector bolt | X

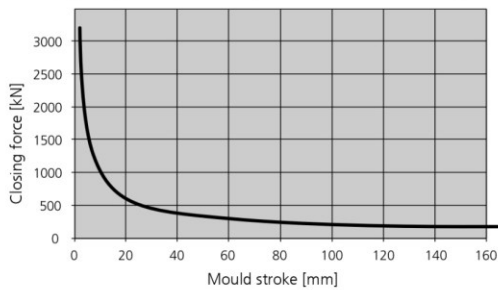


Bore in mould (if required) | Y



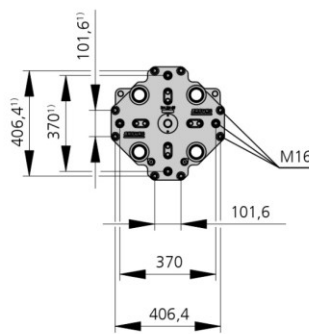
thermoset version -
injection unit 2100 available on request

Closing force for spring moulds / during injection compression moulding*

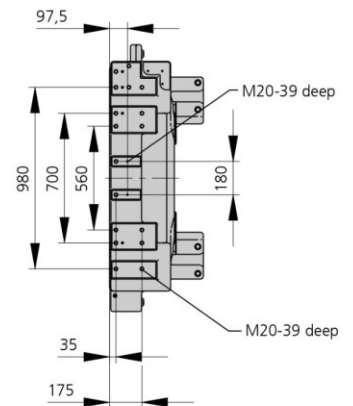


* automatic locking force adjustment up to 25 kN

Ejector plate | D



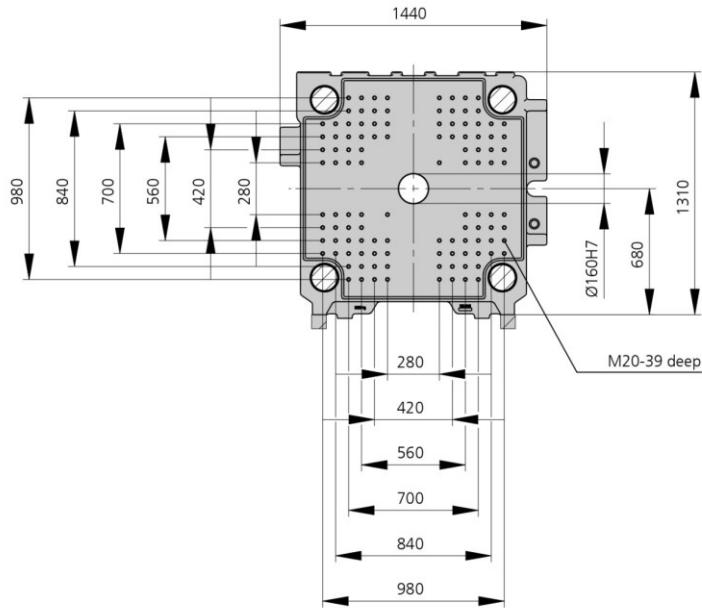
Robotic system mounting | C



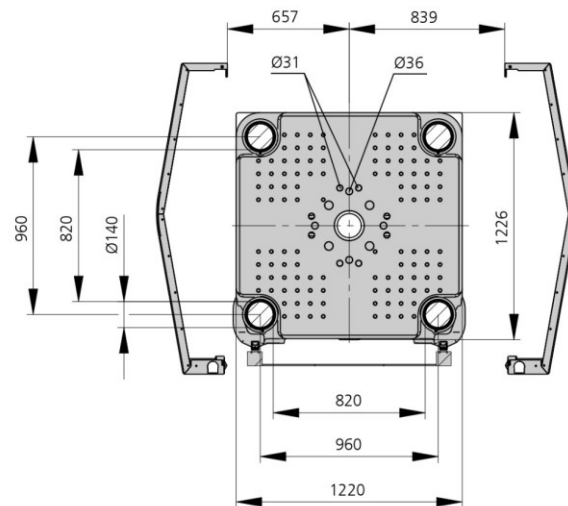
1) Ejector plate position
Optional: Reinforced mounting platen (see variant 3)

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 820 A

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



SHOT WEIGHTS | 820 A

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		1300			2100		
Screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80
Polystyrene	max. g PS	521	620	844	723	984	1286
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	509	606	824	707	962	1256
	max. g SAN, ABS ¹⁾	499	594	808	693	943	1231
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	586	698	949	814	1108	1447
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	545	649	883	757	1030	1346
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	538	641	872	747	1017	1329
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	484	575	783	671	914	1194
Polycarbonate	max. g PC	547	651	887	760	1034	1351
Polysulphone	max. g PSU	566	673	916	785	1069	1396
Polyamides	max. g PA 6.6 | PA 6 ¹⁾	517	616	838	719	978	1278
	max. g PA 6.10 | PA 11 ¹⁾	473	575	783	671	914	1194
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	643	765	1042	893	1215	1588
Polyethylene terephthalate	max. g PET	620	738	1005	861	1172	1531
Polyethylene	max. g PE-LD	393	468	637	546	744	971
	max. g PE-HD	406	483	658	564	768	1003
Polypropylene	max. g PP	415	494	672	576	784	1025
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	834	992	1350	1157	1575	2058
	max. g ETFE	731	870	1185	1015	1382	1805
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	629	749	1020	874	1190	1554
	max. g PVC-P ¹⁾	582	692	942	808	1099	1436

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG
 Arthur-Hehl-Strasse
 72290 Lossburg
 Tel.: +49 7446 33-0
 www.arburg.com
 contact@arburg.com