

Návrh konstrukčního řešení vstřikovací formy pro součást průmyslové zásuvky

Tomáš Hájek

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: Tomáš Hájek
Osobní číslo: T20289
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Návrh konstrukčního řešení vstřikovací formy pro součást průmyslové zásuvky

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši zabývající se danou problematikou.
2. Vyhotoďte model zadané vstřikované součásti.
3. Provedte konstrukční návrh vstřikovací formy pro danou součást.
4. Vytvořte výkres sestavy 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.

WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding simulation: theory and practice*. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4

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, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce formy pro vstříkovaný díl, kterým je součást průmyslové zásuvky.

Teoretická část se zabývá polymerními materiály, technologií vstříkování, vstříkovacími formami a vstříkovacími výrobky.

V praktické části je popsán model zadaného vstříkovaného dílu, volba vstříkovacího stroje a postup konstrukce vstříkovací formy a jejích jednotlivých součástí.

Klíčová slova: polymer, vstříkování, vstříkovací forma, vstříkovaný díl, konstrukce

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a mould for an injection moulded part, which is a part of an industrial socket.

The theoretical part deals with polymer materials, injection moulding technology, injection moulds and injection moulded products.

The practical part of bachelor's thesis describes the model of the specified injection moulded part, the choice of the injection moulding machine and the procedure for the construction of the mould and its individual components.

Keywords: polymer, injection moulding, injection mould, injection moulded part, construction

Poděkování

Tímto bych rád velice poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Vaňkovi za jeho cenné rady, podnětné připomínky, věnovaný čas a spolupráci, které si velmi vážím. Také děkuji své rodině, své přítelkyni a kolegům z oboru za pomoc a oporu při psaní této práce i v průběhu celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERŇÍ MATERIÁLY	11
1.1 TERMOPLASTY	12
1.2 REAKTOPLASTY.....	14
1.3 ELASTOMERY	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	15
2.2 PROCESNÍ OKNO	17
2.3 FONTÁNOVÝ TOK	18
2.4 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ.....	19
2.5 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	21
2.5.1 Vstřikovací jednotka	22
2.5.2 Uzavírací jednotka	23
2.5.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje.....	24
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	25
3.1 DĚLÍCÍ ROVINA FORMY	26
3.2 NÁSOBNOST FORMY	26
3.3 DUTINA FORMY	27
3.4 BOČNÍ POSUVNÉ ČELISTI	28
3.5 VTOKOVÉ SYSTÉMY	29
3.5.1 Studený vtokový systém	29
3.5.2 Vyhříváné vtokové systémy.....	30
3.6 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	33
3.6.1 Temperační média	34
3.7 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	35
3.7.1 Mechanické vyhazování.....	36
3.8 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	38
3.9 MATERIÁLY A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ ČÁSTÍ FOREM	38
3.9.1 Volba materiálu pro jednotlivé části formy	39
4 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY	40
4.1 DĚLÍCÍ ROVINA VÝROBKU	40
4.2 TLOUŠŤKA STĚN VÝROBKŮ.....	41
4.3 ZAOBLĚNÍ HRAN.....	42

4.4	ŽEBRA	42
4.5	ÚKOSY A PODKOSY.....	43
5	ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	45
6	STANOVANÉ CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	46
7	SPECIFIKACE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	47
7.1	MATERIÁL VÝROBKU	47
7.2	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ ÚSTÍ TRYSEK A SIMULACE TOKU TAVENINY	48
8	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	51
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	53
9.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	53
9.2	NÁSOBNOST FORMY	53
9.3	TVAROVÉ VLOŽKY	54
9.4	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ.....	55
9.5	VTKOVÝ SYSTÉM	56
9.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	57
9.7	STAVBA JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ FORMY	59
9.7.1	Pevná část formy	60
9.7.2	Pohyblivá část formy.....	61
9.7.3	Vyhazovací systém.....	61
9.7.4	Manipulace	62
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

ÚVOD

Již v roce 1872 byl patentován první vstřikovací stroj, který byl sestaven bratry Johnem a Isaiou Hyattovými. Jejich vynález měl, a stále má, obrovský dopad na svět jaký je dnes vnímán. Jedná se totiž o jeden z hlavních stavebních pilířů, na kterém je založen celosvětový plastikářský průmysl.

Technologie vstřikování dosáhla za svou dobu existence neuvěřitelného vývoje ve všech aspektech a dle přístupných dat stále nedosáhla svého konce. Také se jedná o nejrozšířenější zpracovatelskou technologii v plastikářském průmyslu. Pro představu byla v roce 2008 celosvětová spotřeba plastových materiálů zhruba 245 miliónů tun na což o 6 let později spotřeba stoupla na 311 miliónů tun. Z tohoto množství plastového materiálu bylo okolo 40 % zpracováno vstřikovací technologií. [5]

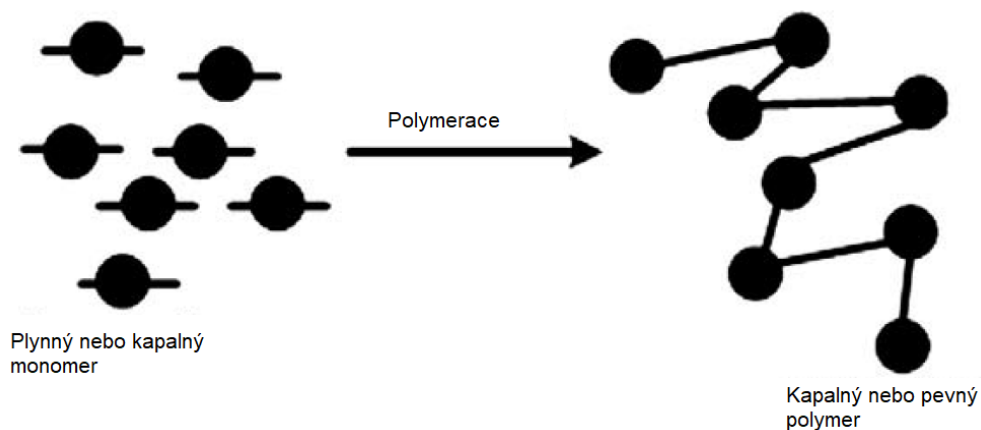
Plastové výrobky se tedy staly nedílnou součástí všedního života. Jejich využití sahá do všech odvětví průmyslu, přičemž je vhodné zmínit, že hlavním odběratelem lze označit automobilový průmysl. V tomto odvětví se díky mechanickým a fyzikálním materiálovým vlastnostem polymerů, dosáhlo vysoké úrovně bezpečnosti a ekonomičnosti výroby.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály jsou z velké většiny složeny z organických látek, které jsou získány přírodně nebo synteticky. Polymery jsou stejně, jako veškerá hmota ve vesmíru, tvořeny z prvků, které jsou tvořeny z malých částí, ty se nazývají atomy. Za normálních okolností se atomy mnoha prvků nevyskytují jednotlivě. Pro příklad atomy kyslíku ve vzduchu se vyskytují v párech, to ale neznamená, že se atomy jiného druhu nemohou připojit. Například tedy u kyslíku, který je vylučován z plic se skládá z dvojic atomů kyslíku připojených na jednom atomu uhlíku. Takovým kombinacím atomů se říká molekula. Síla, která umožňuje spojování atomů do molekul se nazývá chemická vazba a existuje celá řada různých typů vazeb. V mnoha případech je vazba mezi atomy extrémně silná a lze ji přerušit pouze silným chemickým působením nebo velkým přívodem energie, jako je tomu v případě, kdy je látka vystavena intenzivnímu teplu. Vazby existují také mezi molekulami, ale ty jsou obvykle podstatně slabší než chemické vazby mezi atomy uvnitř molekul. U pevných látek je však vazba dostatečně silná na to, aby zabránila jedné molekule vzdálit se od svých sousedů. Při zvyšování teploty však energie vstupující do materiálu tyto vazby oslabuje, až nakonec mohou jednotlivé molekuly svým sousedům do značné míry unikát a materiál se stává viskózní kapalinou. [2, 4, 19]

Molekuly, z nichž se skládají polymerní materiály, se rovněž skládají ze skupin atomů spojených velmi silnými chemickými vazbami. V případě plastů je však počet atomů obsažených v každé molekule extrémně vysoký, často dosahuje mnoha tisíc. Díky tomu jsou molekuly plastů, ve srovnání s ostatními látkami, velmi velké a nazývají se makromolekuly. Tyto velmi velké molekuly se skládají z menších jednotek, které se mnohokrát opakují. V některých plastech jsou tyto jednotky spojeny do řetízků, podobně jako korálky na náhrdelníku (*viz obr. 1*). Zatímco v jiných plastech se vytváří složitá trojrozměrná síť. Polymery jsou tedy makromolekuly vzniklé chemickým procesem zvaným „polymerace“, přičemž výchozí materiál je tvořen molekulami, které se nazývají „monomery“. Například u polyethylenu je monomer ethylen, který polymerizuje a vzniká tak výsledný polyethylen. Podobně monomer styren polymerizuje na polystyren. [2, 19]

Obr. 1 *Polymerace monomerů* [19]

Polymerní materiály lze rozdělit do dvou hlavních skupin a tj. [1]:

- **Plasty** – to jsou polymery, které lze za vhodných podmínek tvarovat a po následném zchladnutí kdy dojde k zafixování tvaru, získají vlastnosti tuhého tělesa,
- **elastomery** – tyto polymery se za vhodných podmínek mohou tvarovat a po následném zafixování získávají pružné (elastické) vlastnosti.

Plasty lze nadále rozdělit na další dvě skupiny [1]:

- **Termoplasty,**
- **reaktoplasty.**

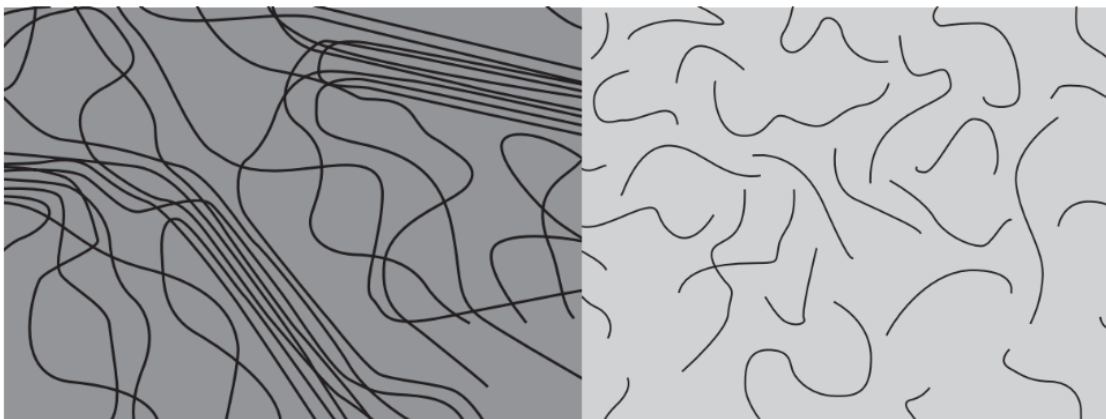
1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou látky tvořené makromolekulami, jejichž seskupením vznikají řetězce, které mohou být lineární nebo rozvětvené. Díky své široké škále využití se termoplasty řadí mezi nejběžnější materiál v plastikářském průmyslu. Činí až 90 % celkového objemu použitého materiálu v tomto odvětví, z čehož je okolo 40 % využito při technologii vstřikování. Většina termoplastů je vyrobena z ropy a při jejich zpracování dochází v materiálu pouze ke změnám fyzikálního charakteru. Termoplasty mají specifickou vlastnost, a tou je schopnost přestoupit z taveniny do tuhé fáze, aniž by došlo k výrazné nežádoucí změně chemického složení materiálu (neboli degradaci), poté, co byl polymer zplastikován (za předpokladu, že materiál nebyl kontaminován různými nečistotami). Již zatuhnutý termoplast lze tedy dále zpracovat opětovnou plastikací. Záleží na tom, kolikrát a

pod jakými podmínkami se termoplast zplastikoval a opět zafixoval do tuhé fáze. Pokud materiál prošel takovým procesem víckrát, tak může degradovat, tedy může ztrácet některé svoje vlastnosti. Za účelem předejít tomuto nežádoucímu jevu se při znovuzpracování přidává původní materiál. [3, 7]

Ve výsledku je spousta termoplastů opětovně plastikována a znovu použita (a označována jako „přebroušena“) s tím, že se tzv. přebroušený materiál se smíchá s původním materiálem. Tato směs pak může obsahovat méně jak 50 % přebroušeného materiálu. Existují však některé případy, kde jsou produkty vyrobeny ze 100 % přebroušeného materiálu. V těchto případech se na mechanické nebo pohledové vlastnosti neklade velký důraz. [3]

Když se termoplast převede do pevného skupenství, tak jeho molekulární struktura může nabrat jednu ze dvou podob a tj.: amorfni struktura a semikrystalická struktura (viz obr. 2). Když je semikrystalický materiál ochlazen, tak jeho molekulární struktura má tendenci se uspořádat a vytvořit tzv. krystaly. Velikost těchto krystalických oblastí je závislá na struktuře samotných řetězců a rychlosti ochlazování. Tyto materiály v případě zahřátí vykazují spíše chování taveniny na rozdíl od amorfni materiálů, které změknu. Semikrystalické materiály mají také tendenci se více smršťovat v důsledku tohoto molekulárního přeskupení. V případě technologie vstřikování u některých materiálů nastává smrštění až 20 % ve směru proudění, které je způsobeno samotným vstřikovacím procesem.[5]



a)

b)

Obr. 2 a) semikrystalická struktura, b) amorfni struktura [5]

1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty se vyrábí pomocí chemické reakce, během které ve zpracovávaném materiálu vytváří silně prostorově síťované struktury. Děje se tak působením síťovacího činidla, tepla anebo také za pomoci záření. V prostorově síťovaných strukturách jsou původní molekuly společně spojeny kovalentními vazbami. Proces jako je tento je znám pod pojmem „vytvrzování“. Díky vytvrzování je výsledný reaktoplast tuhý a křehký, z čehož plyne, že vstřikovaný díl se již nedá opětovně roztavit. Při opětovném tepelném zpracování u materiálu z reaktoplastu dochází k rozkladu, který je rychlejší než rychlost tavení. Reaktoplasty se tedy nedají znovu zpracovat stejným způsobem jako termoplasty. U vstřikovaných termoplastů se struktura jejich molekul nemění a plastikace pouze přidává jejich pohyblivosti. Oproti tomu, pokud dojde k zesíťování u reaktoplastu, tak jej již nelze dále zpracovávat. [5]

Reaktoplasty vykazují nadále vysokou chemickou a teplotní odolnost. Využívají se tedy především tam, kde je zapotřebí těchto vlastností, společně s vysokou pevností. Nicméně u výrobků z reaktoplastů lze dosáhnout široké škály požadovaných vlastností.[5]

1.3 Elastomery

Elastomer, je polymer, který dosahuje vysoké elasticity. Při pokojové teplotě lze jeho deformaci dosáhnout až na dvojnásobek původní délky a po uvolnění je materiál schopen se opět dostat na své původní rozměry. Elastomery jsou zpracovávány pomocí chemické síťovací reakce, která se nazývá „vulkanizace“. Vulkanizace slouží k přeměně kaučuku a dalších přísad na pryž, přičemž se daný proces pohybuje v teplotním rozmezí od 150 do 200 °C. Výsledná pryž se vyznačuje svou schopností vysoké elastické deformace. Po dlouhou dobu byly elastomery omezeny pouze na materiály s permanentním zesíťováním, jako je například polyisopren, který je syntetickou verzí přírodního kaučuku. Jednou z hlavních nevýhod těchto materiálů je, že je nelze recyklovat, což vedlo k vývoji termoplastických elastomerů neboli TPE. Jedním z nejběžnějších zástupců termoplastických elastomerů je SBS, tedy styren-butadien-styren. Jelikož se styren s butadienem nemohou smístit a styren se při zahřívání rozpadá, je možné opakované zpracování materiálu. [5, 6]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je jedním z nejrozšířenějších způsobů pro výrobu požadovaných plastových dílů. Jedná se o poměrně složitý fyzikální proces, pod který následně spadá zvolený polymerní materiál, vhodně zvolený vstřikovací stroj a forma. I přes složitost této technologie se její využití upřednostňuje před jinými procesy, vzhledem ke schopnosti ekonomicky a hromadně vyrábět složité díly s velice úzkými tolerancemi. [7,9]

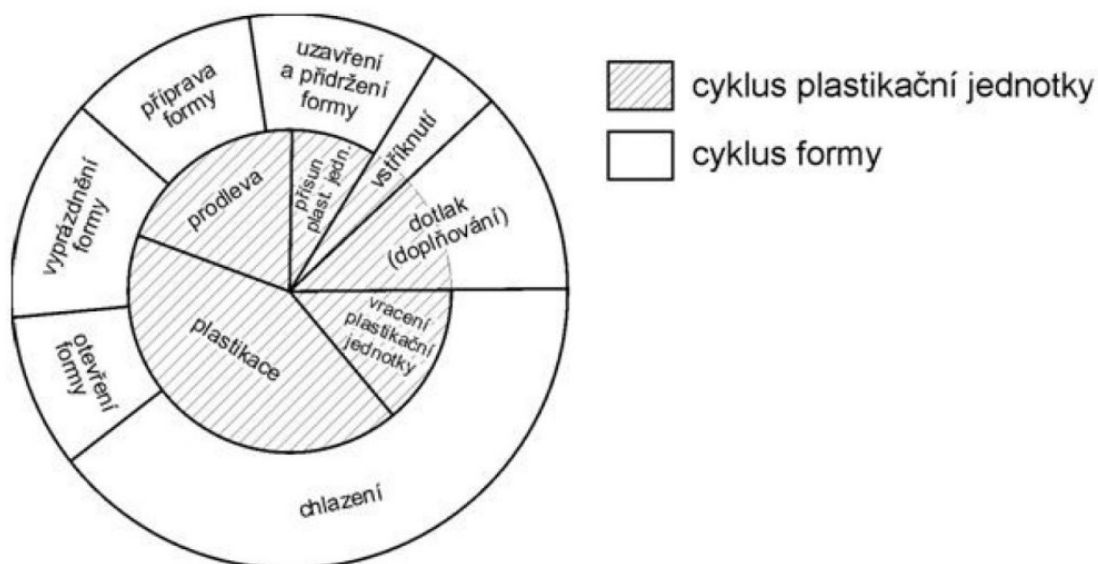
Během procesu vstřikování je zplastikovaný polymer dopravován pod tlakem do dutiny formy, kde se následně ochlazuje, a tak dojde k zafixování tvaru vyráběné součásti. Nesmí se při tom opomenout zvolit správný technologický postup, jelikož v tomto směru má každý materiál svá specifika. Volba správného typu použitého materiálu má silný vliv na konečnou aplikaci výrobku, a pokud není dodržen technologický postup, tak i správně zvolený materiál může být nesprávným technologickým postupem degradován a je tedy nutné tyto postupy znát a při aplikaci během výroby je respektovat. [7]

Dalším důležitým krokem u technologie vstřikování je návrh, výroba a údržba vstřikovací formy. Její konstrukce přímo určuje kvalitu vstřikovaného výrobku. Samotná vstřikovací forma je komplexní systém složený z mnoha součástí, které jsou během vstřikování vystaveny velkému počtu teplotních cyklů a různého mechanického namáhání. [9]

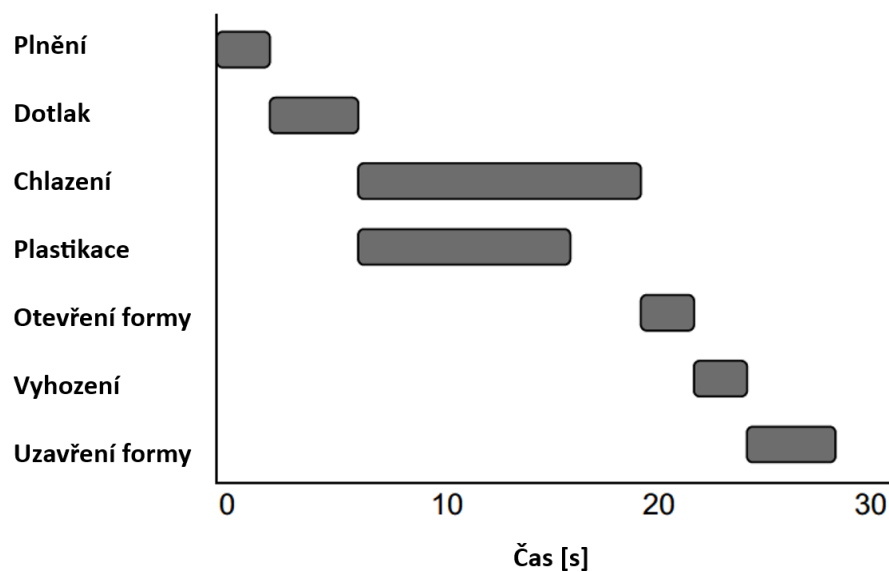
2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikování se nazývá „proces výroby čistého tvaru“, neboť zplastikovaný polymer je pod tlakem vtlačován do dutiny formy, ve které se vstřík ochladí a zafixuje se do požadovaných rozměrů. Vstřikovací procesy se mohou podstatně lišit vzhledem ke konstrukci vstřikovacího stroje a jeho provozu, ale většina obsahuje plastikační fázi, samotné vstřikování, chlazení a vyhození výrobku z formy. Takový proces se nazývá vstřikovací cyklus a může obsahovat nadále tzv. „dotlak“ (viz obr. 3,4). Během plastikačního stádia je polymerní tavenina plastikována z pevného granulátu nebo pelet za pomoci kombinace teplotního účinku, díky vyhřívání barelu, a ohřevem, způsobeným molekulární deformací způsobené rotací vnitřního šneku. Během fáze vstříknutí je polymerní tavenina vysokou rychlostí vytlačována z plastikační komory vstřikovacího stroje do formy. Polymerní tavenina nadále putuje skrze vtokovou soustavou, aby vyplnila jednu nebo více dutin formy. Záleží na požadovaném počtu vyráběných produktů. Poté, co je dutina formy

naplněna taveninou, tak může nastat fáze dotlaku. V této fázi vstřikovací jednotka dopravuje další materiál do dutiny během toho, když se již vstříknutá tavenina ochlazuje a smršťuje v dutině formy. Objemové smrštění se liší dle použitého polymeru. Většinou vstřikovací jednotka dopraví o 1 až 10 % polymerní taveniny více do dutiny formy během fáze dotlaku. Ta efektivně působí do okamžiku, než zamrzne vtokové ústí. Když se ukončí doprava polymerní taveniny, tak nastává fáze chládnutí, to však neznamená, že před touto fází k ochlazení nedochází. Polymerní tavenina chladne okamžitě po vstříknutí, při kontaktu s temperovanou dutinou formy. Během fáze chládnutí se pouze tavenině poskytuje dostatek času na to, aby ztuhla na vyhazovací teplotu. Po vyhození výrobku z formy se celý cyklus opakuje. [8]



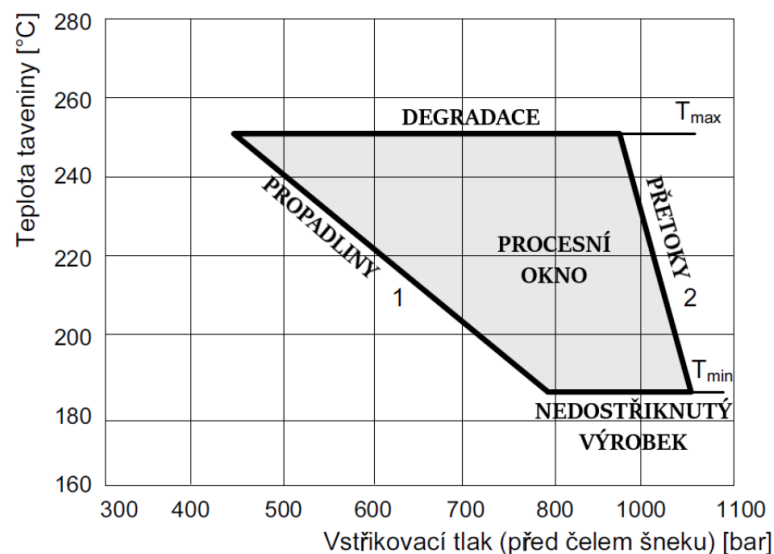
Obr. 3 Koláčové znázornění vstřikovacího cyklu [10]



Obr. 4 Vstřikovací cyklus v závislosti na čase [8]

2.2 Procesní okno

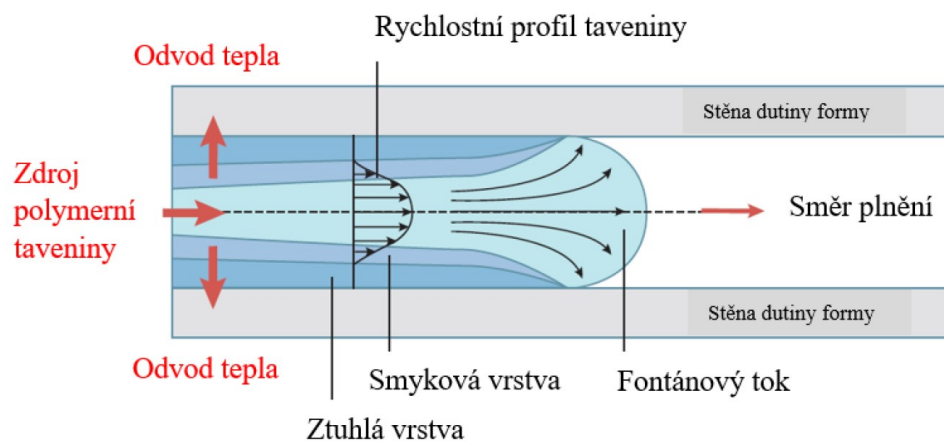
Procesní okno představuje oblast, která je ohraničená limitami (viz obr. 5). Tyto limity jsou závislé na teplotě polymerní taveniny a vstřikovacím tlaku. Pokud se použité parametry při vstřikování pohybují uvnitř oblasti procesního okna, tak se dosáhne zhotovení kvalitního výrobku. V případě překročení limit může dojít k nežádoucím vlivům, mezi které patří propadliny, degradace materiálu, přetoky a nedostříknutý výrobek. Procesní okno je pro každý materiál společně s výrobním procesem konkrétní a používá se k reprodukovatelnosti výroby jakostních výstřiků dle požadovaných parametrů. [15]



Obr. 5 Procesní okno [15]

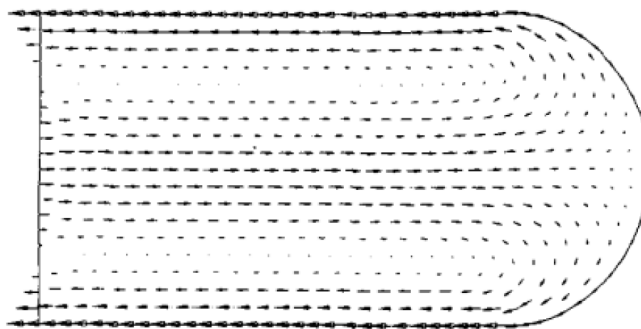
2.3 Fontánový tok

Během procesu vstřikování jsou polymerní taveniny namáhány jak smykovým, tak v menší míře i podélným napětím. K podélnému napětí dochází tehdy, když tavenina narazí na náhlou rozměrovou změnu, jak tomu může být v oblasti vtokového ústí. Ale je to smykové napětí, které převládá při plnění formy, vzhledem k efektu fontánového toku (viz obr. 6). Počáteční materiál, který do formy vstoupí jako první je pod velmi nízkým tlakem. Jak dále pokračuje dutinou, tak se postupně ochlazuje, což zhoršuje jeho tokové vlastnosti. Materiál, který za ním následuje má mnohem větší teplotu a vyvíjí tak tlak na materiál, který se před ním nachází. Jak se forma postupně plní, tak se na stěně dutiny vytváří plášť pevného plastu, který zmenšuje mezeru pro procházející taveninu a zvyšuje tak intenzitu smykového napětí. Není vždy možné se tomuto jevu vyhnout, ale lze jej zmírnit pomocí optimální teploty vstřikovací formy. [5, 12]



Obr. 6 Fontánový tok [12]

Na obr. 7 je znázorněno pole vektorů rychlosti uvnitř fontánového toku. Z obrázku je patrné, že částice taveniny ve středové oblasti proudu se přibližují k čelu proudění, následně zpomalují a přelévají se do zpětného proudu, který se smýká po stěně kanálu. [11]



Obr. 7 Znáornění pole vektorů rychlosti fontánového toku [11]

2.4 Vady vstřikovaných dílů

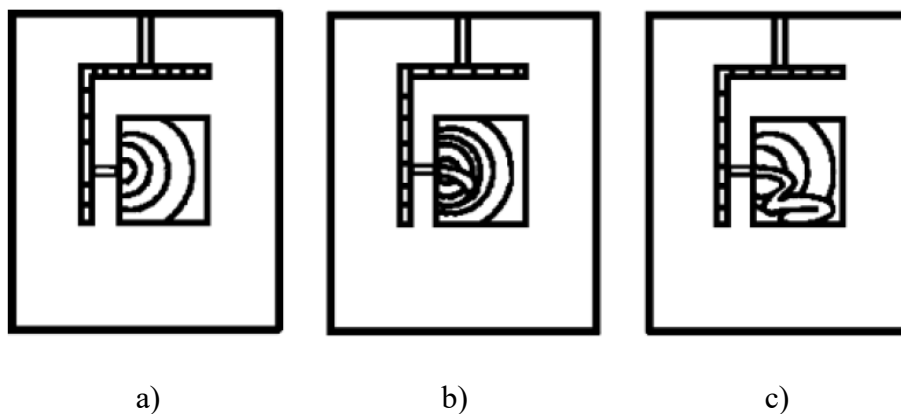
S přibývajícím zkušenostmi s prací ve vstřikovacím provozu je čím dál víc důležitější porozumět typům problémů, které mohou při vstřikování nastat. Vadný díl zahrnuje nežádoucí náklady na práci, materiál a energii. Přestože lze vadný díl zachytit, znovu zpracovat a následně recyklovaný materiál použít, tak se stále přičítají náklady na potřebné drcení. Tyto náklady již nelze získat zpět. [3]

V případě procesních problémů je lze odhalit například prohlídkou dílů, nebo pozorováním samotného pracovního výkonu vstřikovacího stroje. V obou případech je však důležité pochopit povahu problému, jeho možné příčiny a vzhledem k uvažovaným příčinám adekvátně zakročit. Jedny z nejčastěji se vyskytujících typů problémů jsou např. spálený materiál, tokové čáry, jetting (tryskový tok), bubliny, dutiny a propadliny. Spálený materiál se projevuje částečnou změnou barvy nebo černými stopami na dílech. K tomuto nežádoucímu vlivu dochází při tzv. „Dieselově efektu“, který se objevuje v důsledku stlačení vzduchu v dutinách, což má za následek vytvoření velkého množství tepla, které následně spálí uhlík, vodík a kyslík, jež vstřikovaný polymer obsahuje. [3]

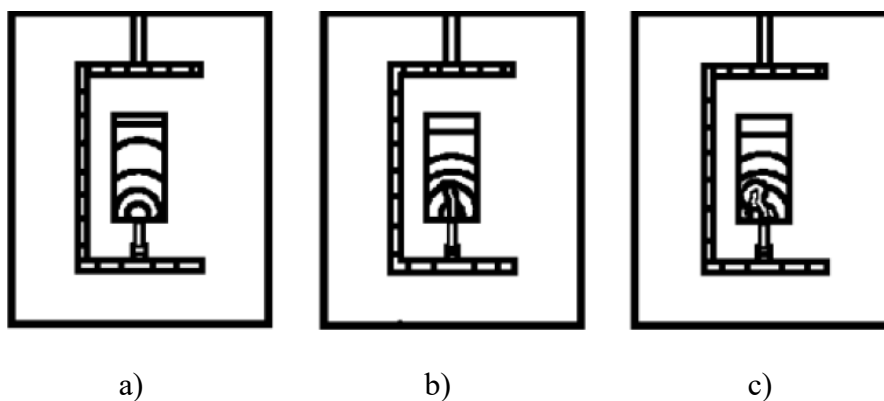
Tokové čáry mohou mít tvar písmene J nebo U, a jsou častější u polymerů jako jsou polykarbonáty, polyestery a akryláty. Tokové čáry mohou vznikat díky vadě na povrchu dutiny formy a nadále nesprávnou teplotou polymerní taveniny. [3]

U plnění dutin formy mohou nastat dva režimy toku a tj.: pravidelné plnění a jetting (viz obr. 8). K jettingu dochází za izotermických podmínek při nízkých vstřikovacích rychlostech, zatímco k pravidelnému plnění formy dochází při vysokých vstřikovacích rychlostech. Průběh pravidelného plnění je také způsoben kontaktem vytlačeného materiálu

se stěnou formy. Jetting, neboli tryskový tok, způsobuje nepravidelnosti ve vzoru výplně a vlastnostech výrobku. Je možno jej odhalit i při optické kontrole, kdy lze na stěně zhotoveného dílu spatřit klikaté stopy nebo spirálovité zakroucení. Tato vada je tedy spíše pojmenována podle příčiny, nežli podle výsledného stavu nebo vzhledu výstřiku. [3, 11]



Horizontální vstřikování



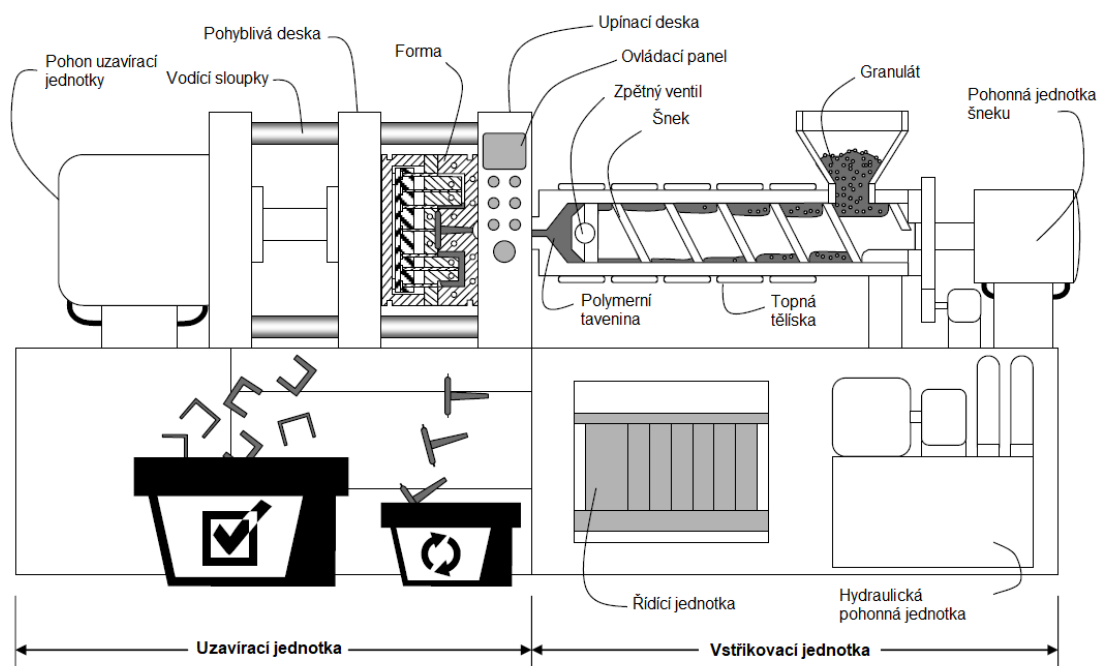
Vertikální vstřikování

Obr. 8 a) pravidelné plnění formy, b) přechodové plnění formy, c) jetting (tryskání) [11]

Bubliny jsou obvykle výsledkem zachycení vzduchu uvnitř vstřikovaného materiálu. Dutiny mohou připomínat bubliny, ale ve skutečnosti se může jednat o nepřítomnost vzduchu uvnitř dutiny. Propadliny jsou obvykle způsobeny nesprávným provedením dutiny formy nebo geometrie dílu. Propadliny se jeví jako prohlubně na povrchu hotového dílu, které jsou spojené s oblastmi kde jsou náhlé změny tloušťky stěny, jako jsou například žebra. Stopy po propadlinách se obvykle objevují na naproti straně s větší tloušťkou stěny. [3]

2.5 Vstřikovací stroje

Od vstřikovacího stroje se vyžaduje dokonalé řízení jeho parametrů k zajištění výroby požadovaných jakostí výstřiků. S dobou přibývá množství konfigurací vstřikovacích strojů, které se mohou lišit v provedení konstrukce, řízení, reprodukovatelnosti parametrů a úrovně složitosti obsluhy. I přes zmíněné aspekty musí vstřikovací stroje obsahovat základní části, kterými jsou uzavírací jednotka, vstřikovací jednotka a ovládací panel (viz obr. 9). [7, 8, 13] Stroje mohou být poháněny hydraulicky nebo hydraulicko-mechanicky s tím, že jejich konstrukce je stavebnicově uspořádána. Modulární řešení je též přeneseno na vstřikovací a uzavírací jednotku. Aby se dosáhlo neoptimálnější konfigurace vstřikovacího stroje se většinou předešle zmíněné způsoby kombinují, což má přímý vliv na výrobu z ekonomického hlediska. [7]



Obr. 9 Schéma vstřikovacího stroje [8]

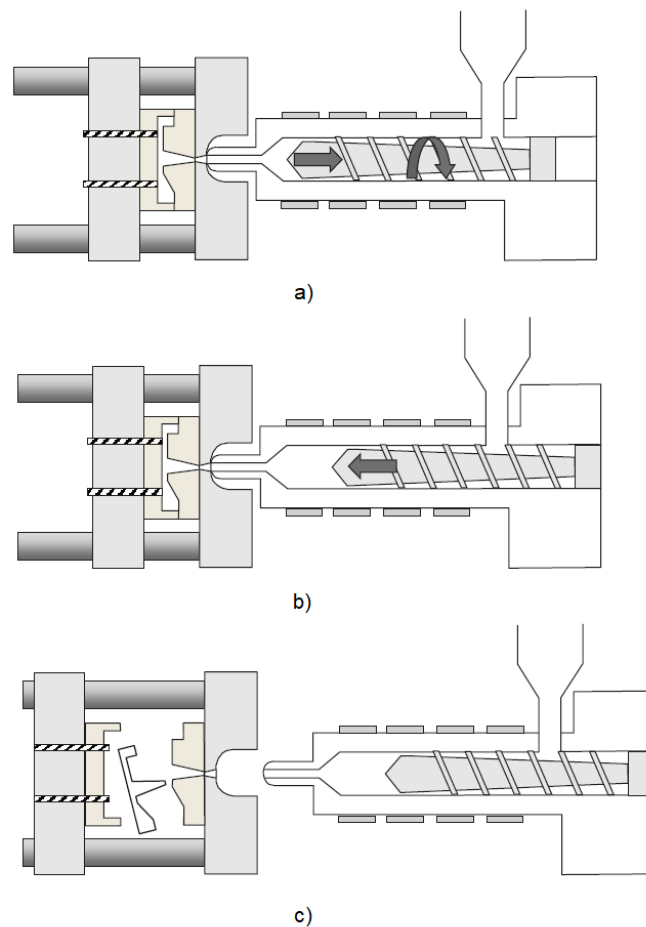
Vstřikovací stroj by měl být konstruován především tak, aby při vstřikování nedocházelo k nežádoucím vlivům, jako jsou vibrace a otřesy. Těmto vlivům se lze vyvarovat díky pevné a tuhé stavbě stroje. Nadále se musí dosáhnout konstantních technologických parametrů, přičemž se požaduje jejich reprodukovatelnost pro další výrobu. [7, 13]

Ovládací prvky mohou být umístěny přímo na stroji, ale i mimo něj, přičemž řízení může být obohaceno i o přídatná zařízení, jako jsou například ovladače k temperačním systémům. [7]

2.5.1 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka slouží k dopravě a přípravě stanoveného množství polymeru o určitých technologických parametrech jenž se vstříkne skrze trysku do formy. Vstříkovací jednotka má vždy stanovenou maximální dávku vstříkovaného materiálu, kterou je schopna dopravit do dutiny formy, během jednoho cyklu. Je však doporučeno počítat s menším množstvím polymeru. Uvádí se, že optimální množství se pohybuje okolo 80 % a nemělo by se překročit nad 90 % maximální kapacity jednotky. Na druhou stranu, při malém množství vstříkovaného materiálu, nastává moment, kdy polymer setrvává ve vstříkovací jednotce delší dobu, což má za následek degradaci materiálu. [7, 13, 14]

Cyklus vstříkovací jednotky začíná u násypky, která je naplněna plastovým granulátem či peletami. Následně je plast pomocí šneku dopravován do plastikační komory, kde přestupuje ze vstupního pásma do přechodného a pak do výstupního pásma. V přechodném a výstupním pásmu plast prochází plastikací, homogenizací (*viz obr. 10 a*), přičemž je pracovní komora vyhřívána topnými pásy, ale značná část tepelné energie se produkuje disipací. Před šnekem se postupně hromadí materiál, přičemž se šnek při otáčení zároveň posouvá zpět, aby vytvořil prostor pro připravenou taveninu. Při fázi plnění je již zplastikovaný polymer vstříkován do dutiny formy působením dopředného posuvu šneku se stanovenou rychlostí, která se během plnění může měnit, neboť fáze plnění je rozdělena do určitého počtu kroků v závislosti na vstříkovacím stroji (*viz obr. 10 b*). Jakmile je dutina naplněna, tak je na materiál vyvíjen tlak, dokud nedojde k zatuhnutí materiálu ve vtokovém ústí. To do značné míry kompenzuje kolísání měrného objemu materiálu během chlazení. V poslední fázi se materiál ve formě chladí a fixuje svůj tvar, zatímco ve válci se připravuje další dávka taveniny. Díl se zafixovaným tvarem je nakonec z formy vyhozen a následně je dochlazován na volném vzduchu. Celý cyklus je vyobrazen na obr. 10. [7, 13]



Obr. 10 Cyklus vstřikovací jednotky a formy
 a) plastikace, b) plnění, c) vyhození dílu [13]

2.5.2 Uzavírací jednotka

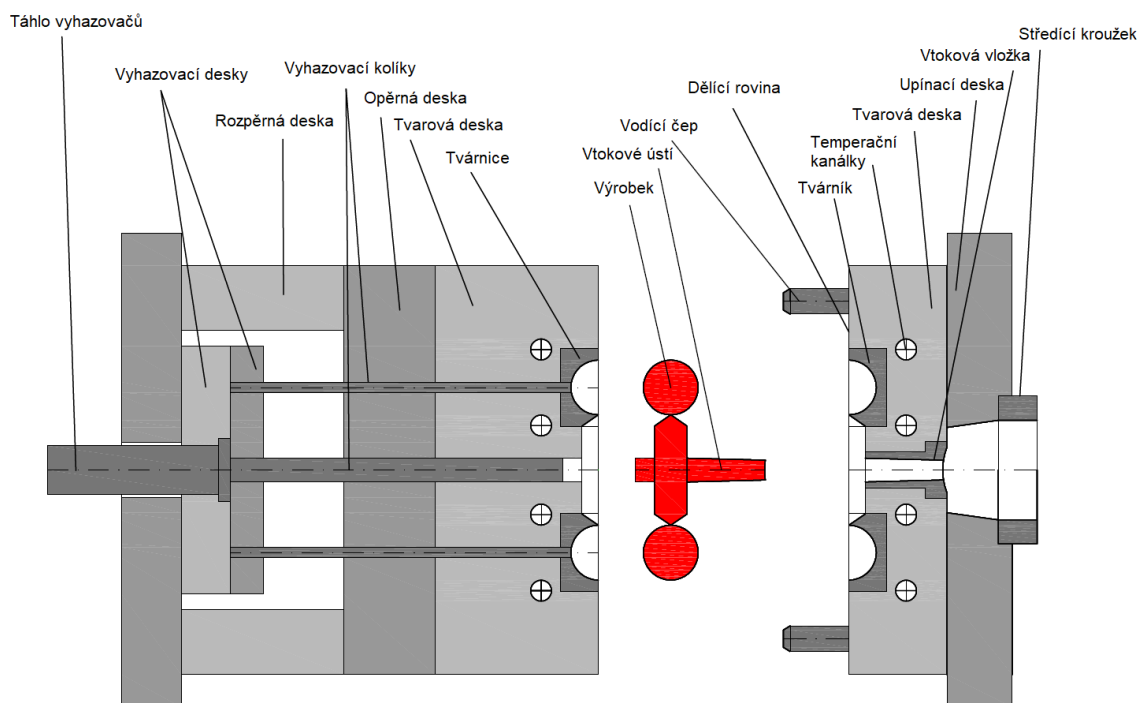
Uzávřací jednotka slouží k otevření formy a zdvihu vyhazovacího systému. Hlavní části uzavírací jednotky jsou opěrná pohyblivá deska, upínací deska, vodící sloupky a uzavírací mechanismus. Ty jsou vyobrazeny na obr. 9. Uzavírací mechanismus může mít různá provedení. Nejvyužívanější uzavírací mechanismy jsou hydraulické a hydraulicko-mechanické. Předností hydraulického uzavíracího systému je nastavitelné řízení délky otevření. U hydraulicko-mechanických jednotek je doporučeno využití tam, kde se vstřikují výrobky o menším objemu. Předností u tohoto typu jednotky je zaručená rychlost uzavírání. Konstrukce obsahuje kloubový mechanismus ovládaný hydraulickým válcem, který formu pojistí proti pootevření během vstřikování. [7]

2.5.3 Ovládání a řízení vstříkovacího stroje

Co je nutně požadováno po vstříkovacím stroji je stálá reprodukovatelnost technologických parametrů. I nepatrné vychýlení od nastavených parametrů se může projevit na celkové kvalitě a přesnosti vstříkovaného výrobku. Řízení stroje by tedy mělo být zajištěno řídicími a regulačními prvky. Většina strojů v dnešní době již obsahuje řídicí jednotku s displejem, který má selektivní přístup k jednotlivým parametrům stroje. To ulehčuje práci obsluze, která je seznámena a schopna pracovat s programovou sekvencí pro ovládání pracovního cyklu. [7]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

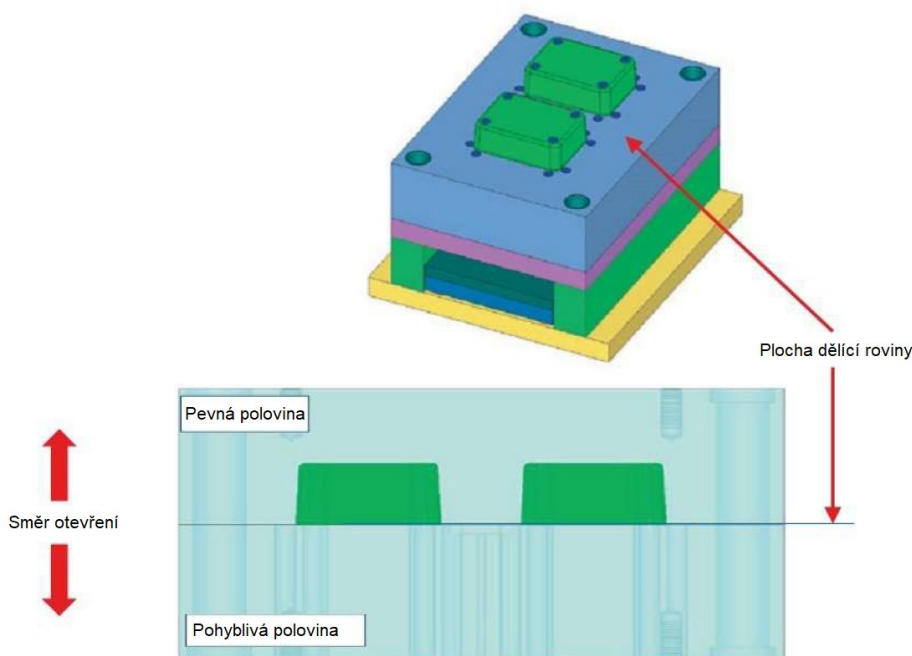
Vstřikovací forma se z počátku může jevit jako vysoká investice, neboť cena některých forem je vyšší než cena samotných vstřikovacích strojů. Z dlouhodobého hlediska však forma představuje jen velmi malý zlomek nákladů, které spadají na jeden díl. Při konstrukci vstřikovací formy je důležité dobré plánování, které zahrnuje komunikaci mezi konstruktérem výrobku, nástrojařem, procesním inženýrem, konstruktérem formy, výrobcem formy, dodavatelem vstřikovaného materiálu a technické informace potřebné ke správnému návrhu a výrobě formy. U procesu vstřikování se samozřejmě předpokládá použití formy, která je přizpůsobena pro konkrétní vstřikovaný materiál. Co se formy týče, dá se zjednodušeně říct, že se jedná o soubor ocelových desek s rozsáhlou skupinou dalších komponent (*viz obr. 11*), které jsou po správném sestavení a instalaci do vstřikovacího stroje schopny vyrobít požadované výrobky z daného polymerního materiálu. Většina forem je vyrobena z vysoce kvalitní nástrojové oceli, navržena a zkonstruována kvalifikovanými výrobci podle přísných norem, aby byly odolné vůči vysokým vstřikovacím tlakům a zvýšeným teplotám procesu spolu s rychlými pracovními cykly, které ze vstřikování činí ekonomicky efektivní výrobní proces. [16]



Obr. 11 Schéma vstřikovací formy s jednou dělicí rovinou [17]

3.1 Dělicí rovina formy

Jedná se o povrch tvarových desek, které se navzájem dotýkají a vytváří tak kontakt na obvodu formy mezi pohyblivou stranou a pevnou, neboli upnutou stranou formy. Tento kontakt se nazývá dělicí plocha nebo také dělicí rovina. Pokud je vstřikovací forma otevřená, lze vidět obě plochy dělicí roviny. Tyto dvě plochy pomyslně oddělují pohyblivou od pevné strany formy. Nejjednodušší plocha nebo tvar dělicí roviny na vstřikovací formě je rovný, to znamená, že nemá žádné výkyvy ve výšce a je přesně v pravém úhlu ke směru doformování. Dělicí rovina lze vidět na obr. 11 anebo na obr. 12, kde je vyobrazena i s 3D zobrazením pohyblivé strany formy. [18]



Obr. 12 Znáznornění dělicí roviny [18]

3.2 Násobnost formy

Forma je často nazývána podle počtu jejích dutin, tedy jednonásobná, dvounásobná, čtyřnásobná a i vícenásobná. Například u čtyřnásobné formy jsou čtyři identické dutiny. Nadále zde může být forma jedna + jedna, což značí, že se ve formě nachází dvě dutiny s rozdílnými rozměry, to znamená že dva rozdílné výrobky ze stejného materiálu jsou vyhotoveny za jeden cyklus. Násobnost formy je jedním z nejzásadnějších faktorů ekonomicky výhodné výroby. Tedy pokud je požadováno, aby forma byla schopna vyrobit větší počet dílů, tak je většinou optimálním řešením navýšení počtu dutin. Například u forem

s masivní produkcí jako je forma pro víčka na plastové lahve se násobnost formy může pohybovat okolo sta dutin formy. [18, 19]

Pokud je konstruována forma více jak dvounásobná, tak platí následující pravidlo. Polymerní tavenina musí do všech dutin formy urazit stejnou vzdálenost, tedy vtokový systém musí být náležitě rozvětvený. Kdyby tomu tak nebylo, při plnění formy může nastat, že jedna dutina formy již bude vyplněna a ostatní ne, což je vysoce nežádoucí. [18]

3.3 Dutina formy

Dutina formy je negativem finálního vstřikovaného dílu a přímo se od ní odvíjí jeho kvalita. Výroba kvalitních dílů vyžaduje převedení funkčního požadavku aplikace výrobku do konstrukce formy. Geometrické konfigurace návrhu výrobku by měly vyhovovat nejen funkčně, ale musí také splňovat podmínky požadované konstrukcí formy, aby bylo možné vyrábět kvalitní díly a zaručit efektivní provoz vstřikování. Při navrhování vstřikovaných dílů si musí konstruktér výrobku být vědom také některých konfigurací dílů, které představují potenciální problémy během procesu vstřikování. Mezi požadavky na konstrukci dílu patří rovnoměrná tloušťka stěny, vhodné umístění dělicí roviny, hladké vnitřní rohy, zkosení stěn pro snadnější vyjmutí dílu z dutiny, určení optimálního místa pro vtokové ústí a rozměrové tolerance plastových dílů. [16, 19]

Rovnoměrná tloušťka stěny je konstrukčně nejpříjemnější. Výrobky, u nichž dochází k náhlým změnám tloušťky stěn, způsobují velké problémy s konstrukcí formy, především při návrhu vhodného umístění temperačních kanálků. Po vstříknutí polymerní taveniny změny v tloušťkách stěn dílů neumožňují, aby stěny chladly stejnou rychlostí. Pokud je stěna příliš silná, tak dochází k vysoké úrovni smrštění, tedy dochází ke značné deformaci dílu a obtížné kontrole rozměrů, dlouhým časům cyklů, špatné povrchové úpravě a strukturálním vadám. [16]

Dalším důležitým faktorem jsou hladké vnitřní rohy. Ostré rohy vytvářejí vysokou koncentraci napětí na plastovém dílu a jsou také koncentrátoři napětí v dutině formy. Pokud je ostrý roh nevyhnutelný, tak je výhodné tyto oblasti v dutině formy navrhnout s vyjímatelnými vložkami, aby se usnadnila jejich oprava. [16]

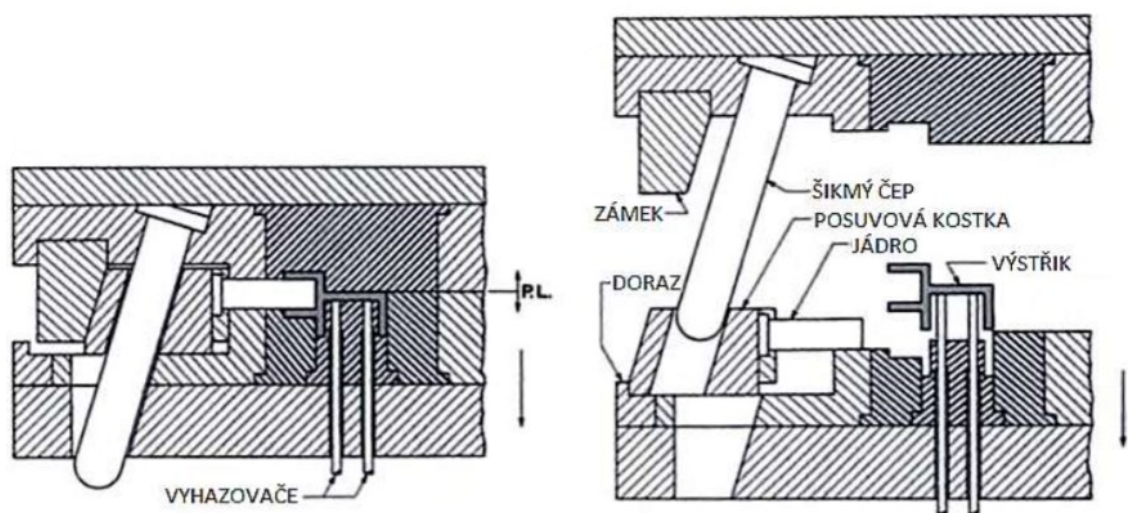
Nadále by všechny plastové díly pro vstřikování měly být konstruovány se zkosenými stěnami. Minimální kladné zkosení je vyžadováno na všech stěnách ve směru otevírání

formy nebo vytahování jádra. Bez zkosení se plastové výstřiky přichytávají k povrchu dutiny formy, což způsobuje stopy po přetahování a vady povrchu. V mnoha případech nedojde k úplnému vysunutí dílu, takže se na něm forma může uzavřít a způsobit tak komplexní poškození. [16]

3.4 Boční posuvné čelisti

V případě, kdy vstříkovaný díl obsahuje zapuštění, výstupky nebo díry a otvory, které leží kolmo k otevírací ose formy a nelze je zhotovit pomocí tvárníku či tvárnice vzhledem k jejich umístění, tak se využívá pohyblivých bočních čelistí. Tyto čelisti mohou ukotvit jádra, nebo přímo formují tvarové části vstříkovaného dílu, přičemž mohou tvořit vedlejší dělicí roviny. K ovládání čelistí se používají mechanické, pneumatické nebo hydraulické mechanismy. [5, 21]

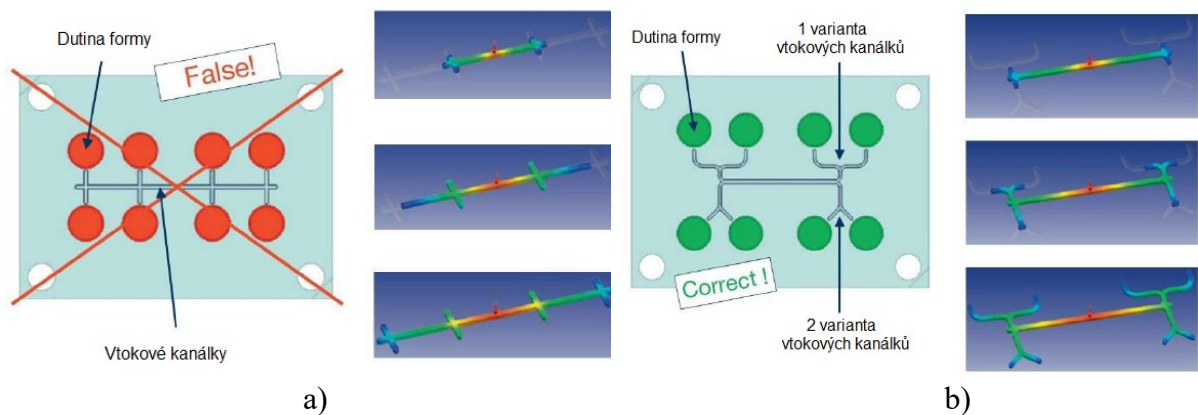
V případě mechanického provedení pohyb způsobují šikmé nebo lomené kolíky, po kterých se jádro posouvá během otevírání dané části formy. V dalších případech pohyb způsobují pneumatické nebo hydraulické tahače. V uzavřené poloze formy se musí čelisti pevně uzamknout, to se děje pomocí zámků, o které je čelist opřena svou zkosenou částí. Po otevření formy se čelist zajistí například pomocí pružiny s kalenou kuličkou. Je třeba brát v úvahu, že čím vyšší počet pohyblivých čelistí se ve formě nachází, tím roste počet dělicích rovin, a tak i rozměrů nevázaných formou. Narůstají tak i náklady a složitost formy, vzhledem k tolerancím a lícování vstříkovaného dílu. [21]



Obr. 13 Boční odformování vstříkovaného dílu pomocí šikmého kolíku [24]

3.5 Vtokové systémy

Existuje široké spektrum možností, jak vstříknout polymerní taveninu do dutiny formy, ale jsou zde jedno stěžejní pravidlo dosažení požadované kvality vstříkovaného výrobku. Nezáleží, zdali se jedná o jedno, dvou nebo vícenásobnou vstříkovací formu. Všechny dutiny formy by měli být plněny současně a rovnoměrně pro obdobné zachování kvality jednotlivých výrobků. Přičemž každá dutina formy musí být optimálně zaplněna, nehledě na to, kde se dutina ve formě nachází. Jsou používány dva typy vtoků a tím jsou studené vtokové systémy a horké neboli vyhřívané vtokové systémy. Dále se používá například kombinace dvou zmíněných systémů, jako je například horká tryska se studenými vtokovými kanálky. [18]



Obr. 14 Provedení studeného vtokového systému se simulací toku taveniny

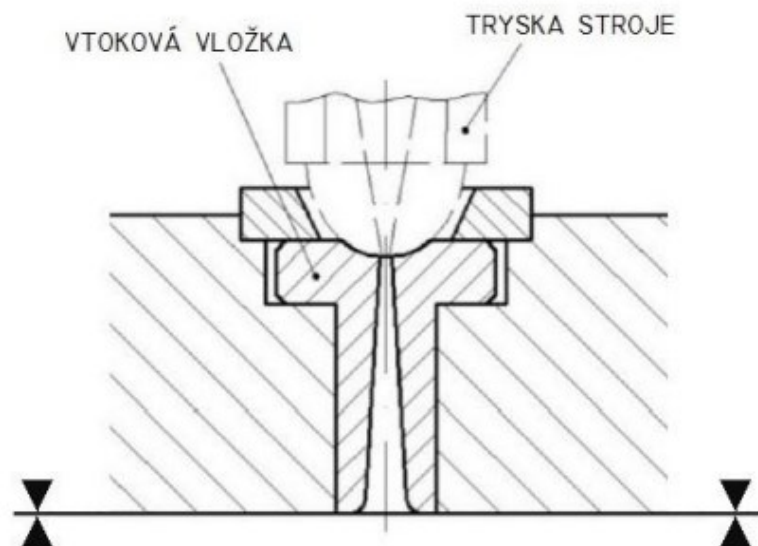
a) nevhodné provedení, b) správné provedení [18]

3.5.1 Studený vtokový systém

U konstrukce studeného vtokového systému je kritické, aby dutiny formy byly vyplněny rovnoměrně, jak bylo zmíněno předešle. Tedy je důležitá stejná vzdálenost všech dutin od centrálního vstříkovacího bodu, aby bylo zajištěno rovnoměrné plnění. Na obr. 14 je vyobrazen způsob konstrukce studeného vtokového systému i s názorným provedením, které je nepřijatelné. Pokud jsou průřezy vtokových kanálků nebo rozváděcích ramen příliš malé, musí se k plnění vstříkovaných dílů použít vysoké vstříkovací tlaky. Vysoké plnicí tlaky vedou ke vzniku pnutí a trhlin ve vstříkovaných dílech. Pokud jsou tlaky příliš vysoké, dochází k vnitřnímu přetlakování formy. Vstříkovací stroj již nemá rezervu v uzavírací síle a v důsledku toho se může vstříkovaný díl přeplnit nadměrným množstvím taveniny, což by vedlo k tvorbě přetoků. Pro stanovení průřezu rozváděcích kanálků v závislosti na hmotnosti

vstříkovaného dílu se z praxe určí referenční hodnoty. Průměr rozváděcích kanálů by měl být vždy alespoň tak velký, jako je největší rozsah tloušťky stěny ve výrobku. [17, 18]

Aby se polymerní tavenina dostala do vtokových kanálků je u studeného vtokového systému zapotřebí vtokové vložky, která slouží jako hlavní spojení mezi vstříkovací jednotkou a formou (viz obr. 15). Jednotlivá provedení vtokových vložek se mění především v její délce, poloměru a zúžení kanálku. Většinou je požadováno, aby byla vtoková vložka pojištěna proti pootočení kolem její osy. Zabraňuje se tomu pomocí kolíku, nebo zkosenou hranou. Jedná se o normalizovanou součást, kterou dle potřebných rozměrů lze najít v katalogu výrobce. [18]



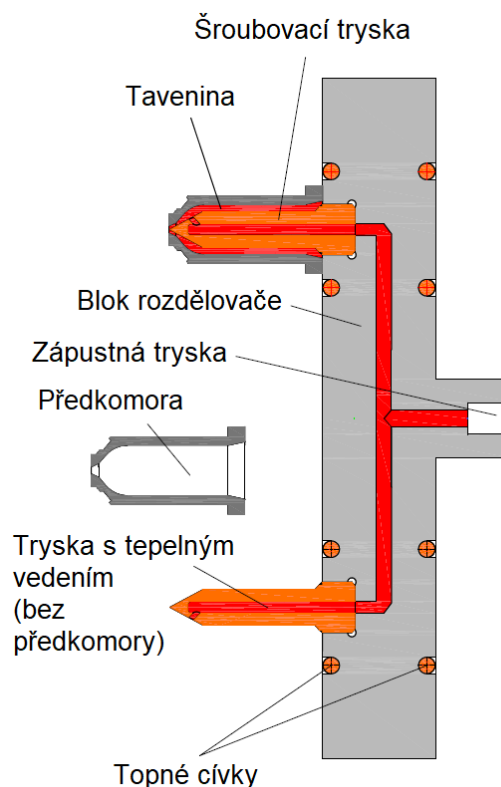
Obr. 15 Schéma vtokové vložky při dosednutí vstříkovací trysky [7]

3.5.2 Vyhřívání vtokových systémů

Vyhřívání vtokového systému je nutné zvážit v případě, kdy je požadována, efektivita cyklu a efektivní využití vstříkovaného materiálu. V systému s vyhříváním je vtokový systém uzavřen ve vyhříváném obvodu, takže plast zůstává během procesu vstříkovaní ve formě taveniny. Vzhledem k tomu, že při vstříkovaní s vyhříváním vtokovým systémem nedochází k ochlazování roztaveného materiálu, tak není třeba dbát na úroveň plastikace materiálu, která je potřebná při plnění vtokových kanálků. Nadále se čas vstříkovacího cyklu zkrátí o dobu potřebnou pro zchladnutí vtokového systému, aby se forma mohla otevřít, jako tomu je např. u třídeskového mechanismu. Vzhledem k těmto důvodům je běžné, že formy s vyhříváními vtokovými soustavami pracují s minimálně o 20 % kratším časem, který

obsahuje jeden cyklus a o 20 % menší šanci na zhotovení zmetků oproti vstřikovací formě se studeným vtokovým systémem. Na druhou stranu, horký vtokový systém značí vyšší počáteční investici a ačkoli se může zdát, že ve formě energetických nákladů jsou náročnější, tak je třeba uvažovat související přínos v podobě efektivnějšího využití materiálu a produktivity, které zajišťují snížení nákladů na energii. [8, 17, 18]

V porovnání s konstrukcí studených systémů mohou být průměry kanálků a trysek v horkém systému poměrně rozměrné. Velké průměry kanálků zajišťují velmi nízký odpor proudění a vynikající přenos vstřikovacího tlaku do dutin formy. Takové provedení je možné díky absenci vtokového ústí, neboť u horkého systému je veškerý materiál vytlačen do dutin formy. V případě studených systémů vtokové ústí zafixuje svůj tvar a je následně vyhozeno jako odpad nebo recyklát. Na druhou stranu, příliš velké průměry mohou umožnit degradaci materiálu. Na obr. 16 je vyobrazen řez vyhřívaného vtokového systému. [8, 17]

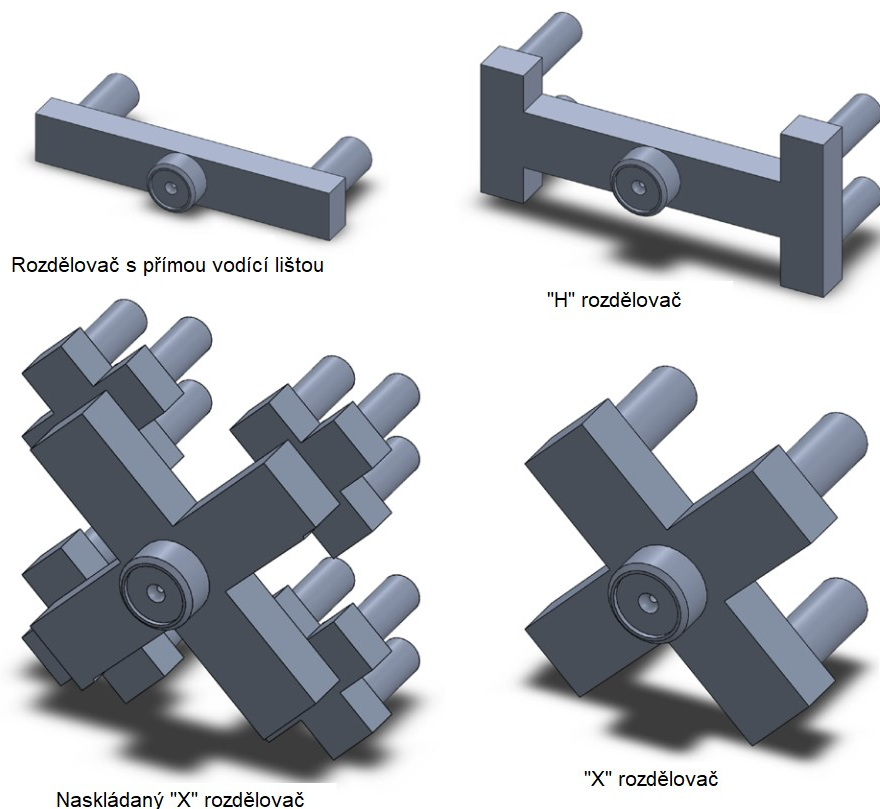


Obr. 16 Princip vyhřívaného (horkého) vtokového systému [17]

Za účelem minimalizace přenosu tepla z vyhřívaného rozdělovače a trysek na chladnější ocel formy je mezi formou a horkým vtokovým systémem, kromě upnutí, vzduchová mezera. V částech, kde je rozdělovač upnutý k formě, jsou použity přítlačné vložky, většinou

opracované z titanu, které nadále mají funkci pohlcení sil, které by mohly zapříčinit vychýlení horkého vtokového systému, způsobené tlakem taveniny na čela dutiny formy během vstřikování. [8]

Existuje mnoho různých konfigurací vyhřívaných vtokových systémů, včetně trysek, které mohou být opatřeny závitem nebo připevněny k samotným kanálkům. Běžné jsou také konfigurace rozdělovačů, kupříkladu rozdělovač s přímou vodící lištou (viz obr. 17), který patří k nejjednodušším. Mezi další běžně využívaná provedení patří rozdělovač „H“ a „X“. Rozdělovač H poskytuje více větví pro přívod polymerní taveniny prostřednictvím primárních, sekundárních a terciálních kanálů umístěných na ose rozdělovače. Rozdělovač X používá přímější konstrukci, v níž všechny primární kanály vycházejí přímo ze středu rozdělovače u pouzdra horkého vtoku. Tato konstrukce obvykle zajišťuje efektivnější využití materiálu. Pokud je požadováno více trysek, tak je možné naskládat více rozdělovačů na sebe, jak je znázorněno i s ostatními provedeními na obr. 17. [8, 17]



Obr. 17 Běžné konfigurace vyhřívaného vtokového ústí [8]

3.6 Temperační systém

Temperační systém slouží k regulaci teploty ve formě během vstřikovacího procesu. Část tepla, které se během plastikační a vstřikovací fáze uvolňuje z dodaného materiálu, musí být z formy odvedena dříve, než dojde k vyhození vstřikovaného dílu. Je však nejen zbytečné, ale také neekonomické pokračovat v chlazení nástroje, dokud díl nedosáhne teploty okolí, protože mnoho materiálů lze bezpečně vyhazovat již při 50 °C nebo případně i vyšších teplotách. Fáze chlazení zastupuje širokou část vstřikovacího cyklu (*viz obr. 3*) a může představovat až 80 % celkového času, což z ní často činí nákladově drahou složku vstřikovacího procesu. Je tedy zřejmé, že je žádoucí minimalizovat dobu trvání chladicí fáze, a proto je nezbytné věnovat dostatečnou pozornost konstrukci a účinnosti všech chladících okruhů. Požadavkem je tedy co nejrychlejší ochlazení vstřiku, přičemž se musí zachovat fyzikální vlastnosti materiálu a požadované kvality hotového dílu. Při vstříknutí polymerní taveniny se musí nechat díl ztuhnout uvnitř dutiny formy, než je možné přejít k vyhození. Vzhledem k tomu, že rozdíl mezi teplotou vstříknuté polymerní taveniny a vyhazovací teplotou může být o 200 až 300 °C nižší, musí být z formy zmiňované teplo odebráno, a to co nejrychleji. Nástroj je v podstatě vysoce namáhaný výměník tepla a fáze chlazení vstřikovacího cyklu je stěžejní. Celkovým cílem je co nejrychlejší ochlazení polymeru na teplotu, při které lze výrobek z formy vyhodit bez nežádoucích deformací. [19, 20]

Amorfní materiály, které vykazují náhodnou strukturu, lze ve většině případů ochladit rychle, aniž by to mělo negativní vliv na vlastnosti materiálu. U semikrystalických materiálů je tomu jinak. Při vstříknutí do dutiny formy mají semikrystalické molekulární řetězce náhodnou orientaci, jak tomu je u amorfních, ale pokud dojde k předčasnému shlazení, tak to může mít neuspokojivý účinek na finální produkt. Díl se bude snažit dosáhnout požadované struktury až po vyhození, čímž budou vznikat deformace vzhledem k vysokým rozměrovým změnám, což je naprosto nežádoucí. Aby se tomuto jevu předešlo, tak se teplota formy musí o něco zvýšit, nikoli snížit. Samozřejmě, všechny vstřikované díly se musí ochladit, ale je tedy důležité definovat, jak rychle. Vzhledem k dodávání tepla do formy nedojde u semikrystalických polymerů k velkému teplotnímu šoku a materiál má tedy více času na vytvoření požadované struktury. [19]

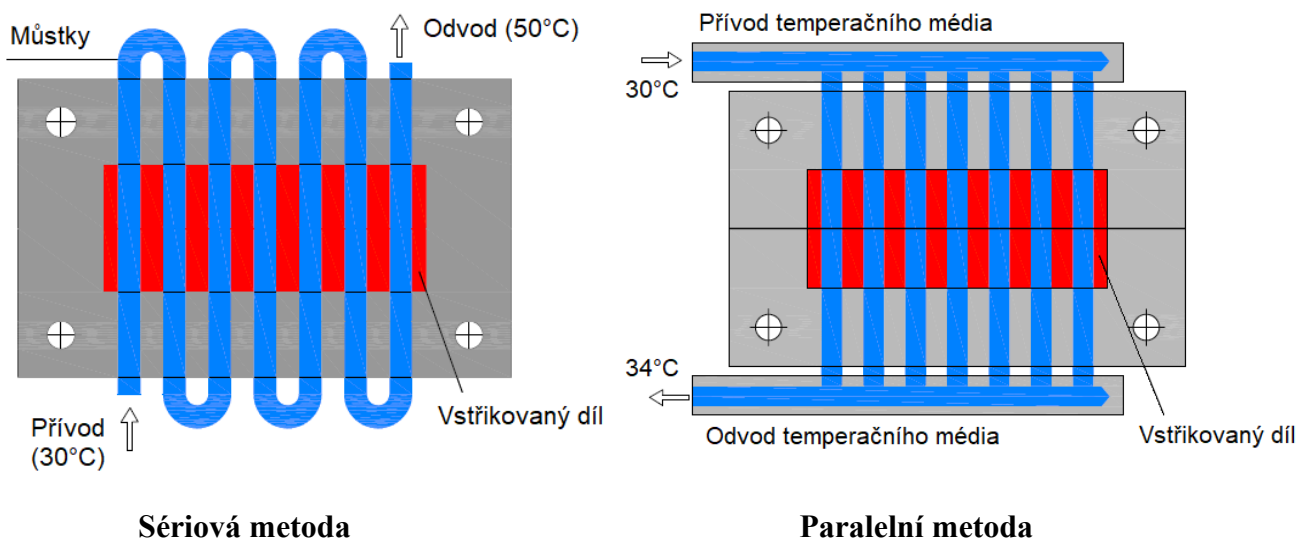
Teplota formy při vstřikovacím cyklu by tedy měla být [20]:

- Dostatečně vysoká, aby se zabránilo předčasnému zmrznutí materiálu,

- co nejrovnoměrnější, aby se zajistilo rovnoměrné ochlazení vstřikovaného dílu ve všech oblastech,
- dostatečně vysoká u semikrystalických materiálů.

Každý vstřikovaný díl musí být individuálně teplotně kontrolován, což přináší svá pravidla. Například při určení průměru temperačního kanálku. Ty jsou obvykle 5 až 20 mm, přičemž se tento rozměr stanoví podle tloušťky stěny vstřikovaného dílu. Nadále je vždy efektivnější větší počet malých kanálků, než menší počet kanálků s větším průměrem. [17]

Temperační systémy mohou mít dvě metody provedení, a těmi jsou sériové nebo paralelní. U provedení sériové temperace má temperační médium pouze jeden lineární tok tzn. přívod se nevětví. Vzhledem k jednomu postupně se ohřívajícímu toku média, kdy dochází k delší době výměny tepla se vstříknutým materiálem, lze dosáhnout rozdílných teplot na přívodu a odvodu. Při paralelním provedení je přívod temperačního média rozdělen na několik paralelních kanálků, přičemž se dosáhne rovnoměrné regulace teploty, díky kratší době, kdy dochází k výměně tepla mezi médiem a vstříknutým materiálem. Pro vývod se následně všechny kanálky opět spojí. Obě provedení jsou vyobrazena na obr.18. [17]



Obr. 18 Metody provedení temperačních kanálků [17]

3.6.1 Temperační média

Jakožto temperační médium se nejčastěji používá voda nebo olej. Ve speciálních případech, kdy je potřeba dosáhnout vysoce rychlého ochlazení se používá chlazený vzduch. [19]

Voda je běžně využívaná kapalina pro temperaci, vzhledem k její vlastnosti přenášení tepla a způsobu proudění. Další výhodou je, že se do vody mohou přimíchávat i různé přísady jako jsou například tzv. etylenglykoly, které zlepšují schopnost odvodu tepla. Pro vstřikování s vysoce krátkým vstřikovacím cyklem může být voda přiváděna za velice nízké teploty, a to až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. V takovýchto případech je nutné do vody přimíchat nemrznoucí látky. Ve většině případů se teplota vody, v temperačních kanálcích, pohybuje v rozmezí 5 až $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale najdou se i případy kdy může dosáhnout až $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. V takových případech musí být celý systém zhotoven tak aby odolával vyššímu tlaku. Nevýhodou využití vody, jakožto temperačního média, je tvorba vodního kamene nebo i řas, přičemž dochází k usazování temperačních kanálků, což může negativně ovlivnit účinnost chladicího systému. [17, 19]

Olej se používá většinou tam, kde teplota formy může přesáhnout $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, aby se předešlo nežádoucím vlivům, jako je přehřátá pára. Další jeho předností je, že nedochází ke korozi v temperačních kanálech. Jeho nevýhodou je, že pokud dojde k jeho úniku, tak je složité jej odstranit z povrchů vstřikovací formy. Nadále lze uvést náklady s ním spjaté. [19]

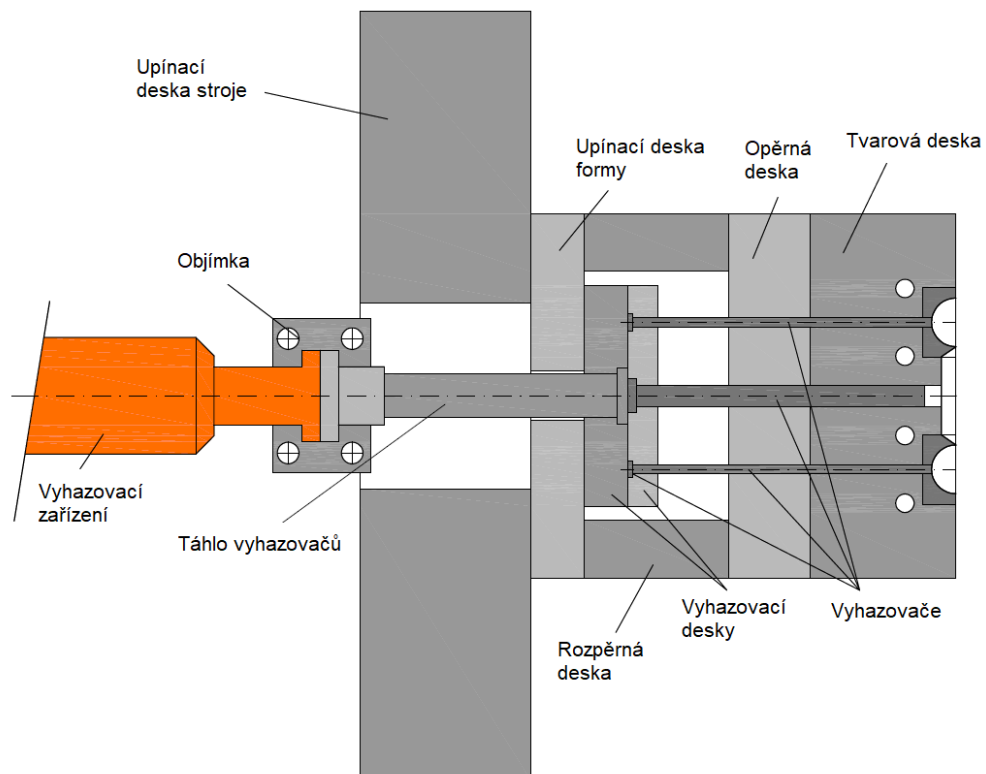
3.7 Vyhazovací systém

Po ztuhnutí a vychladnutí součásti je třeba ji z dutiny formy dostat ven a jak je z názvu zřejmé, vyhazovací systém slouží k takovému údělu a je velmi důležité zvážit způsob, jakým vyhození bude provedeno. Konstrukce vyhazovacího systému je jedním z hlavních faktorů, které určují, jak efektivní bude nástroj ve výrobě. Nejdůležitějším požadavkem je, aby všechny výrobky byly vyhozeny bez nežádoucích vlivů jako jsou např. tendence ke zkroucení a deformaci. Při určování vyhovujícího vyhazovacího systému je třeba vzít v potaz řadu faktorů, jako je geometrie vstřikovaného dílu, materiál, specifikace vstřikovacího stroje, požadavky na povrchovou úpravu dílu atd. [5, 17, 21]

Provedení odformování pro různé vstřikované komponenty [17]:

- Díly bez podkosů lze vysunout, vyhodit nebo pomocí vyhazovacích kolíků,
- díly s podkosem lze odformovat pomocí bočního odformování,
- díly s vnitřním nebo vnějším závitem lze odšroubovat pomocí vytáčecích jader nebo odformovat pomocí skládacích jader.

Běžné vstřikovací formy, které vyhazují díly za použití vyhazovacího systému bez speciálních funkcí, mají vyhazovací zařízení přímo spojeno s vyhazovací jednotkou (viz obr. 19). Vyhazovací systémy mohou být aktivovány mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky. Nadále ve speciálních případech může být vstřikovaná součást vyjmuta ručně nebo robotem. [17]



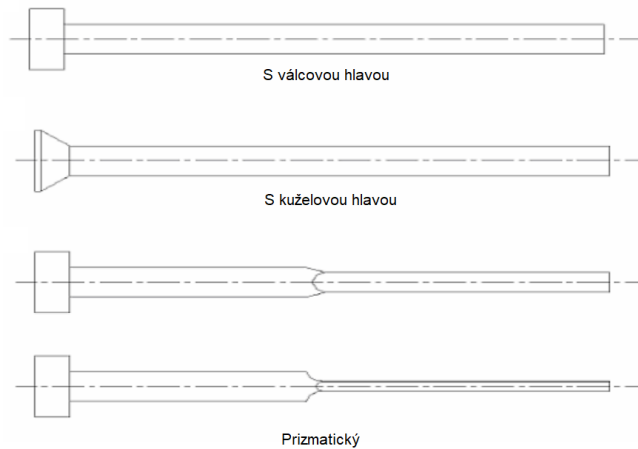
Obr. 19 Schéma vyhazovacího systému [17]

3.7.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování je nejrozšířenější mezi vyhazovacími systémy, především díky tomu, že sem spadá vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků. Vyhazovací kolíky mohou být obyčejné válcové, trubkové nebo prizmatické (viz obr. 20). [5, 21]

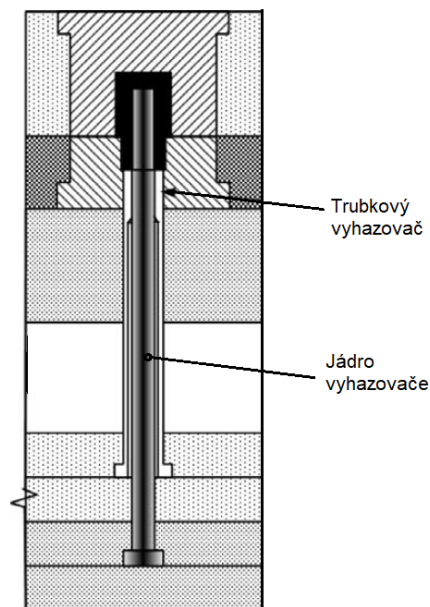
Vyhazovací kolíky jsou nejvyužívanější díky cenové dostupnosti a snadné instalaci vyhazovacího systému, přičemž je lze využít tam, kde je možné vyhazovače umístit proti ploše vstřikovaného dílu ve směru vyhození. Kolík se tedy musí opírat o stěnu nebo žebra vstřikovaného dílu. Kolíky není doporučeno umísťovat na vzhledové plochy, neboť po jejich dotkových plochách jsou viditelné stopy na povrchu zhotoveného dílu. Jsou to

normalizované součásti s obsáhlým rozměrovým výběrem, přičemž lze nenormalizované rozměry snadno upravit. [5, 19]



Obr. 20 *Vyhazovací kolíky* [5]

Trubkové vyhazovače se používají k vyhazování kruhových prvků, jako jsou kruhové podložky, hlavice nebo zapuštěná otvory. Stejně jako vyhazovací kolíky jsou i sestavy vyhazovačů pouzder k dispozici jako normalizované součásti v široké škále velikostí. Nestandardní pouzdra lze vyrobít úpravou normalizovaných. Trubkový vyhazovač je na obr. 21. [19]



Obr. 21 *Trubkový vyhazovač* [19]

Nadále pod mechanické vyhazování spadají stírací desky. Systém stíracích desek je velmi efektivní a obvykle účinnější než kolíky všude tam, kde je lze použít, protože při vysouvání podporují maximální možnou plochu a jejich výhodou je, že na rozdíl od kolíkových

vyhazovačů nezanechávají stopy na vstříkovaném dílu. Typické aplikace jsou pro trubkové a kruhové díly, ale dokonce i čtvercové nebo obdélníkové boxy. Díky velké dosedací ploše se také hodí v případech, kdy je vyžadována velká vyhazovací síla. Systémy stíracích desek lze použít i jako kombinaci s ostatními typy vyhazovačů například s kolíkovými. [5, 19]

3.8 Odvzdušnění forem

Dalším konstrukčním aspektem je odvzdušnění dutiny formy. Je potřeba zajistit odvzdušňovací kanálky pro únik stlačeného vzduchu a jiných plynů během vstříkování. Zachycený vzduch a plyn mohou způsobit řadu nežádoucích vlivů, které vytváří vady při vstříkování, jako jsou např. dieselekt, bubliny, vlnky a prohlubně na vyráběných dílech. Čím větší je rychlost plnění dutiny formy, tím účinnější musí být odvzdušnění formy. Jak již bylo zmíněno na předchozích stránkách, tak doba plnění má značný vliv na výsledné vlastnosti vstříkovaného dílu, a proto ji nelze libovolně upravovat. Rychlé plnění je žádoucí především u tenkostěnných výrobků, kde nesmí dojít k předčasnému zamrznutí čela taveniny, což způsobuje nežádoucí zvýšení tlaku anebo nedostříknutý výrobek. [5, 20]

Běžnými metodami odvzdušňování jsou odvzdušňovací kanálky, odvzdušňovací zátky anebo kolíky. Novější vývoj zahrnuje použití vysoce porézních kovů, které umožňují únik plynů, ale zabraňují úniku polymeru. Například u vstříkování reaktoplastů je třeba uvažovat větší odvzdušňovací objem, aby se zajistilo odvětrání par, vznikajících při chemickém zesíťování. [5]

3.9 Materiály a tepelné zpracování částí forem

Tato část obsahuje informace o různých složeních ocelí, které jsou k dispozici pro výrobu forem používaných v technologii vstříkování. Tyto oceli představují nejčastěji používané typy materiálů při konstruování forem. Mezi častěji používané lze také zařadit nástrojové a nerezové oceli. Další materiály, jako je beryllium-měď, litá slitina hliníku, kovaná slitina hliníku, slitina kobaltu a niklu a kirksit (slitina hliníku a zinku) se rovněž používají, ale v menší míře. Oceli jsou základním materiálem používaným ve formách. Žádné jiné materiály nenabízejí srovnatelnou univerzálnost pro dané použití. Oceli se vyrábějí v nejrůznějších podobách a možných povrchových úpravách, mají pevnost v rozmezí od 205 MPa do více než 2050 MPa a odolávají různým teplotám od kryogenních až po 1100 °C.

V prvé řadě se volba příslušné oceli a její jakosti řídí podle vlastností a technologií zpracování vstřikovaného plastu. Nadále také způsob výroby tvarových částí forem, jejich velikost, a i tepelného zpracování a chemicko-tepelného zpracování či povlakování. Velice důležitým faktorem a podmínkou co nejoptimálnější životnosti nástroje je kvalitní konstrukce formy, vhodné vložkování, celkové dimenzování, způsob zacházení, údržba apod. Stojí za zmínku, že s vhodným vložkováním lze prodloužit životnost formy za použití minimálních nákladů. Nadále je vhodné při automatickém chodu využívat částí s kvalitní jakostí povrchu. Špatná kvalita může zapříčinit horší vyjímání vstřikovaného dílu z dutiny formy, který má hlubší tvary, jako jsou například žebra. Nadále většina tvarových dílů forem se dosud vyrábí z cementačních ocelí. Velmi důležitou vlastností cementační oceli je kalitelnost a prokalitelnost, které určují výsledné vlastnosti po zakalení. Jako přednosti cementačních ocelí lze zmínit jejich dobrou úroveň obrobitelnosti v žíhaném stavu a malou náchylnost k praskání při kalení. Na druhou stranu nevýhodou jsou větší deformace po tepelném zpracování než u ocelí přímo kalitelných. [16, 20]

3.9.1 Volba materiálu pro jednotlivé části formy

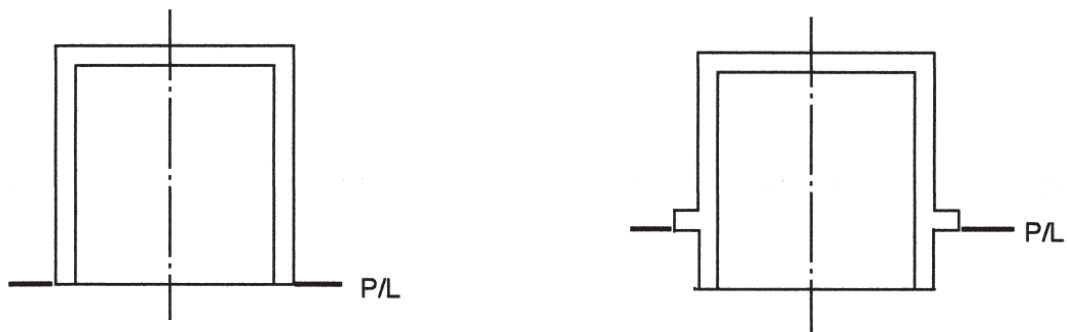
Desky upínací, opěrné apod., které nejsou příliš namáhané jsou z ocelí nejčastěji třídy 11, například ocele dle ČSN třídy 11 600 a 11 523. Pokud je deska z takové oceli, tak se tepelně nezpracovává. U desek, kde je zapotřebí vyšší pevnost se používá konstrukční ocel uhlíková dle ČSN 12 060. Pro desky, které jsou maximálně namáhané, se používá ocel vhodná k cementování, ocel konstrukční, a i nástrojové oceli, jako jsou ČSN 14 220 a 19 486. Takové oceli jsou nadále vhodně tepelně zpracovány. Izolační desky se zhotovují ze syntetických pryskyřic, které mohou být obohaceny o určité procento skelných vláken. Vodící sloupky a pouzdra jsou většinou vyráběny z cementační oceli ČSN 14 221 a 14 220, přičemž jsou náležitě cementovány a kaleny. V případě vyhazovačů jsou nejčastěji používány oceli ČSN 19 421 a 19 452. Vzhledem k čim dal víc se rozšiřujícímu využití normalizovaných vyhazovačů od výrobců normálií, z valné většiny nitridovaných z ocelí ČSN 19 552, 19 554, 19 711. Pro zhotovení dorazů se využívá většinou nástrojové oceli ČSN 19 312, přičemž se kalí na výslednou tvrdost přibližně 58 HRC. Při volbě materiálu vtokové vložky je třeba dbát na její aplikaci. Pokud se aplikuje tam, kde se očekává její náročné namáhání, tak je zhotovena z ocelí ČSN 19 572 nebo 19 581. V případech, kde je vtoková vložka méně namáhána, jsou vyráběny z cementované oceli ČSN 19 487 a 19 486 nebo kalitelné nástrojové oceli ČSN 19 452, 19 436 a 19 437. [20]

4 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY

Návrh formy je jednou z významných činností v rámci mnohem rozsáhlejšího procesu vývoje vstřikovaného výrobku. Protože návrhy výrobku a formy jsou vzájemně závislé, je užitečné, aby inženýr zabývající se návrhem výrobku i formy pochopil proces vývoje plastových dílů. Někdy jsou k dispozici pouze vzorky nebo modely v CAD systémech plánovaného výrobku. To může být do jisté míry výhodné pro lepší představu o výrobku, ale pro minimalizaci rizika je naprosto nezbytné mít k dispozici kompletní detailní výkres výrobku se všemi náležitostmi, tolerancemi a specifikacemi. V takovém momentu má také konstruktér příležitost přijít s co nejvhodnějším návrhem formy anebo předložit návrhy o změně vstřikovaného výrobku tak, aby se zjednodušila konstrukce vstřikovací formy a snížily její náklady. K dosažení takového cíle je nejvhodnější stanovit určitý proces vývoje vstřikovaného výrobku. Takových procesů může existovat mnoho, ale téměř všechny pracují se dvěma kritickými atributy, což je strukturovaný plán vývoje, který zajišťuje sledování a úplnost návrhu a výroby. A dalším atributem je proces zvaný „toll-gate“ (přeloženo z angličtiny: mýtná brána), který se stará o zmírnění rizika přidělení vyšších rozpočtů, dokud nenastanou důkladné revize v milnicích projektu. [8, 22]

4.1 Dělicí rovina výrobku

Stejně jako u vstřikovací formy, je třeba i u samotného výrobku určit nejvhodnější místo dělicí roviny. Ve většině případů jednoduchých dílů je umístění dělicí roviny zřejmé, protože se nachází v nejširší části, kolmo ke směru pohybu otevírání a zavírání formy, vstřikovaného výrobku, přičemž by měla být v jedné rovině anebo je v určitém úseku v jiné výšce. Vzhledem k minimalizaci nákladů se jedná o často používaný případ (*viz obr. 22*). Existuje však mnoho případů, kdy dělicí rovinu nelze umístit v nejširší části výrobku, a je tak nutná úprava. Mezi takové případy patří například vstřikování plastových složitějších tvarových dílů, přičemž dělicí rovina je zakřivená a nemá tudíž rovný tvar (*viz obr. 23*). V takových případech je přizpůsobení dělicí roviny obtížné, což znamená vyšší náklady na její zhotovení, neboť takový úkon může vyžadovat nákladné broušení nebo lícování. [22]



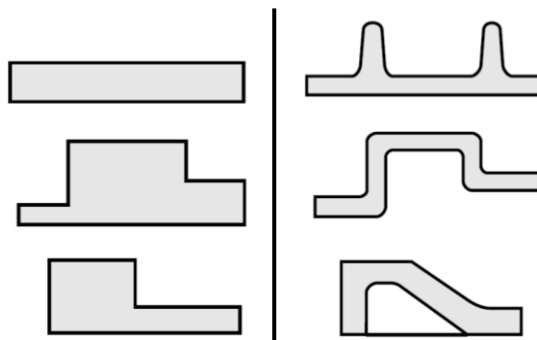
Obr. 22 Znáznornění jednoduché dělicí roviny (P/L – Parting Line) [22]



Obr. 23 Zakřivená dělicí rovina [22]

4.2 Tloušťka stěn výrobků

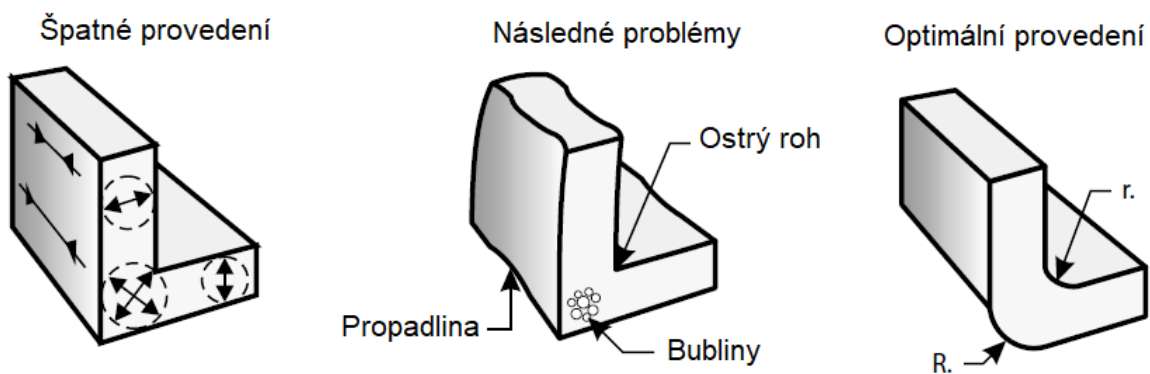
Jedním ze základních konstrukčních pravidel pro vstřikování je zajištění rovnoměrných a symetrických tlouštěk stěn výrobků. Nedodržení těchto faktorů může vést k vážným deformacím a vstřikovacím chybám. Nadále je třeba dodržovat optimální rozměry stěn výrobku. Pokud je stěna příliš silná může dojít k vysoké úrovni smrštění, dutinám a povrchovým propadlinám. Na obr. 24 jsou znázorněny průřezy stěnou výrobku, v levém sloupci se jedná o neoptimální provedení a v pravém sloupci jsou jejich optimální protikusy. Vždy je však třeba zohlednit požadavky na budoucí aplikaci dílu. [16]



Obr. 24 Porovnání špatného proti optimálnímu provedení stěn vstřikovaného dílu [16]

4.3 Zaoblení hran

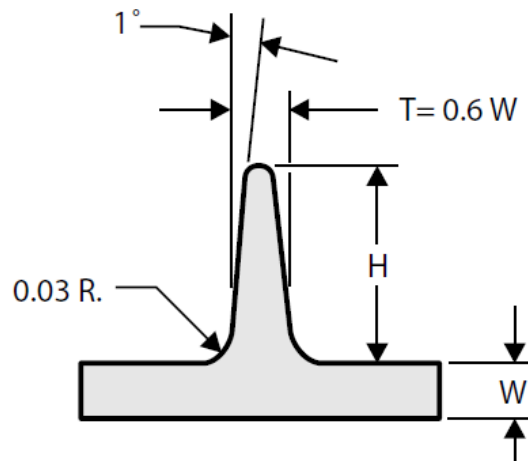
I přes to, že jsou ostré rohy často specifikovány při navrhování výrobků, aby se maximalizoval vnitřní objem součásti, usnadnilo párování více součástí anebo pouze z estetických důvodů, je snahou se jim u technologie vstřikování vyhnout. Důvodem jsou nežádoucí vlivy, ke kterým může během vstřikování dojít, jako jsou například vnitřní prnutí kvůli rozdílné tloušťce materiálu, což nadále může způsobovat nedokonalé vyplnění rohu. Předjet se tomu dá pomocí zaoblení rohů na optimální poloměry. Na obr. 25 je vyobrazeno optimální řešení, kdy je roh zaoblen i s vyobrazením ostrého rohu, u kterého jsou znázorněny nežádoucí vlivy. [8]



Obr. 25 Optimální provedení hran vstřikovaného výrobku [16]

4.4 Žebra

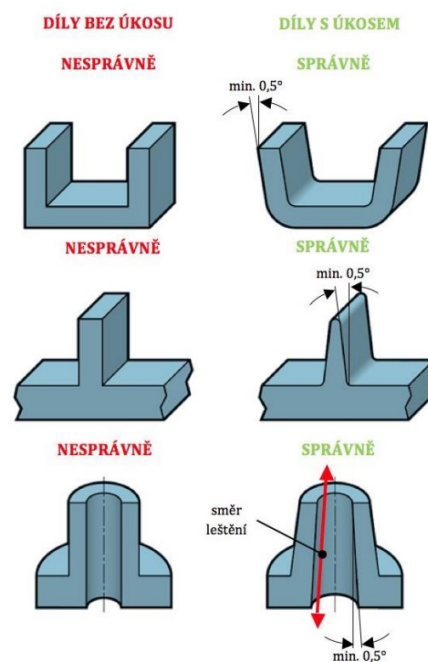
V předchozím odkazu (viz 4. 2) je již zmíněno, jak je důležité zachovat tenké, rovnoměrné a symetrické tloušťky stěn. Pokud tedy nastává situace, kdy je požadována větší tuhost a pevnost vstřikovaného výrobku, je mnohem efektivnější využít proporcionálních žeber se základním návrhem stěn nežli tlustostěnné návrhy. Aby nedošlo k nežádoucím vlivům při použití žeber na vstřikovaném výrobku, tak by mělo navržené žebro obsahovat určité proporce, například že tloušťka žeber by měla činit 40 až 60 % tloušťky základní stěny, přičemž úhel zkosení by měl být okolo 1° (viz obr. 26). [16]



Obr. 26 Optimální geometrie průřezu žebra [16]

4.5 Úkosy a podkosy

Úhly úkosů vnitřních a vnějších stěn mají zásadní význam především u vyhazování vstřikovaného dílu z dutiny formy. Vnější stěny vyžadují menší úhly oproti vnitřním a zejména hluboko tažené díly mohou mít tendenci se při vyhazování z rovnoběžných jader odírat nebo zadírat. U většiny vstřikovaných dílů je optimální zkosení alespoň 1° , ale u hlubších komponent s dlouhými stěnami je vhodnější úhel 2° a více. Na obr. 27 je znázorněno optimální zkosení stěn vstřikovaného dílu. [16, 19]



Obr. 27 Porovnání špatného proti optimálnímu provedení úkosů stěn vstřik. dílu [23]

5 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V úvodní části jsou popsány polymerní materiály, které jsou následně rozděleny do jednotlivých druhů za účelem popisu jejich specifických vlastností a struktury. Druhá část byla věnována technologii vstřikování, která obsahuje popis vstřikovacího cyklu s vysvětlením dějů uvnitř formy a nastíněním, jak dosáhnout optimálního vstřikování pomocí procesního okna. Kapitola je zakončena základními informacemi o vstřikovacích strojích. Další kapitola se zabývá popisem samotné vstřikovací formy a jejích jednotlivých částí za účelem pochopení jejich funkcí. Poslední kapitola teoretické části je zaměřena na základní informace o vstřikovaných výrobcích, tedy jaká jsou pravidla, které se musejí brát v úvahu při jejich navrhování pro dosažení požadovaného výsledku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVANÉ CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro bakalářskou práci byly stanoveny tyto cíle:

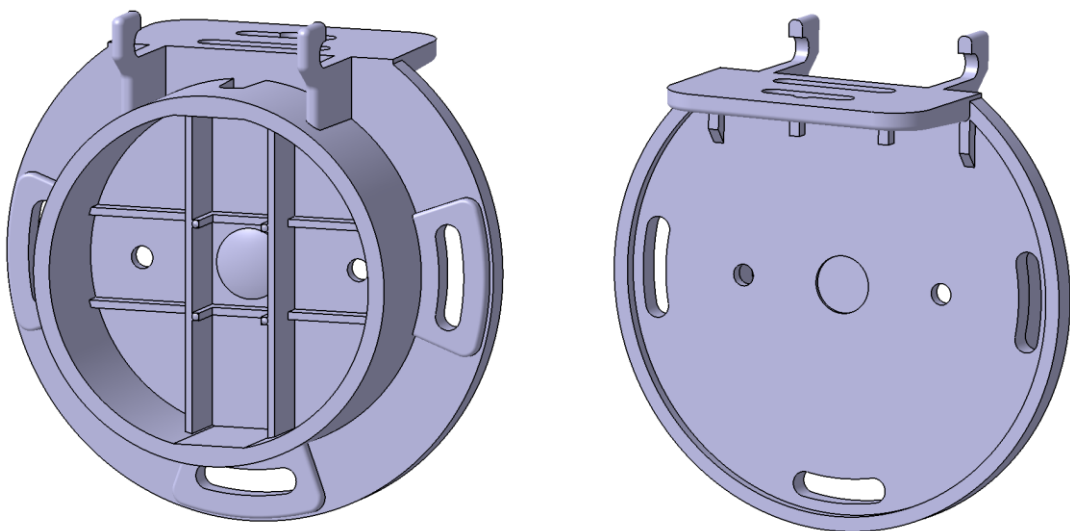
- Zpracovat literární řešení zabývající se danou problematikou,
- vyhotovit model zadané vstřikované součásti,
- provést konstrukční návrh vstřikovací formy pro danou součást,
- vytvořit výkres sestavy formy včetně patřičných pohledů a kusovníku.

Teoretická část bakalářské práce byla zhotovena do čtyř kapitol. První kapitola se zabývá základními informacemi o polymerních materiálech. Druhá kapitola se věnuje technologii vstřikování a jejím důležitým aspektům. Třetí obsahuje základní problematiku vstřikovacích forem a čtvrtá kapitola popisuje především pravidla při navrhování vstřikovaného výrobku.

Pro zhotovení praktické části byl použit program CATIA V5R20, ve kterém byl vytvořen 3D model zadaného vstřikovaného dílu. Pro díl se následně zhotovil návrh vstřikovací formy. Normalizované součásti zakomponovány do formy, byly pečlivě vybrány z elektronického katalogu firmy Meusburger a náležitě sestaveny. Ze sestavené formy byl následně zhotoven výkres sestavy s patřičnými pohledy, opozicovanými řezy a kusovníkem.

7 SPECIFIKACE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Vstřikovaným výrobkem je díl průmyslové zásuvky, která je díky svým dvěma vrchním a třem postranním drážkám, umístěným na vnějším okraji přizpůsobivá, co se týká umístění šroubů nebo jiných spojovacích součástí použitých k připevnění dílu. Dále jsou zde dva horní háčky sloužící pro uchycení sklápěcí krytky, která zásuvku chrání před vnějšími vlivy jako jsou nečistoty, vlhko apod. Vzhledem k oblastem použití průmyslové zásuvky, což jsou převážně průmyslové provozy, není tolik dbáno na pohledové vlastnosti, ale je důležité se zaměřit na funkčnost a odolnost tohoto dílu. Největší vnější rozměry dílu jsou 136 x 136 x 74 mm s převažující tloušťkou stěny 4 mm. Model byl zhotoven v prostředí programu CATIA V5R20.



Obr. 28 Model vstřikovaného dílu

7.1 Materiál výrobku

Jak již bylo zmíněno výše, prostředí, kde bude zásuvka využita, je převážně v průmyslových provozech. V takovém případě se musí předpokládat, že výrobek bude čelit náročným podmínkám jako jsou prach a hrubé nečistoty, přičemž může být vystavena i otevřeným venkovním prostorům, takže musí odolávat i horku, mrazu a vysoké vlhkosti. Vzhledem k těmto faktorům byl zvolen materiál PC/ABS + 20 % GF pod obchodním názvem Xantar C CF 447. Výrobcem polymeru je firma Mitsubishi Engereering Plastics Europe. Jedná se o směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu s 20% obsahem skelných

vláken. Tento materiál se vyznačuje především vysokou odolností vůči rázu a oděru. Další užitečné vlastnosti materiálu, vzhledem k využití výrobku, jsou vysoká teplotní odolnost a odolnost vůči nepříznivým podmínkám jako jsou nízké teploty, vlhko atd.

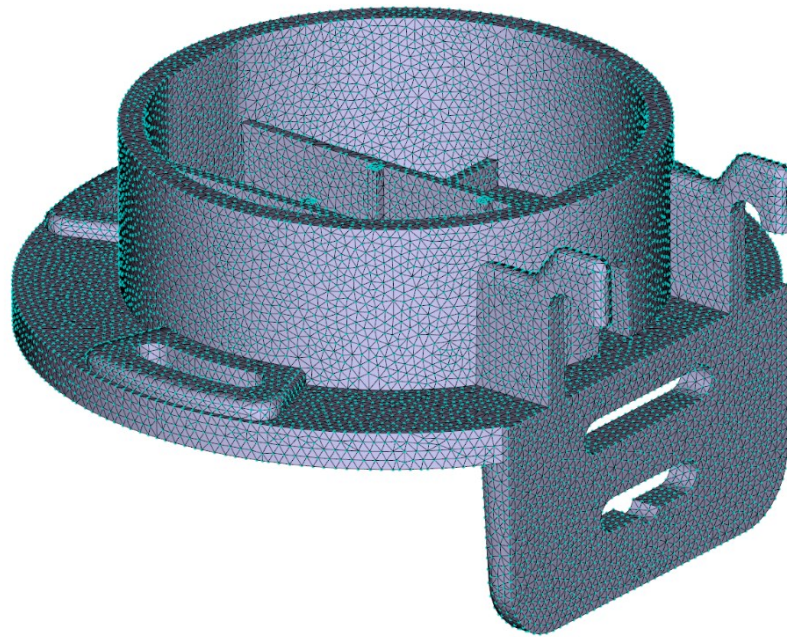
Tab. 1 Základní vlastnosti polymeru Xantar C CF 447

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota polymeru v tuhé fázi	1,33	g/cm ³
Hustota polymerní taveniny	1,19	g/cm ³
Teplota tání	260	°C
Doporučená teplota pro vstřikování polymeru	240 – 290	°C
Doporučená teplota formy	70 – 90	°C
Doporučená teplota pro vyhození	95	°C
Index toku taveniny (ITT)	20	g/10 min
Smrštění	0,2 – 0,3	%

7.2 Analýza umístění ústí trysek a simulace toku taveniny

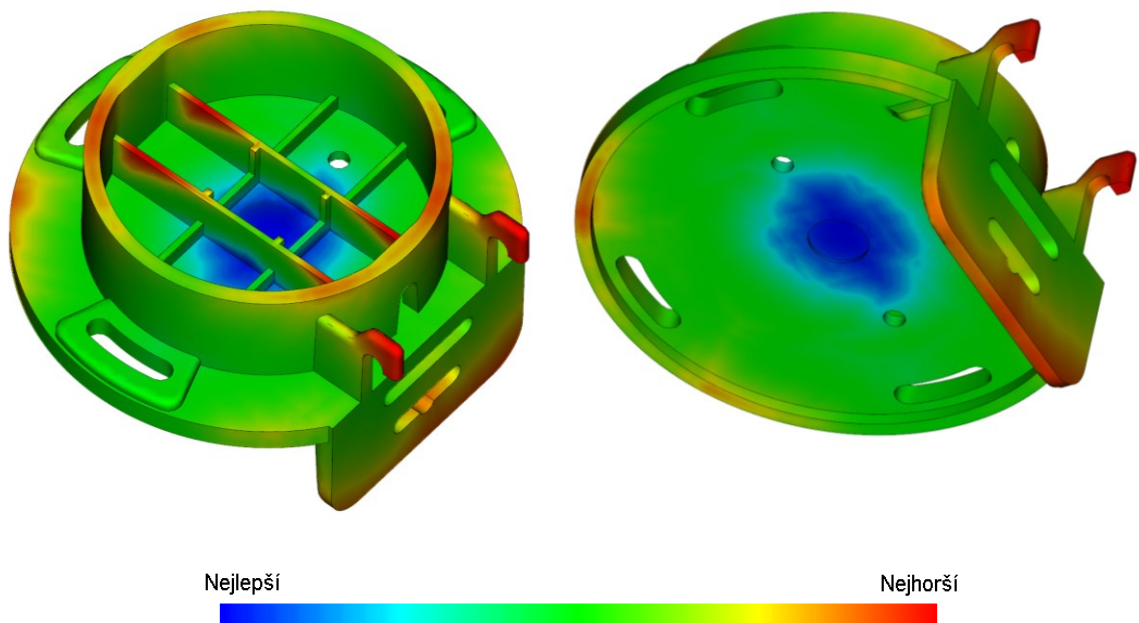
Analýzy vhodnosti umístění ústí trysek i simulace toku polymerní taveniny byly zhotoveny v prostředí programu Autodesk Moldflow Insight 2023 za asistence vedoucího bakalářské práce.

Nejprve bylo nutné importovat model zásuvky z prostředí programu CATIA V5R20. Následně se zvolil typ sítě „Dual domain“, u kterého se musela určit hodnota šířky strany jednoho elementu. V tomto případě se jeví jako vhodné řešení, v řádu simulace, stanovit softwarem doporučenou šířku hrany elementu 1,8 mm. Nadále se síť nechala vygenerovat na povrchu modelu výrobku. V dalším kroku byla provedena kontrola vygenerované sítě, při které se potvrdilo, že rozhodnutí stanovit doporučenou šířku elementu bylo vhodné, vzhledem k dostatečnému lomení elementu na ostrých a zaoblených hranách modelu. Dále byly zkontrolovány nejdůležitější aspekty sítě a došlo se tak k závěru, že síť splňuje veškeré požadavky pro výpočet dané analýzy. Výsledné zhotovení sítě je znázorněno na obr. 29.



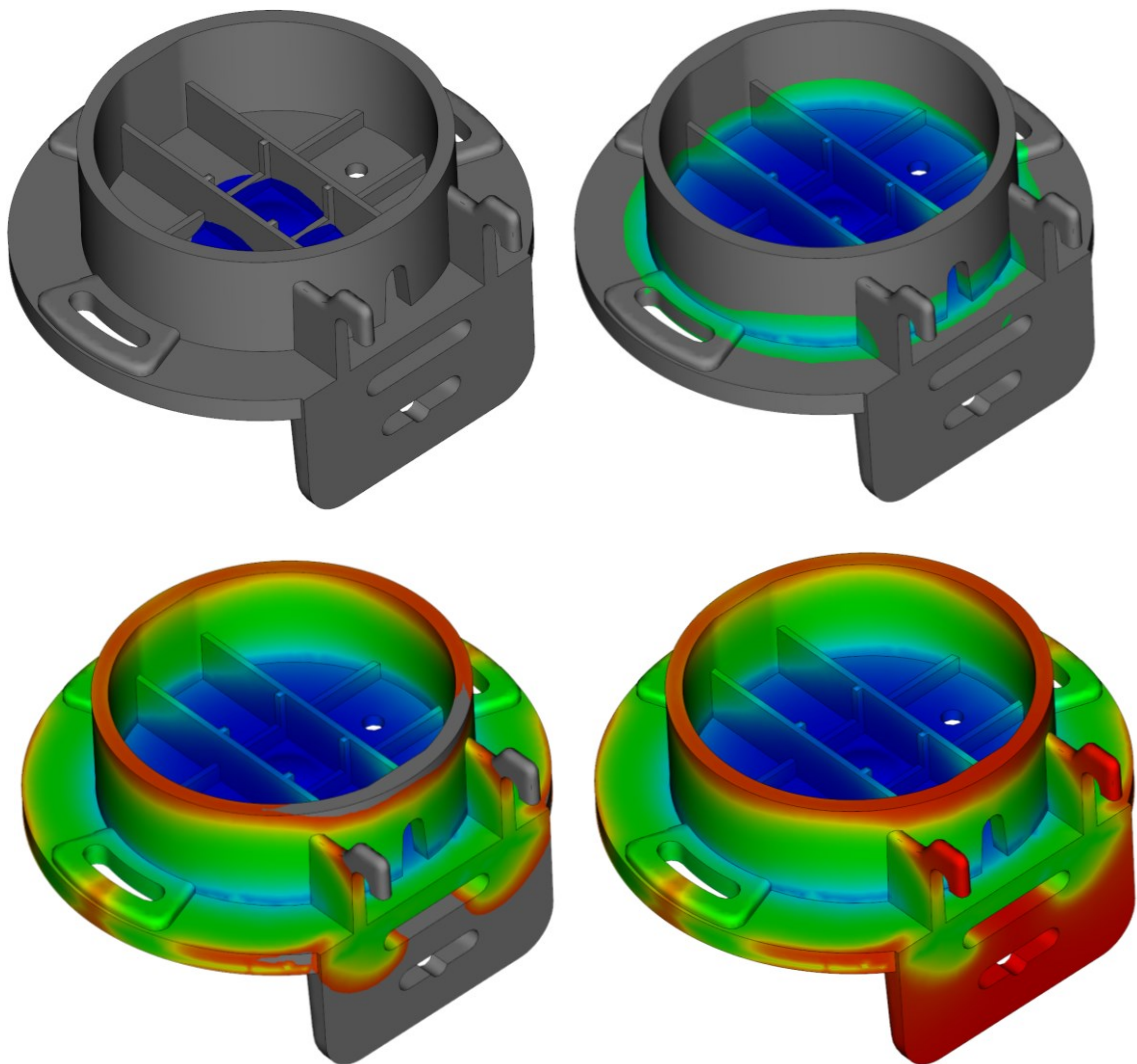
Obr. 29 Znáznornění sítě pro výpočet analýzy

Po zadání materiálu do programu, byla spuštěna analýza pro výpočet vhodnosti umístění ústí trysek. Výsledek analýzy je znázorněn na obr. 30. Spektrum barev značí vhodnost umístění vtoku, přičemž modrá je barva nejvhodnějšího umístění trysky a červená značí místa nejméně vhodná.



Obr. 30 Analýza pro umístění trysek

Po zhotovení analýzy pro vyhodnocení vhodnosti umístění trysek proběhlo nastavení simulace toku taveniny. Parametry z předchozí analýzy byly převedeny a použity, přičemž došlo pouze ke změně příkazu pro vyhotovení simulace plnění dutiny formy. Výsledky vyhodnocené v programu jsou znázorněny na obr. 31. Program nadále vyhodnotil dobu plnění dutiny formy na 2,5 s. Jak je možné vidět, znázornění je rozděleno do čtyř stádií, které ukazují postupné plnění polymerní taveninou. Nadále je obrázek opět doplněn o barevné spektrum, to nyní značí dobu plnění dutiny formy. Tedy modrá barva značí počátek vstříknutí a červená barva značí místa, kam polymerní tavenina doputuje jako poslední.



Obr. 31 *Simulace plnění dutiny formy*

8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Jako vstřikovací stroj byl vybrán ALLROUNDER 570 S – 1600 – 1300 (70) od firmy ARBURG. Jeví se jako vhodné uvést, že rozhodnutí o volbě vstřikovacího stroje bylo ovlivněno určitým faktorem, kterým jest znalost firmy díky jejím strojům, které se nachází na půdě univerzity.

Vstřikovací jednotka stroje je poháněna hydraulicky. Hydraulické pohony se vyznačují svou jednoduchostí a přesností, přičemž nelze opomenout jejich schopnost vyvinout velký výkon, což u vstřikovacího stroje zaručuje dostatečně velkou uzavírací sílu a vstřikovací tlak.

Při volbě vstřikovacího stroje je nutno počítat s více parametry. V tomto případě byl však jeden stěžejní, a tím je maximální dávka materiálu, kterou stroj dokáže dopravit do dutiny formy na jeden zdvih. Je tomu tak vzhledem k násobnosti formy a objemu vstřikovaného výrobku. Základní parametry vstřikovacího stroje jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Základní parametry vstřikovacího stroje ALRROUNDER 570 S

Parametr stroje	Hodnota	Jednotka
Maximální velikost upínací desky	795 x 795	mm
Vzdálenost mezi vodičnými sloupky	570 x 570	mm
Minimální výška formy	250	mm
Maximální otevření	650	mm
Maximální zdvih vyhazovacího systému	200	mm
Maximální hmotnost pohyblivé části formy	1400	kg
Maximální dávka vstřikovaného materiálu	826	g

Tab. 3 Základní parametry vstřikovací formy

Parametr formy	Hodnota	Jednotka
Rozměr upínacích desek	446 x 596	mm
Délka uzavřené formy	474,5	mm
Maximální otevření formy	80	mm
Požadovaný zdvih vyhazovacího systému	50	mm
Hmotnost pohyblivé části formy	407	kg
Dávka vstřikovaného materiálu	706	g

V tab. 3 lze vyčíst základní parametry vstřikovací formy. Pro snadnější orientaci při porovnání s parametry stroje z tab. 2 jsou buňky tabulek barevně rozlišeny, přičemž souhlasná barva značí spolusouvisející parametr.



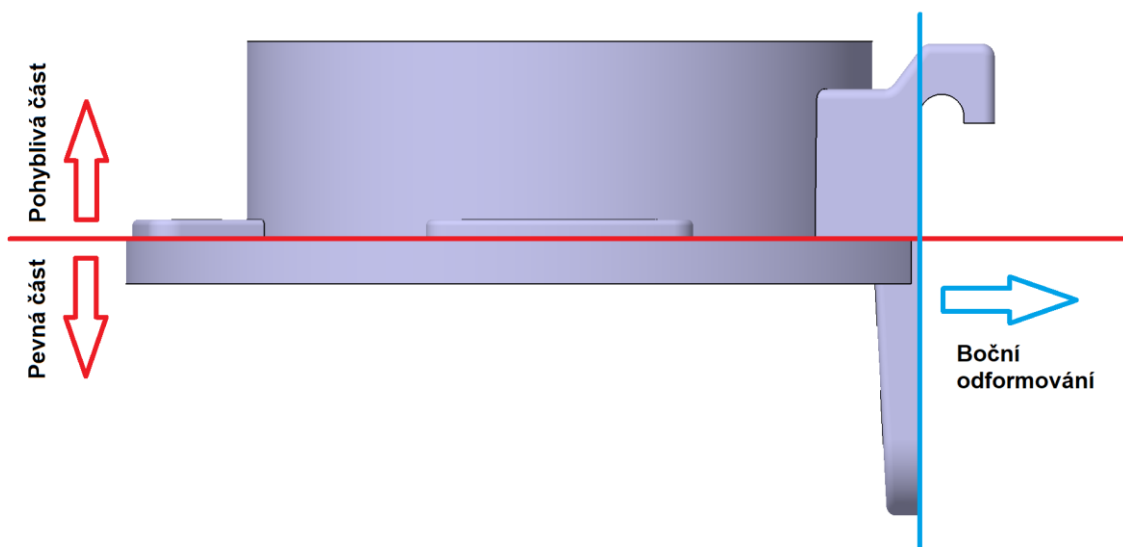
Obr. 32 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 S [26]

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce vstřikovací formy je závislá na široké škále faktorů, kterými jsou např. volba vstřikovacího stroje o určitých parametrech a především specifika vstřikovaného výrobku. Tím je konstruktér značně omezen, ale zároveň nasměrován v ohledu využití prostoru a následného výběru optimálních součástí potřebných k vyhotovení požadovaného výrobku.

9.1 Zaformování výrobku

U zaformování výrobku je třeba vzít v úvahu optimální volbu dělicí roviny. Hlavní dělicí rovina v tomto případě byla zvolena tak, aby nejsložitější tvarová část výrobku zůstala v tvárníku. Tím se docílí toho, aby výrobek při otevírání formy zůstal uložen v pohyblivé části formy a následně tak došlo k jeho vyhození ve vhodný okamžik. Nadále je zde vedlejší rovina, která je tvořena posuvnou čelistí bočního odformování. Obě dělicí roviny jsou vykresleny na modelu výrobku na obr. 33 i se znázorněním směru odformování.

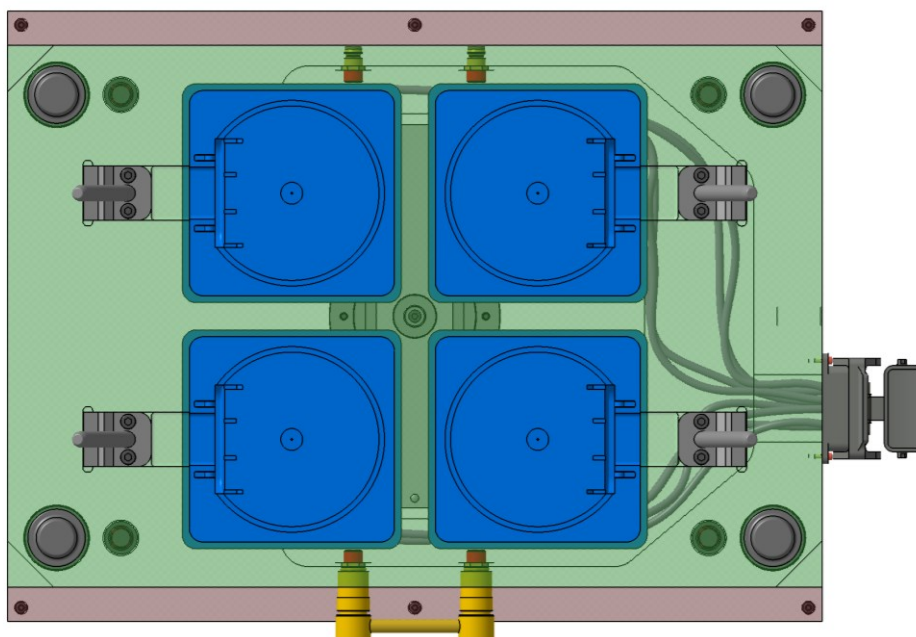


Obr. 33 Znázornění dělicích rovin na modelu

9.2 Násobnost formy

U násobnosti formy záleží na prostoru, který lze využít na tvarové desce vstřikovací formy. Tento prostor se odvíjí od jejích rozměrů, a ty jsou na sobě závislé spolu s parametry vstřikovacího stroje. Dále se nesmí opomenout samotný vstřikovaný díl, u kterého je třeba

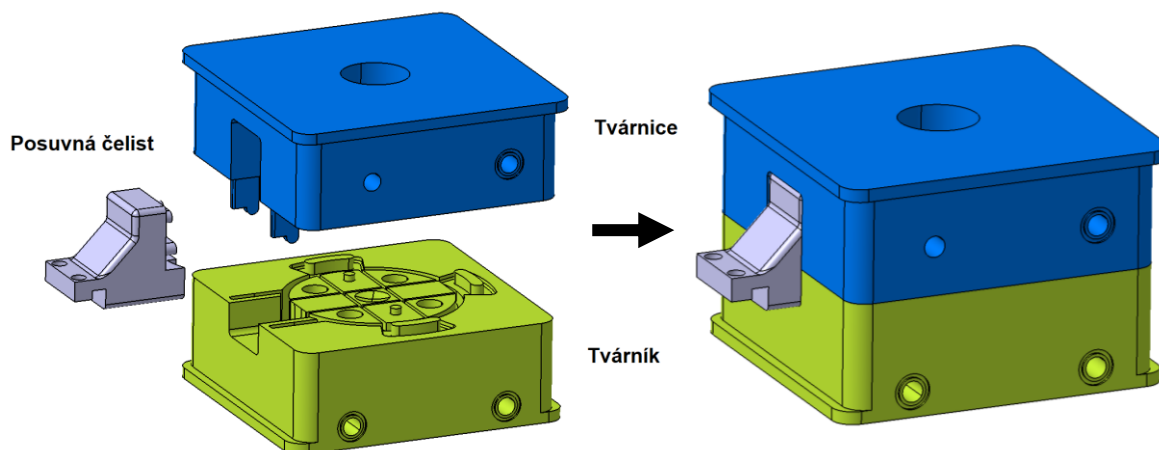
brát zřetel na jeho rozměry, požadovanou kvalitu a přesnost. S ohledem na tyto faktory a plánem dosáhnout co nejvyšší výroby, byla zvolena čtyřnásobná forma. Tedy během jednoho pracovního cyklu jsou zhotoveny čtyři výrobky. Díky tomuto rozhodnutí byl využit maximální prostor na tvarové desce (viz obr. 34), což lze považovat za pozitivní aspekt.



Obr. 34 Pohled na pevnou část – násobnost formy

9.3 Tvarové vložky

Tvarové vložky kopírují vnější tvar vstříkovaného dílu, tedy vytvářejí jeho negativ. V tomto případě jsou tvarovými vložkami tvárník, tvárnice a posuvná čelist pro boční odformování. Spojením všech tří tvarových vložek se vytváří dutina formy. Tvárník je umístěn v pohyblivé části formy a tvárnice v pevné. V prostřední části tvárnice byl zhotoven prostor pro vstříkovací trysku. Vzhledem ke geometrické složitosti zadaného výrobku musela být forma opatřena posuvnými čelistmi, jak již bylo zmíněno výše, aby došlo ke zhotovení drážek a otvoru ve vrchní části zásuvky (viz obr. 28). Posuvná čelist je navržena tak, aby byla vyměnitelná v případě opotřebení. Jednotlivé části a jejich následná poloha při uzavření formy jsou znázorněny na obr. 35.

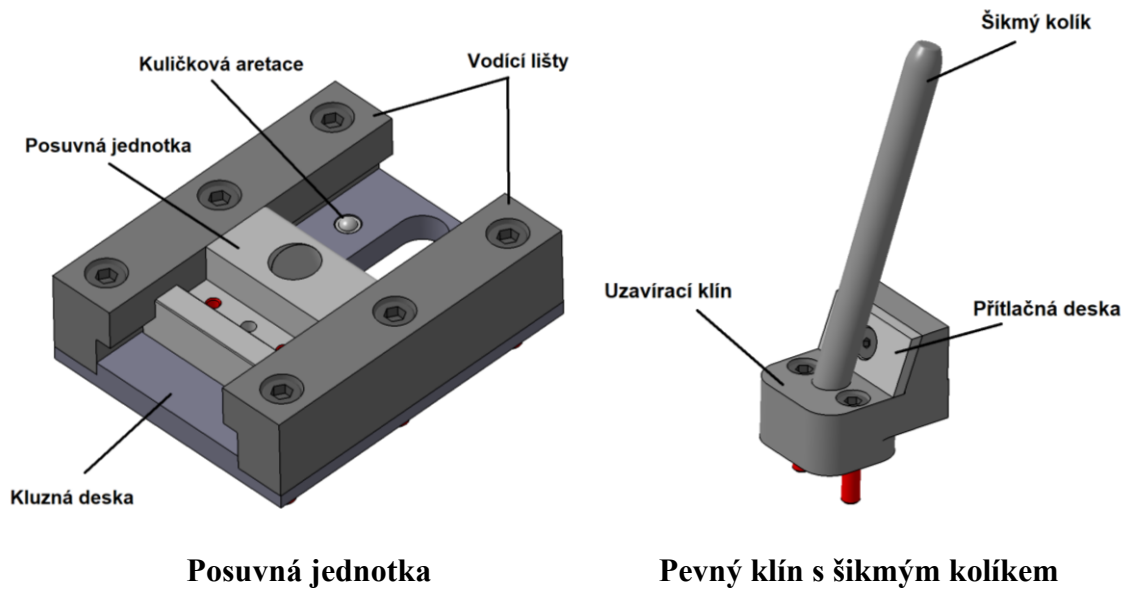


Obr. 35 Tvarové části formy

9.4 Boční odformování

Pro boční odformování byl zhotoven posuvný mechanismus, který se skládá z normalizovaných součástí firmy Meusburger. Posuvný mechanismus lze rozdělit na dvě části a tj. posuvná jednotka a uzavírací klín. Posuvná jednotka slouží k uchycení posuvné čelisti. Nachází se v pohyblivé části formy a je vsazena mezi vodící lišty, které leží na kluzné desce, skrze niž jsou přidělané zápusťnými šrouby do tvarové desky. Uzavírací klín je v pevné části formy a zajišťuje šikmý kolík, díky kterému se pohybuje posuvná jednotka. Nadále uzavírací klín drží přitlačnou desku, na kterou dosedá posuvná jednotka při uzavírání formy.

Při otevření formy je posuvná jednotka v koncové pozici zajištěna pomocí kuličkové aretace, která je vsazena v kluzné desce. Aretace funguje na principu tlačné pružinky, přičemž posuvná jednotka je opatřena dvojicí zahlobení, a když dojde k otevření formy, pružinka vtlačí kuličky do zahlobení a tím se zabrání nechtěnému posunu. Posuvný mechanismus je znázorněn na obr. 36 se všemi náležitostmi.



Posuvná jednotka

Pevný klín s šikmým kolíkem

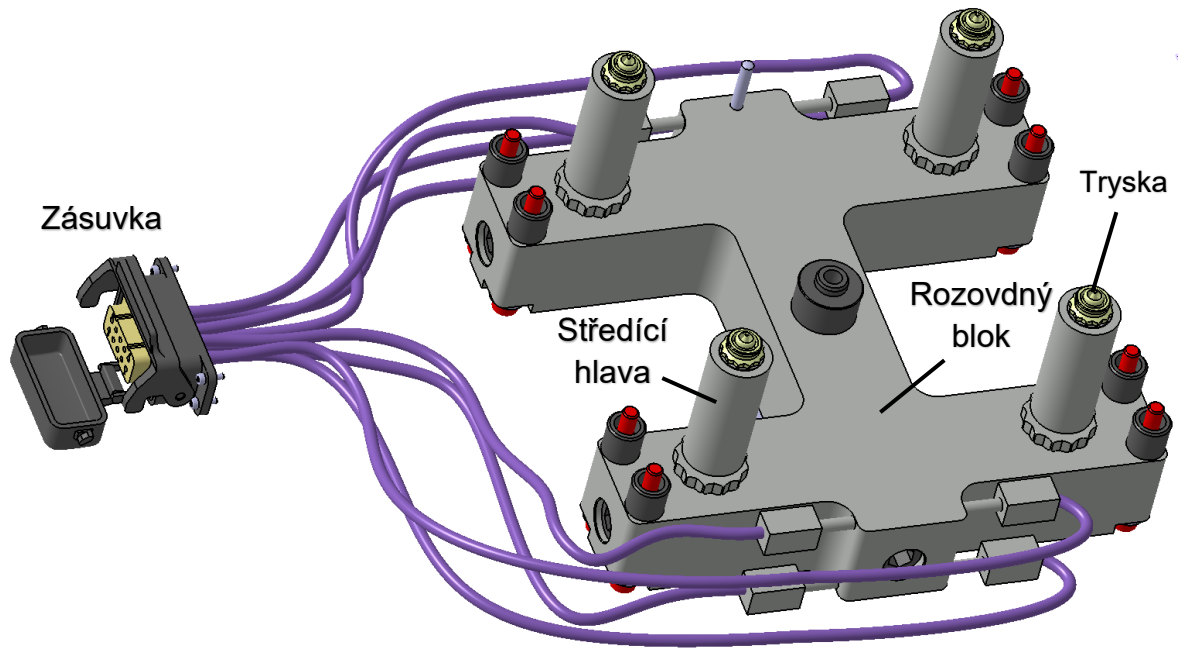
Obr. 36 Posuvný mechanismus

9.5 Vtokový systém

Vzhledem k násobnosti formy, zvolenému materiálu, a především rozměrům vstříkovaného dílu se jako optimální řešení jevílo využití vyhřívaného vtokového systému. Jelikož se jedná o poměrně tlustostěnný výrobek, tak teplota polymerní taveniny během vstříkovaní hraje zásadní roli. Při nižší teplotě taveniny je vysoká pravděpodobnost vzniku studených spojů v částech za drážkami, což je nežádoucí.

Jako horký vtokový systém byl zvolen rozvodný blok ve tvaru „H“ se čtyřmi tryskami s označením HTM4 od firmy Meusburger. Následně se sestava vtoku skládá z trysek smartFILL RT, které jsou vešroubovány do středících hlav. Pro vyhotovení vyhřívaného vtokového systému byly jednotlivé části vygenerovány pomocí elektronického asistenta od firmy Meusburger. Vygenerované součásti byly následně importovány do prostředí programu CATIA V5R20, kde byly náležitě sestaveny.

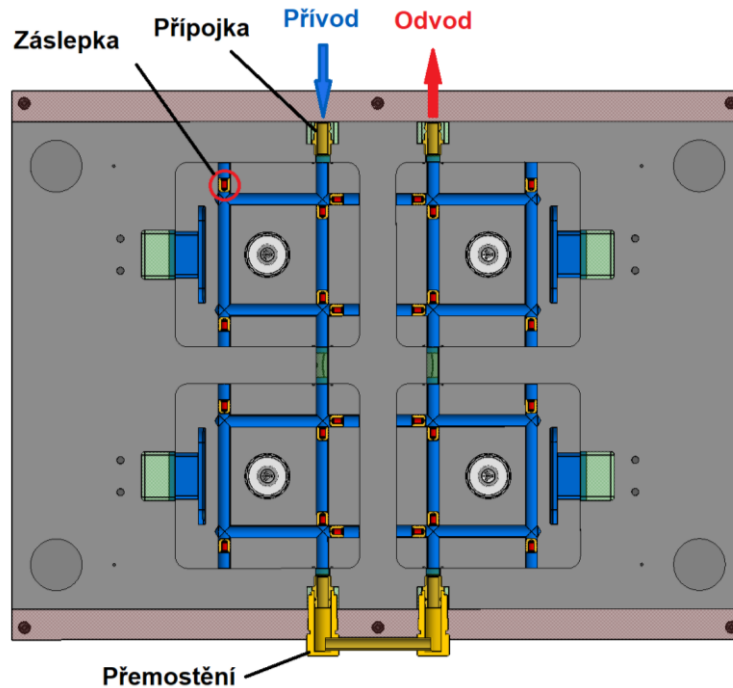
Pro zapojení vyhřívaného vtokového systému byla zvolena šroubovací vložka s dutinami, která je vsazena v krytu s označením E2716. Kryt je opatřen podélnou pákou pro uzamknutí zástrčky a odklápěcím víkem, které brání vniku nečistot do spojů, například během manipulace s formou. V prostředí programu CATIA V5R20, byly následně vymodelovány kabely pro autentické vyobrazení zapojení celého systému (viz obr. 37).



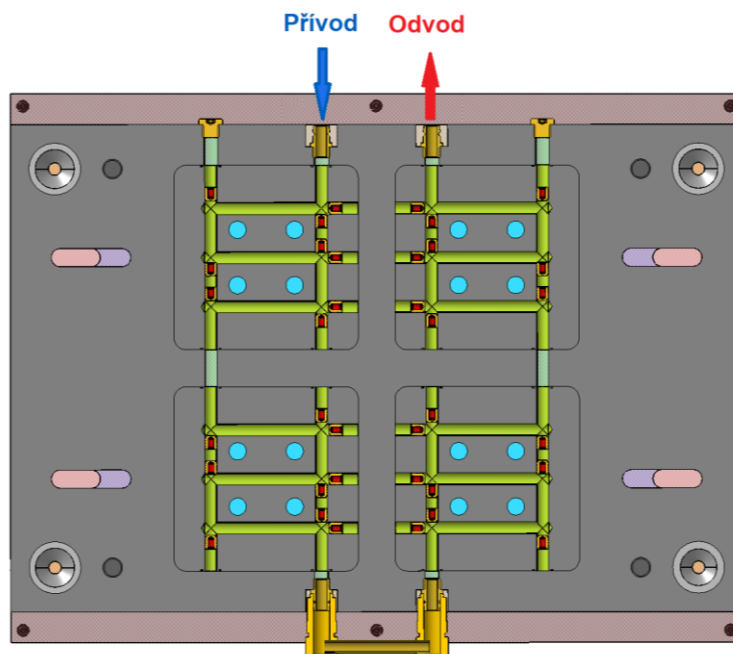
Obr. 37 Vyhřívavý vtokový systém HTM4

9.6 Temperační systém

Tvorba temperačního systému je závislá především na rozměrech stěny vstřikovaného výrobku, a je nutné uvažovat jeho rozmístění tak, aby se dutina formy temperovala co nejrovnoměrněji. Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně tlustostěnný výrobek byl zvolen průměr temperačních kanálků 10 mm. Temperační systém byl zhotoven na dva okruhy, z čehož jeden připadá na pohyblivou část formy a druhý na pevnou. Provedení systému je sériové, tedy se jedná o jeden lineární proud, který se nevětví. Temperační médium se tak sice bude postupně zahřívat, ale rozdíl teplot na vstupu a výstupu, by neměl dosahovat tak kritických hodnot, aby to ovlivnilo kvalitu vstřikovacího výrobku. Pro zmenšení rozdílu teplot temperačního média bylo do formy zakomponováno zásuvné přemostění se spojkou, které v určité části vede z vnějšku formy, kde v přechodovém kanálku dojde k mírnému ochlazení. K usměrnění proudění temperačního média byly použity válcové záslepky. Všechny zmíněné použité součástky jsou normalizované od firmy Meusburger, přičemž pouze v případě přemostění bylo zapotřebí zkrátit prodlužovací trubku na požadovaný rozměr.

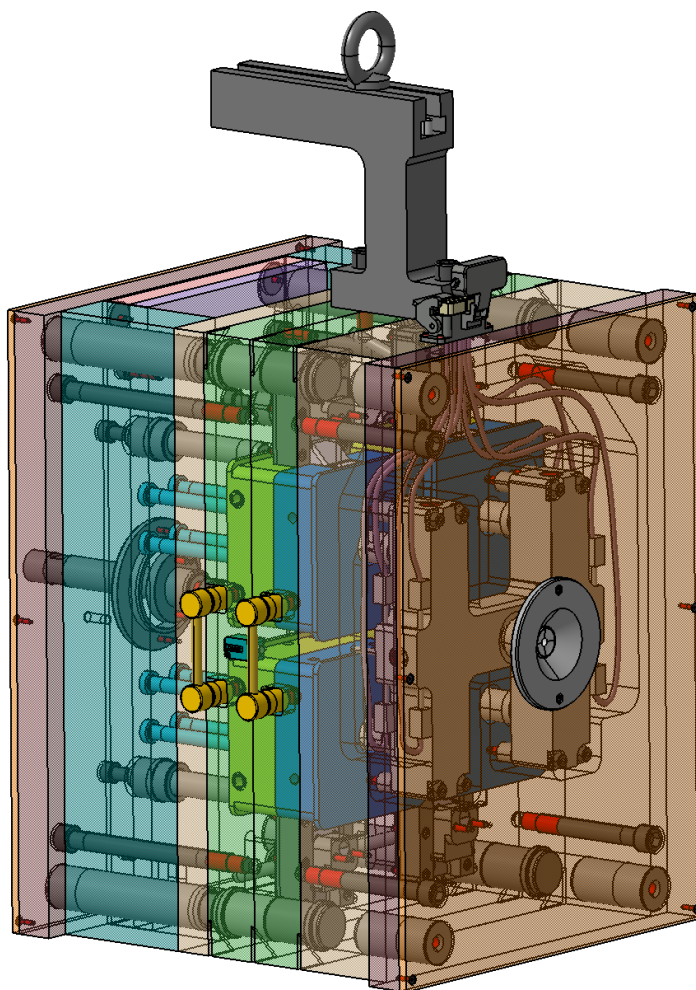
Obr. 38 *Temperační systém – pevná část*

Na obr. 38 je znázorněno provedení temperačního systému v pevné části formy pomocí řezu modelu v prostředí programu CATIA V5R20. Tvarová deska a tvárnice byly přebarveny na šedivou barvu, aby došlo ke zvýraznění kanálků, které jsou v tomto případě modře zbarvené. Nadále lze spatřit umístění záslepek a přechody mezi jednotlivými tvarovými vložkami. Stejně tak tomu je i na obr. 39, kde se jedná o pohyblivou část formy.

Obr. 39 *Temperační systém – pohyblivá část*

9.7 Stavba jednotlivých částí formy

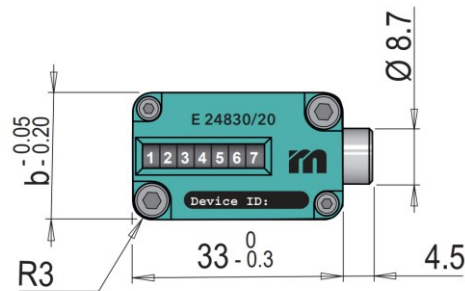
Sestavu celé formy lze rozdělit do tří částí. Těmi jsou pevná část formy, pohyblivá část formy a vyhazovací systém. Pevná a pohyblivá část musejí být pečlivě upnuty k deskám vstřikovacího stroje. Upínání může být mechanické, hydraulické nebo magnetické. V tomto případě byla navržena forma s přesahující upínací deskou, která je vhodná pro základní mechanické upnutí pomocí šroubů a upínek. Nadále je důležité zmínit, že s každou formou musí být umožněno bezpečně manipulovat, ve smyslu přemísťování a uskladňování.



Obr. 40 Model vstřikovací formy

Do formy je také možno zakomponovat různé typy přídavných zařízení nebo značek, které usnadňují práci zaměstnanci, jemuž je forma přiřazena, nebo operátorovi při skládání a optimálním nastavení vstřikovací formy. V tomto případě bylo do formy zakomponováno počítadlo cyklů s označením E 24830 od firmy Meusburger. Toto zařízení monitoruje činnost formy tak, že zaznamenává počet cyklů pomocí mechanického tlačítka, které při

stlačení otáčí čísly na sedmimístném displeji. Činnost formy je tak díky němu přehlednější a napomáhá při stanovení intervalů údržby.

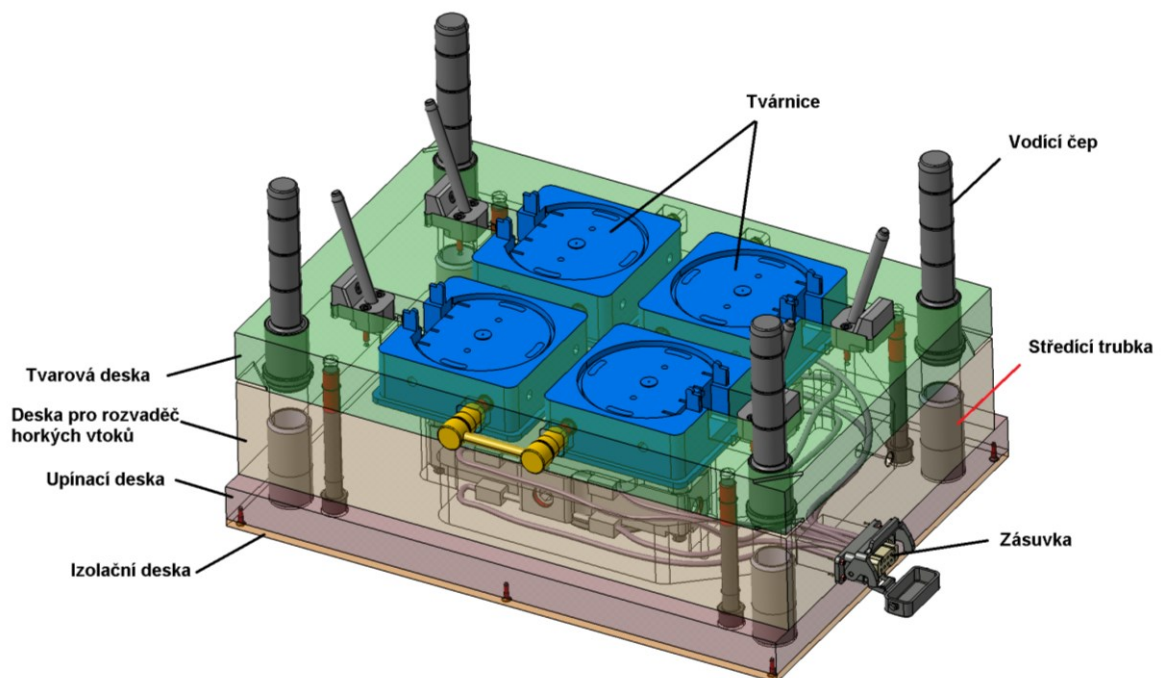


Obr. 41 *Mechanické počítadlo* [27]

Počítadlo musí být umístěno v jedné z tvarových desek, tak aby tlačítko procházelo dělicí rovinou. Díky tomu se při uzavření formy stlačí pomocí plochy protichůdné tvarové desky.

9.7.1 Pevná část formy

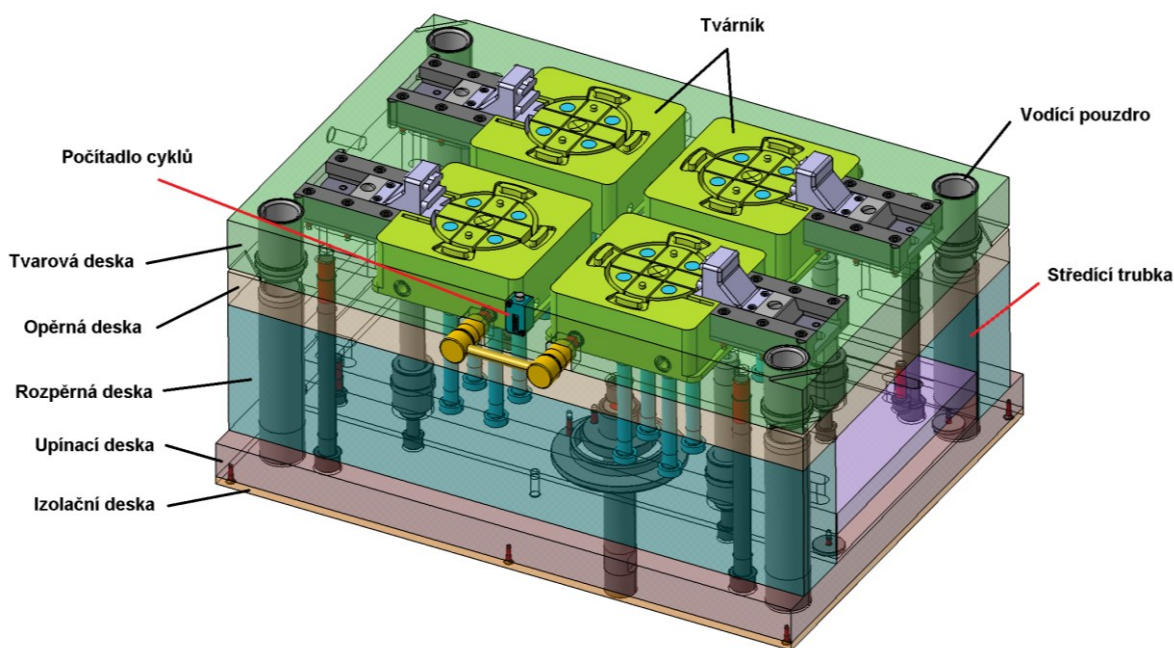
Pevná část formy je pevně spjata se vstřikovacím strojem pomocí upínací desky, přičemž musí být pečlivě vystředěna vzhledem k optimálnímu dosednutí trysky vstřikovací jednotky. Pevná část se skládá z izolační desky, upínací desky, desky pro rozvaděč horkých vtoků a desky tvarové, ze které vychází vodící čepy. Na obr. 42 je zobrazena pevná část z prostředí programu CATIA V5R20, kde lze vidět umístění jednotlivých komponent pevné části.



Obr. 42 *Pevná část formy*

9.7.2 Pohyblivá část formy

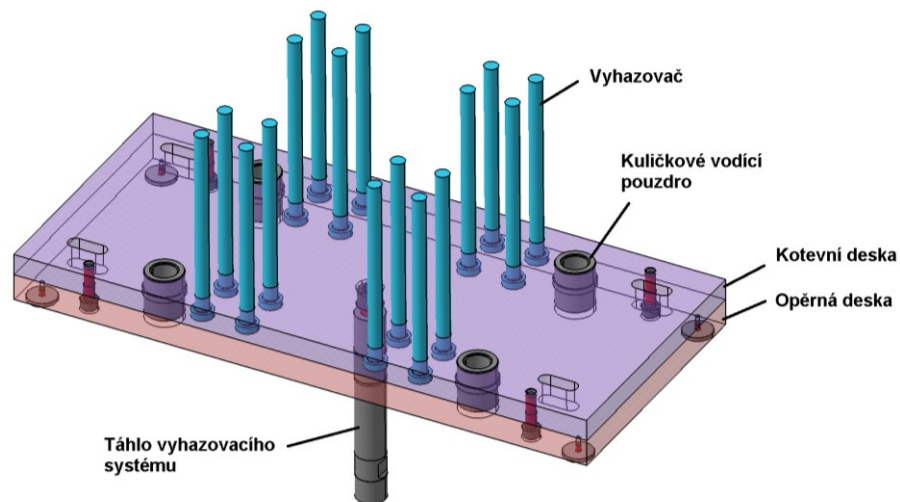
Pohyblivá část formy je kromě izolační, upínací a tvarové desky opatřena rozpěrnými deskami. Tyto desky tvoří prostor pro vyhazovací systém. Nadále je mezi rozpěrnými deskami a deskou tvarovou přidělena opěrná deska, která slouží především k upevnění tvárníků uložených v tvarové desce, a je opatřena drážkami pro vývod šikmých kolíků. Desky jsou spojeny zápusťnými válcovými šrouby, vedle kterých jsou v deskách umístěny pouzdra a středící trubky pro vodící čepy z pevné části formy. Na obr. 43 je kompletní zobrazení pohyblivé části, kde lze spatřit umístění jednotlivých součástí bočního odformování, pozice vyhazovačů v tvárníku a pozici počítadla cyklů.



Obr. 43 Pohyblivá část formy

9.7.3 Vyhazovací systém

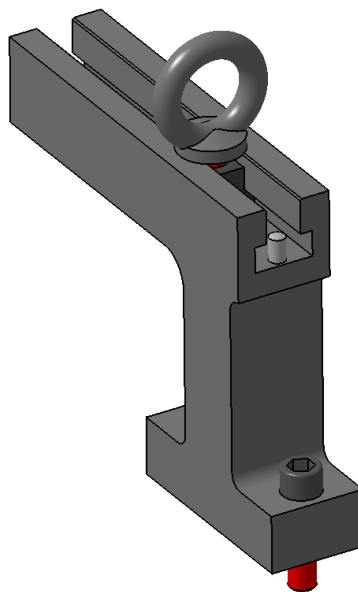
Vyhazovací systém se skládá z opěrné desky, kotevní desky, táhla, a vyhazovačů. Opěrná deska je opatřena dosedkami, které zabraňují dosednutí celou plochou opěrné desky na desku upínací a tvoří tak počáteční polohu vyhazovacího systému. Nadále je k opěrné desce připojeno táhlo vyhazovačů. To vykonává požadovaný zdvih vyhazovacího systému pro vyhození výrobku z dutiny formy. Pak jsou zde otvory s kuličkovými pouzdry pro vodící čepy vyhazovacího systému.



Obr. 44 Vyhazovací systém

9.7.4 Manipulace

V případě manipulace se vstřikovací formou bylo zvoleno přestavitelné transportní rameno E 1930 od firmy Meusburger. Transportní rameno je zhotoveno s drážkou, jejíž prostor je limitován kolíky. V tomto prostoru se pohybuje závěsné oko, které lze v požadovaném umístění zafixovat. Tento parametr byl stěžejní vzhledem k tomu, že těžiště formy se nacházelo těsně za dělicí rovinou, tedy nebyl prostor pro závit obyčejného závěsného oka. Nadále díky provedení manipulačního zařízení není třeba vstřikovací formu opatřit manipulačním zámkem, neboť podstava, která je upevněna šrouby k formě, sahá přes dělicí rovinu, a tak spojuje pevnou část s pohyblivou.



Obr. 45 Přestavitelné transportní rameno

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zhotovení návrhu konstrukce vstříkovací formy pro zadaný vstříkovaný díl, kterým v tomto případě byla součást průmyslové zásuvky. Forma i vstříkovaný díl byly vyhotoveny v prostředí programu CATIA V5R20.

Teoretická část této práce se zabývá základní problematikou technologie vstříkování, vstříkovacích strojů a základními pravidly při navrhování vstříkovaného výrobku.

V první kapitole praktické části je popsán vstříkovaný výrobek doplněn o obrázky modelu, jenž byl zhotoven v prostředí programu CATIA V5R20. Nadále byla do kapitoly zakomponována analýza nejvhodnějšího místa pro umístění ústí trysek, přičemž trysky byly umístěny na plochu výrobku s 99 % vhodností. Po zhotovení analýzy byla provedena simulace toku polymerní taveniny. Simulace byly provedeny skrze program Autodesk Moldflow Insight 2023 za přítomnosti vedoucího bakalářské práce. Druhá kapitola je věnována volbě vstříkovacího stroje. Vzhledem k parametrům, jak stroje, tak formy, byl zvolen vstříkovací stroj ALLROUNDER 570 S od firmy ARBURG. Závěrečná kapitola pojednává o samotné konstrukci vstříkovací formy a jejích důležitých součástech. Většina komponent je normalizována. Tyto normy byly pečlivě vybrány skrze katalog od firmy Meusburger a náležitě sestaveny v prostředí programu CATIA V5R20. V poslední řadě se z modelu plně sestavené formy zhotovila požadovaná technická dokumentace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [3] OLMSTED, A.B. a M. E. DAVIS. *Practical injection molding*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001. ISBN 0-8247-0529-7
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
- [5] GOODSHIP, Vannessa. *Practical Guide to Injection Moulding: 2nd Edition*. UK: Smithers Rapra, 2017. ISBN 978-1-91024-294-0.
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Verze knihy: 15. [Online]. Code Creator s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-66-3.
- [7] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů. I. díl, Vstřikování termoplastů. 2. vydání*. Brno: Uniplast Brno, 1999, 133 s.
- [8] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Munich: Hanser Publishers, 2007, xx, 423 s. ISBN 9783446412668.
- [9] KAZMER, David. *Injection mold design engineering. 2nd edition*. Munich: Hanser, 2016, xxiv, 529 s. ISBN 9781569905708.
- [10] STOKLASA, Karel. *Zpracovatelské inženýrství - I : základy gumárenské a plastikářské technologie*. Zlín: UTB Zlín, 2007. 107 s
- [11] KAMAL, Musa R., Avraam I. ISAYEV a Shih-Jung LIU, ed. *Injection molding: technology and fundamentals*. Munich: Hanser, c2009, xxviii, 926 s. Progress in polymer processing. ISBN 9781569904343.
- [12] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang (David) HSU. *Molding Simulation: Theory and Practice*. 2018. Mnichov: Hanser Publications. ISBN 978-1-56990-620-0.
- [13] AGASSANT, Jean-François, Pierre AVENAS, Pierre CARREAU, Bruno VERGNES a Michel VINCENT. *Polymer processing: principles and modeling*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2017, xli, 841 s. ISBN 9781569906057

- [14] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, [2019], xx, 450 s. ISBN 978-1-56990-590-6.
- [15] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 9788073002503.
- [16] CAMPO, E. Alfredo. *The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, c2006, xxi, 870 s. ISBN 1569903751.
- [17] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding injection molds*. Munich: Hanser, c2013, xii, 145 s. ISBN 9781569905272.
- [18] DANGEL, Rainer. *Injection moulds for beginners*. Munich: Hanser, [2016], xviii, 308 s. ISBN 9781569906316.
- [19] JONES, Peter. *The mould design guide*. Smithers Rapra Technology Limited, 2008. ISBN 978-1-84735-088-6
- [20] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 9788072048335
- [21] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů. II. díl, Vstřikování termoplastů*. Brno: Uniplast Brno, 1999, 214 s.
- [22] REES, Herbert a Bruce CATOEN. *Selecting injection molds: weighing cost vs productivity*. Munich: Hanser Publishers, 2006, x, 230 s. ISBN 1569903891.
- [23] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. [Online] Code creator s.r.o., 2016. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné na: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [24] ROSATO, Dominick V., Donald V. ROSATO a Marlene G. ROSATO, ed. *Injection molding handbook. 3rd ed.* Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, xxxi, 1457 s. ISBN 0792386191.
- [25] 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.

- [26] [https://www.rafo.se/s-serien/#iLightbox\[13bfa40ce65751f0e69\]/0](https://www.rafo.se/s-serien/#iLightbox[13bfa40ce65751f0e69]/0)
- [27] [GD_PG_\\$KT-DBL-F-ETEILE-\\$KP-EANB-\\$PG-E24830 #SDE_EN #APR #V1.indd \(meusburger.com\)](#)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

mm	Milimetr
cm	Centimetr
cm ³	Centimetr krychlový
g	Gram
kg	Kilogram
s	Sekunda
min	Minuta
°	Stupeň
°C	Stupeň Celsia
%	Procento
obr.	Obrázek
tab.	Tabulka
ČSN	Československá norma
HRC	Značení zkoušky tvrdosti dle Rockwella
ITT	Index toku taveniny
TPE	Termoplastický elastomer
PC	Polykarbonát
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
SBS	Styren-butadien-styren
GF	Skelná vlákna (Glass fiber)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 <i>Polymerace monomerů</i> [19]	12
Obr. 2 <i>a) semikrystalická struktura, b) amorfni struktura</i> [5]	13
Obr. 3 <i>Koláčové znázornění vstřikovacího cyklu</i> [10]	16
Obr. 4 <i>Vstřikovací cyklus v závislosti na čase</i> [8]	17
Obr. 5 <i>Procesní okno</i> [15]	17
Obr. 6 <i>Fontánový tok</i> [12]	18
Obr. 7 <i>Znázornění pole vektorů rychlosti fontánového toku</i> [11]	19
Obr. 8 <i>a) pravidelné plnění formy, b) přechodové plnění formy, c) jetting (tryskání)</i> [11]	20
Obr. 9 <i>Schéma vstřikovacího stroje</i> [8]	21
Obr. 10 <i>Cyklus vstřikovací jednotky a formy</i>	23
Obr. 11 <i>Schéma vstřikovací formy s jednou dělicí rovinou</i> [17]	25
Obr. 12 <i>Znázornění dělicí roviny</i> [18]	26
Obr. 13 <i>Boční odformování vstřikovaného dílu pomocí šikmého kolíku</i> [24]	28
Obr. 14 <i>Provedení studeného vtokového systému se simulací toku taveniny</i>	29
Obr. 15 <i>Schéma vtokové vložky při dosednutí vstřikovací trysky</i> [7]	30
Obr. 16 <i>Princip vyhřívání (horkého) vtokového systému</i> [17]	31
Obr. 17 <i>Běžné konfigurace vyhřívání vtokového ústí</i> [8]	32
Obr. 18 <i>Metody provedení temperačních kanálků</i> [17]	34
Obr. 19 <i>Schéma vyhazovacího systému</i> [17]	36
Obr. 20 <i>Vyhazovací kolíky</i> [5]	37
Obr. 21 <i>Trubkový vyhazovač</i> [19]	37
Obr. 22 <i>Znázornění jednoduché dělicí roviny (P/L – Parting Line)</i> [22]	41
Obr. 23 <i>Zakřivená dělicí rovina</i> [22]	41
Obr. 24 <i>Porovnání špatného proti optimálnímu provedení stěn vstřikovaného dílu</i> [16]	41
Obr. 25 <i>Optimální provedení hran vstřikovaného výrobku</i> [16]	42
Obr. 26 <i>Optimální geometrie průřezu žebra</i> [16]	43
Obr. 27 <i>Porovnání špatného proti optimálnímu provedení úkosů stěn vstřik. dílu</i> [23]	43
Obr. 28 <i>Model vstřikovaného dílu</i>	47
Obr. 29 <i>Znázornění sítě pro výpočet analýzy</i>	49
Obr. 30 <i>Analýza pro umístění trysek</i>	49
Obr. 31 <i>Simulace plnění dutiny formy</i>	50
Obr. 32 <i>Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 S</i> [26]	52
Obr. 33 <i>Znázornění dělicích rovin na modelu</i>	53
Obr. 34 <i>Pohled na pevnou část – násobnost formy</i>	54

Obr. 35 <i>Tvarové části formy</i>	55
Obr. 36 <i>Posuvný mechanismus</i>	56
Obr. 37 <i>Vyhřívaný vtokový systém HTM4</i>	57
Obr. 38 <i>Temperační systém – pevná část</i>	58
Obr. 39 <i>Temperační systém – pohyblivá část</i>	58
Obr. 40 <i>Model vstříkovací formy</i>	59
Obr. 41 <i>Mechanické počítadlo [27]</i>	60
Obr. 42 <i>Pevná část formy</i>	60
Obr. 43 <i>Pohyblivá část formy</i>	61
Obr. 44 <i>Vyhazovací systém</i>	62
Obr. 45 <i>Přestavitelné transportní rameno</i>	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní vlastnosti polymeru Xantar C CF 447	48
Tab. 2 Základní parametry vstřikovacího stroje ALRROUNDER 570 S.....	51
Tab. 3 Základní parametry vstřikovací formy	51

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list použitého polymeru

Příloha P II: Technický list stroje

Příloha P III: Náčrt vstřikovaného dílu

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST POUŽITÉHO POLYMERU

CAMPUS® Datasheet

XANTAR™ C CF 447 - (PC+ABS)-GF20 FR(40)...
Mitsubishi Engineering-Plastics Corporation



Product Texts

20% Glass Reinforced, Flame Retardant

ISO 1043 (PC+ABS)-GF20 FR(40)...

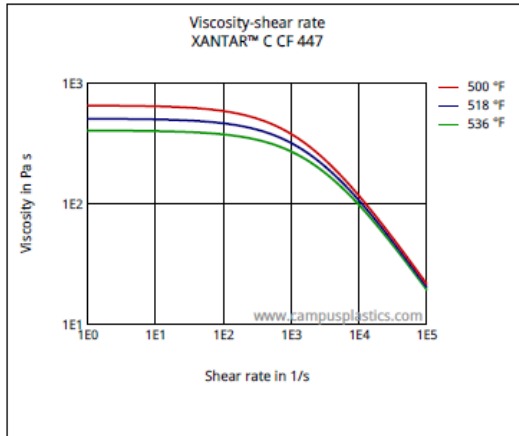
[XANTAR Polycarbonate & Blends, your global partner for innovative added value](#)

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	20	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	500	°F	ISO 1133
Load	11	lb	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	0.2	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.3	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus	696182	psi	ISO 527-1/-2
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	230	°F	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	248	°F	ISO 306
Burning behavior at 1.5 mm nominal thickness	V-0	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (1.5)	0.1	in	IEC 60695-11-10
Yellow Card available	Yes	-	-
Burning behavior at thickness h	V-0	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (h)	0.1181	in	IEC 60695-11-10
Yellow Card available	Yes	-	-
Oxygen index	32	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 1MHz	3	-	IEC 62631-2-1
Volume resistivity	>1E13	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	>1E15	Ohm	IEC 62631-3-2
Comparative tracking index	175	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	0.6	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.2	%	Sim. to ISO 62
Density	1340	kg/m ³	ISO 1183
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Density of melt	73	lb/ft ³	-
Thermal conductivity of melt	0.25	W/(m K)	-
Spec. heat capacity melt	1800	J/(kg K)	-
Eff. thermal diffusivity	1.2E-7	m ² /s	-
Ejection temperature	203	°F	-
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection molding, melt temperature	518	°F	ISO 294
Injection molding, mold temperature	158	°F	ISO 294

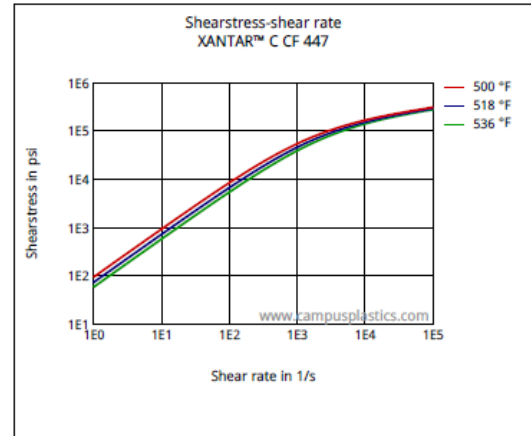
**XANTAR™ C CF 447 - (PC+ABS)-GF20 FR(40)...
Mitsubishi Engineering-Plastics Corporation**

Diagrams

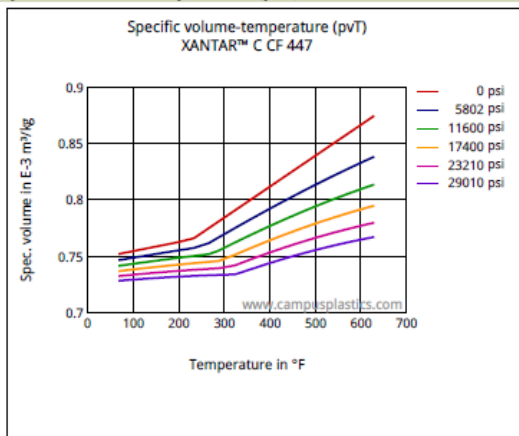
Viscosity-shear rate



Shearstress-shear rate



Specific volume-temperature (pVT)



Characteristics

Processing

Injection Molding

Additives

Release agent

Delivery form

Pellets

Regional Availability

Europe

Other text information

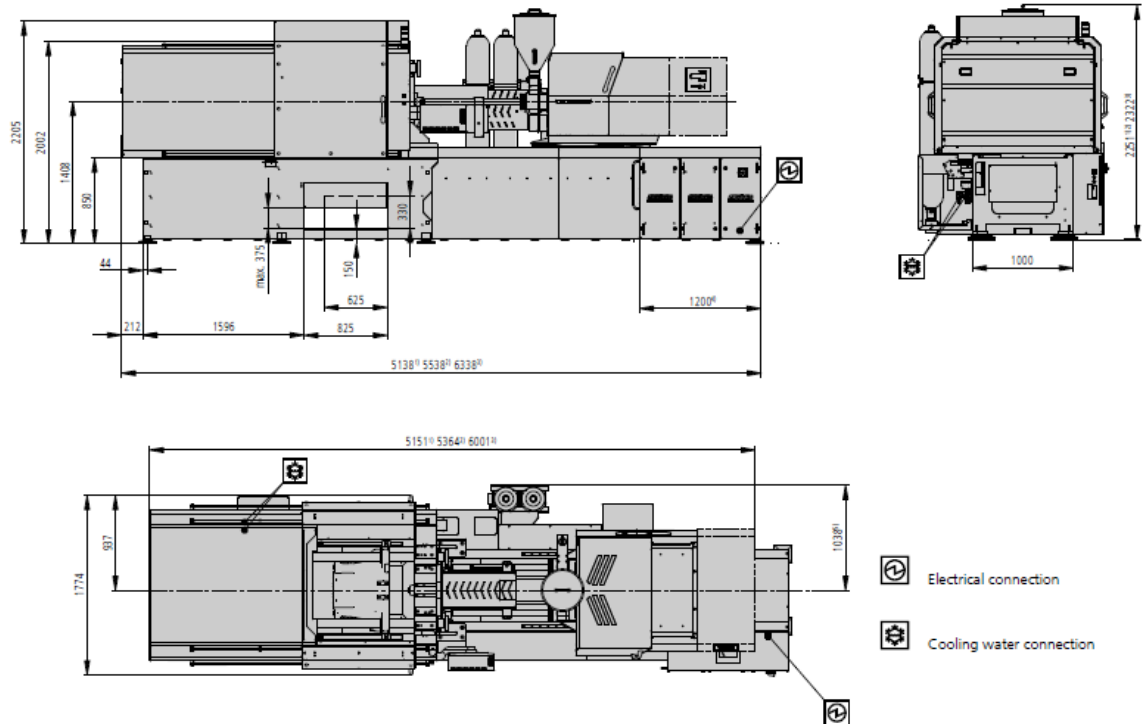
Injection molding

[Injection Molding Recommendations](#)

All information supplied by or on behalf of Mitsubishi Engineering-Plastics Corporation in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but Mitsubishi Engineering-Plastics Corporation assumes no liability and makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, those of title, merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement or any warranty arising from a course of dealing, usage, or trade

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST STROJE

MACHINE DIMENSIONS | 570 S



- 1) Injection unit 400
- 2) Injection unit 600
- 3) Injection unit 1300
- 4) Subject to performance variant and injection unit size
- 5) Accumulator

TECHNICAL DATA | 570 S

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

Injection unit			400			800			1300		
with screw diameter	mm		35	40	45	45	50	55	55	60	70
Effective screw length	L/D		23	20	18	22	20	18	22	20	17
Screw stroke	max. mm		160			200			240		
Calculated stroke volume	max. cm ³		154	201	254	318	392	474	558	664	904
Shot weight	max. g PS		141	184	232	291	359	434	510	607	826
Material throughput	max. kg/h PS		25	29	35	46	53	59	86	96	115
	max. kg/h PA6.6		12,5	15	17,5	23	27	30	43	48	58
Injection pressure	max. bar		2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470
Holding pressure	max. bar		2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	128	168	212	138	170	208	---	---	---
	2 pumps	max. cm ³ /s	128	168	212	138 174	170 214	208 260	238	284	388
	Accum.	max. cm ³ /s	492	642	814	530	656	792	714	848	1156
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	47	53	60	45	50	60	---	---	---
	2 pumps	max. m/min	52	60	67	45 54	50 60	55 66	40	43	51
	Accum.	max. m/min	16	19	21	15	17	19	19	21	25
Screw torque	max. Nm		480	550	610	880			1510	1640	1920
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm		60 400			70 400			90 550		
Heating capacity zones	kW		9,4 5			19,9 8			22,9 8		
Feed hopper	l		50			50			50		

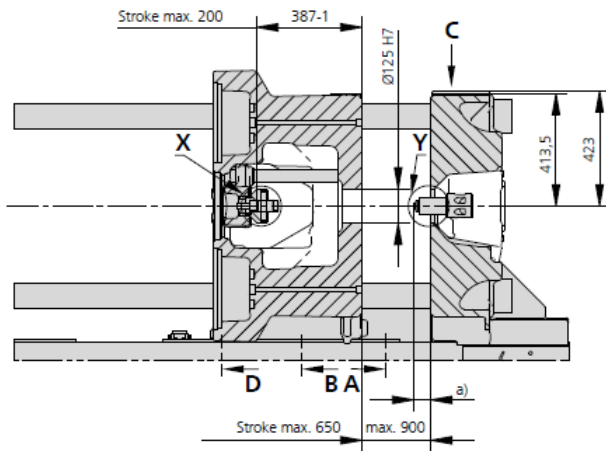
Drive and connection			1 pump			2 pumps			Accum.		
with injection unit			400	800		400	800	1300	400	800	1300
Net weight of machine	kg		8350	8650		8350	8650	9850	---	---	---
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)		70 3			70 3			70 3		
Oil filling	l		260			260	260	390	360	360	---
Drive power ²	max. kW		30	30		30	30	37	22	30	30
Electrical connection ³	kW		34	53		42	53	63	34	53	55
	Total	A	80	125		100	125	125	80	125	125
	Machine	A	---			---			---		
Cooling water connection	max. °C		25			25			30		
	min. Δp bar		1,5 DN 25			1,5 DN 25			1,5 DN 25		

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

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

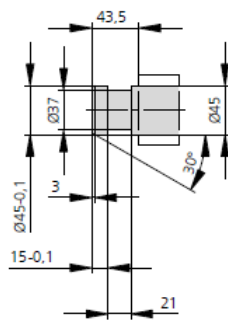
- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive config. - 1st value applies to the lowest clamping force.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- []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

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 570 S

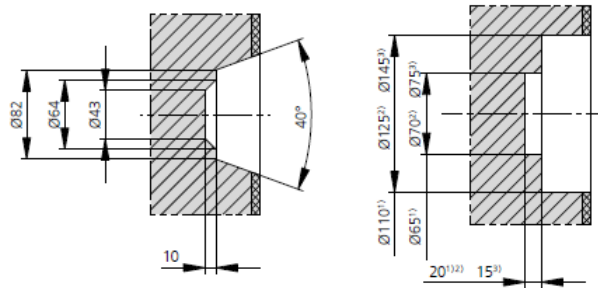


a max.	Injection unit	
	400 / 800	1300
Standard	50	60

Ejector bolt | X

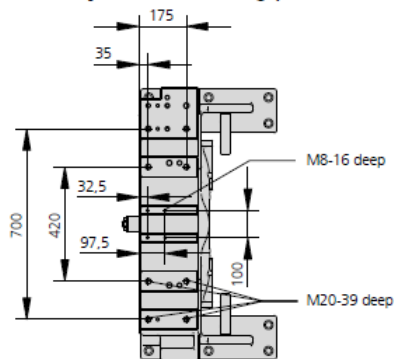


Bore in mould (if required) | Y



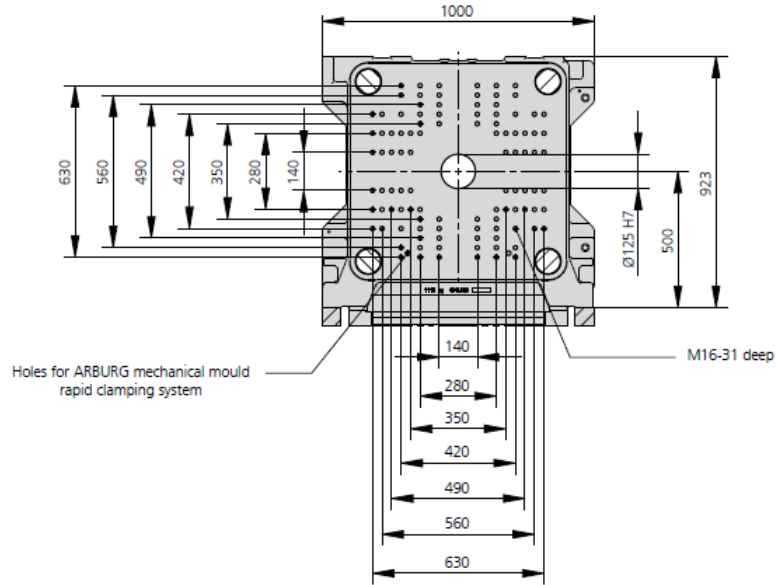
for injection unit 400⁽¹⁾ / 800⁽²⁾ / 1300⁽³⁾
Thermoset version

Robotic system mounting | C

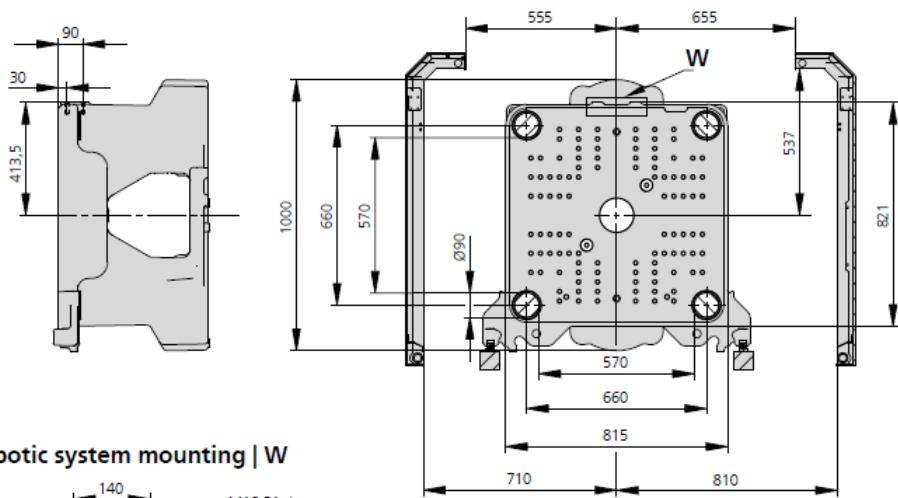


MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 570 S

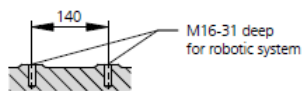
Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



Robotic system mounting | W



SHOT WEIGHTS | 570 S

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		400			800			1300		
Screw diameter	mm	35	40	45	45	50	55	55	60	70
Polystyrene	max. g PS	141	184	232	291	359	434	510	607	826
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	137	179	227	284	350	424	498	593	807
	max. g SAN, ABS ¹⁾	135	176	223	278	344	416	488	581	791
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	158	207	262	327	404	488	574	683	930
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	147	192	243	304	375	454	534	635	865
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	145	190	240	300	371	449	527	627	854
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	131	171	216	270	333	403	473	563	767
Polycarbonate	max. g PC	148	193	244	305	377	456	536	638	868
Polysulphone	max. g PSU	153	199	252	316	390	471	554	659	897
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	140	183	231	289	357	431	507	603	821
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	131	171	216	270	333	403	473	563	767
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	174	227	287	359	443	536	630	749	1020
Polyethylene terephthalate	max. g PET	167	219	277	346	427	517	607	723	984
Polyethylene	max. g PE-LD	106	139	176	219	271	328	385	458	624
	max. g PE-HD	110	143	181	227	280	339	398	473	644
Polypropylene	max. g PP	112	146	185	232	286	346	406	484	658
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	225	294	372	465	574	695	816	971	1322
	max. g ETFE	196	256	324	408	504	609	716	852	1160
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	170	222	281	351	434	525	616	734	998
	max. g PVC-P ¹⁾	157	205	260	324	401	485	569	678	922

1) average value

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

680126_EN_GB_092022 - Subject to alterations

PŘÍLOHA P III: NÁČRT VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

