

Konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl motoru včetně simulace funkčnosti

Bc. Daniel Dokoupil

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel Dokoupil**
Osobní číslo: **T18708**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl motoru včetně simulace funkčnosti**

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma
2. Provést 3D konstrukci modelu zadaného dílu
3. Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl
4. Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem
5. Provést analýzu funkčnosti procesu vstřikování

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vydání ? Praha: BEN ? technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.

OSSWALD, T. A. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. 764 s. ISBN 978-3-446-40781-7.

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou 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 diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:
10. 5. 2020

Jméno a příjmení studenta:
Daniel Dokoupil

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vstřikování, konstrukcí forem a simulací funkčnosti procesu vstřikování.

Teoretická část je rozdělena do tří hlavních kapitol. První část je zaměřena na polymery s převážným zaměřením na vstřikování termoplastů. Další část, vzhledem k modelovanému dílu, se zabývá aplikací plastů v automobilovém průmyslu. Poslední sekce teoretické části je stručné popsání konstrukcí forem.

Praktická část se zabývá návrhem konstrukcí formy na zadaný plastový díl, jímž je příruba chladiva. Jak 3D model výstřiku, tak i samotný návrh sestavy formy, proběhl v softwaru CATIA V5R20. Pro ověření funkčnosti procesu vstřikování navržené formy byl použit software Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: technologie vstřikování, vstřikovací forma, toková analýza, simulace, CATIA V5, Moldflow.

ABSTRACT

The master's thesis deals with plastic injection, mould design and functional simulation of plastic injection process.

Theoretical concept is divided into three main chapters. The first part is focused on the polymers with plastic injection in detail. The next part, in respect of the designed part, looks at the application of plastic material in automotive industry. The last section of the background research describes mould design in brief.

The practical part dealt with the design of mould construction for mandated plastic part, which is a coolant flange. Both the 3D model injection and the design of mould construction have been done in CATIA V5R20. Functional verification of an injection process for the designed mould have been done in Autodesk Moldflow Synergy 2016 software.

Keywords: injection molding technology, injection mold, flow analysis, simulation, CATIA V5, Moldflow.

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Martinovi Ovsíkovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, jenž mi napomáhaly při zhotovení této diplomové práce. Dále za milou spolupráci a čas, který mi ochotně věnoval.

Poděkování patří také ostatním zaměstnancům Fakulty technologické Univerzity Tomáš Bati ve Zlíně, za jejich vstřícnost a ochotu v průběhu studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY.....	12
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	13
1.1.1 Základní rozdělení plastů vhodných pro vstřikování	14
1.2 POLYMERY AMORFNÍ A SEMIKRYSTALICKÉ Z HLEDISKA VSTŘIKOVÁNÍ	14
1.3 CHARAKTERISTICKÉ TEPLoty POLYMERŮ.....	16
1.4 PŘÍSA DY OVLIVŇUJÍCÍ ZPRACOVATELNOST TAVENIN	18
1.4.1 Stabilizátory	18
1.4.2 Plastifikátory	18
1.4.3 Lubrikanty, nukleační činidla a antistatika	18
1.4.4 Retardéry hoření.....	19
1.4.5 Barviva a pigmenty	19
1.4.6 Plniva.....	20
1.5 SMRŠTĚNÍ TERMOPLASTŮ	21
1.5.1 Výrobní smrštění	21
1.5.2 Dodatečné smrštění	23
1.5.3 Možnost snížení smrštění	24
2 PLASTY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....	25
2.1 NAHRAZOVÁNÍ KOVOVÝCH DÍLŮ PLASTOVÝMI	25
2.2 TECHNICKÉ VLASTNOSTI DÍLŮ	26
2.2.1 Odolnost vůči hořlavým kapalinám	26
2.3 KONTROLA KVALITY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ.....	27
2.3.1 Optická kontrola.....	27
2.3.2 Kontrola rozměrů, tvarů a montážních prvků	28
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	30
3.1 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE VÝSTŘIKŮ Z TERMOPLASTŮ	32
3.1.1 Konstrukce výstřiku	32
3.1.2 Násobnost formy	33
3.2 VTOKOVÝ SYSTÉM	34
3.2.1 Studené vtokové systémy	34
3.2.2 Vyhřívané vtokové systémy	37
3.3 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	39
3.3.1 Konstrukce temperačního systému	39
3.4 VYHAZO VACÍ SYSTÉM	41
3.4.1 Mechanické vyhazování.....	42
3.4.2 Vzduchový vyhazovač	43

3.5	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
4	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
5	POUŽITÝ SOFTWARE	47
6	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	48
7	KONSTRUKCE FORMY	50
7.1	VOLBA NÁSOBNOSTI FORMY	52
7.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	52
7.3	ODFORMOVÁNÍ.....	54
7.4	VTKOVÝ SYSTÉM	56
7.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	57
7.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	59
7.7	ODVZDUŠNĚNÍ.....	61
7.8	OSTATNÍ KOMPONENTY	61
8	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	65
9	ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	66
9.1	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKU (GATE LOCATION)	66
9.2	NASTAVENÍ ANALÝZY	67
9.2.1	Procesní podmínky.....	68
9.3	VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU (FLOW)	70
9.3.1	Čas plnění (Fill time)	70
9.3.2	Tlak v místě vstřiku (Pressure at injection location: XY plot).....	71
9.3.3	Uzavírací síla (Clamp force: XY Plot).....	71
9.3.4	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temper.)	72
9.3.5	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)	72
9.3.6	Vzduchové kapsy (Air traps)	73
9.4	VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE (COOL).....	73
9.4.1	Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature).....	73
9.4.2	Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)	74
9.4.3	Tlak temperačního média (Circuit pressure).....	75
9.4.4	Průtok temperačního kanálu (Circuit flow rate).....	75
9.4.5	Reynoldsovo číslo temperace (Circuit Reynolds number).....	76
9.5	VÝSLEDKY ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE (WARP).....	77
9.5.1	Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection).....	77
9.5.2	Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling: Deflection).....	77

ZÁVĚR	79
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	80
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	84
SEZNAM OBRÁZKŮ	86
SEZNAM TABULEK.....	88
SEZNAM PŘÍLOH.....	89

ÚVOD

Lidskou společnost obklopují makromolekulární látky odjakživa. Ze začátku se jednalo pouze o přírodní polymer, neboť rozvoj syntetických polymerů nastal až okolo dvacátého století. Avšak některé polymerní materiály byly známy a využívány již dříve.

Začátek technologie vstřikování plastů je spjatý se jménem John Wesley Hyatt a jeho bratrem roku 1870 v USA. Rozvoj vstřikování nastal až o mnoho let později, konkrétně po 1. světové válce. První komerční vstřikovací stroj se dostal do prodeje roku 1926 díky německé firmy. První šneková plastikace, jak je v dnešní době známa, se vynalezla v roce 1951, a tím nahradila pístovou. V roce 1983 firmy Netstal a Battenfeld prezentují plně automatizované vstřikování.

Technologie zabývající se vstřikováním plastů, dosáhla velkého rozvoje převážně v druhé polovině 20. století. Díky požadavku na vysokou kvalitu, přesnost rozměrů a velký počet dílů má proces vstřikování převážné zastoupení v automobilovém a elektronickém průmyslu. Tato perspektiva nadále roste s dobou.

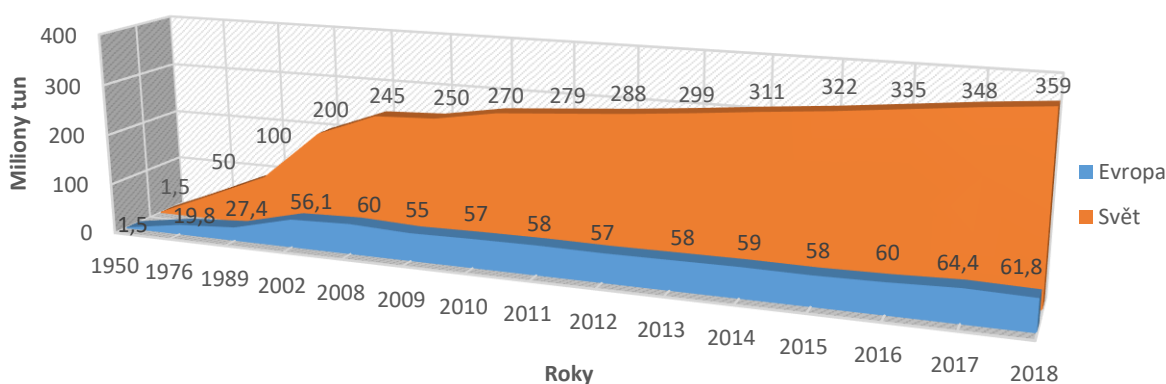
Návrh 3D designu výrobku a samotné formy probíhá v prostředí softwaru CATIA . Tento CAD systém byl vyvinut již v roce 1977 pod názvem CATI. Dnes je nejpoužívanější verze v průmyslu vstřikování V5, která vznikla roku 1998 a prošla si významnými updaty.

Pro zdokonalení kvality, urychlení celého procesu a snížení ceny při konstrukčním návrhu vstřikovací formy je používán simulační software. Již ve fázi návrhu dílu jsou kontrolovány atributy, zda v sobě neskrývají překážky pro výrobu konkrétního dílu technologií vstřikování. Analýza ve 3D slouží k co nejpřesnějšímu přiblížení reálné situace, a tím k dosažení finančních a časových úspor.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Z chemického hlediska se jedná o látky organického, přírodního nebo syntetického původu. Strukturní část polymeru obsahuje obrovské molekuly tzv. makromolekuly. V nich se jako článek v řetězu opakuje základní konstituční jednotka mer. Menší množství spojených merů se nazývá oligomer a velké množství polymer. Většinou se jedná o atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často pak i dusíku a ostatních prvků. Finální tvar výrobku je prakticky v tuhém stavu, ale v průběhu zpracování se polymery mění až do takřka kapalného stavu. Změna je zapříčiněna teplotou, tlakem a druhem zpracováním. [1, 2, 4]



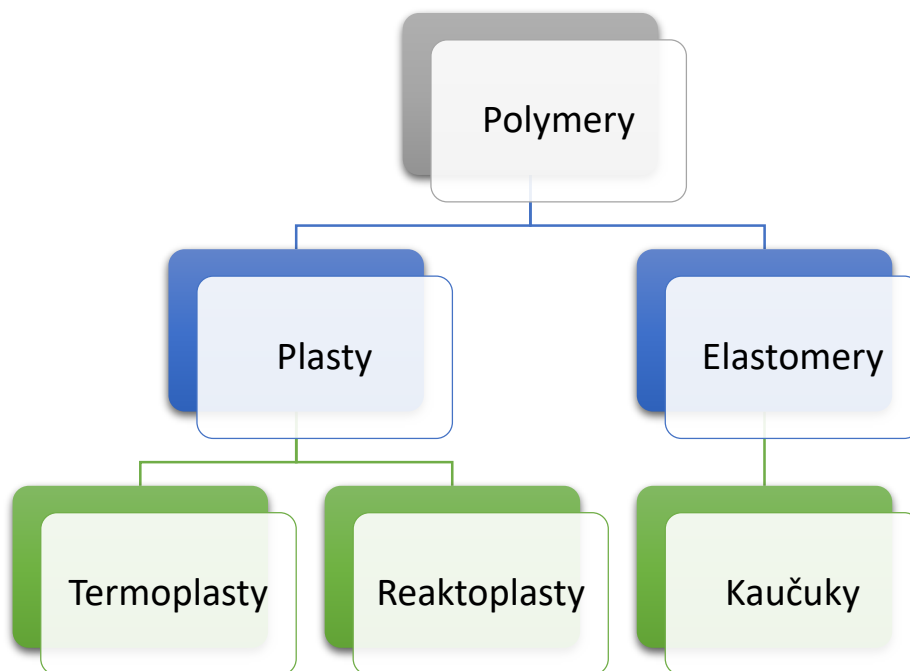
Obr. 1. Vývoj produkce polymerů od roku 1950

Na Obr 1. je zobrazena celková celosvětová produkce plastů od roku 1950 až do roku 2018. Podle portálu Statista.com bylo v posledním analyzovaném roce vyprodukováno 359 milionů tun polymerů. V tentýž roce pocházelo 30 % veškerého plastu z Číny, oproti 17 % z Evropy. [3, 5]

Součástí produkce polymerů je velmi důležitá jejich recyklace. Pro poslední analyzovaný rok z Obr. 1. bylo zaznamenáno, že 9,4 milionů tun se sesbíralo a zrecyklovalo. Toto je jeden z faktorů, proč i přes stále větší poptávku je schopno průmyslové odvětví produkovat přibližně stejný počet „nových“ polymerů, jak od roku 2008. [3]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymerů můžeme dělit podle různých kritérií, avšak základní rozdělení tvoří plasty a elastomery.

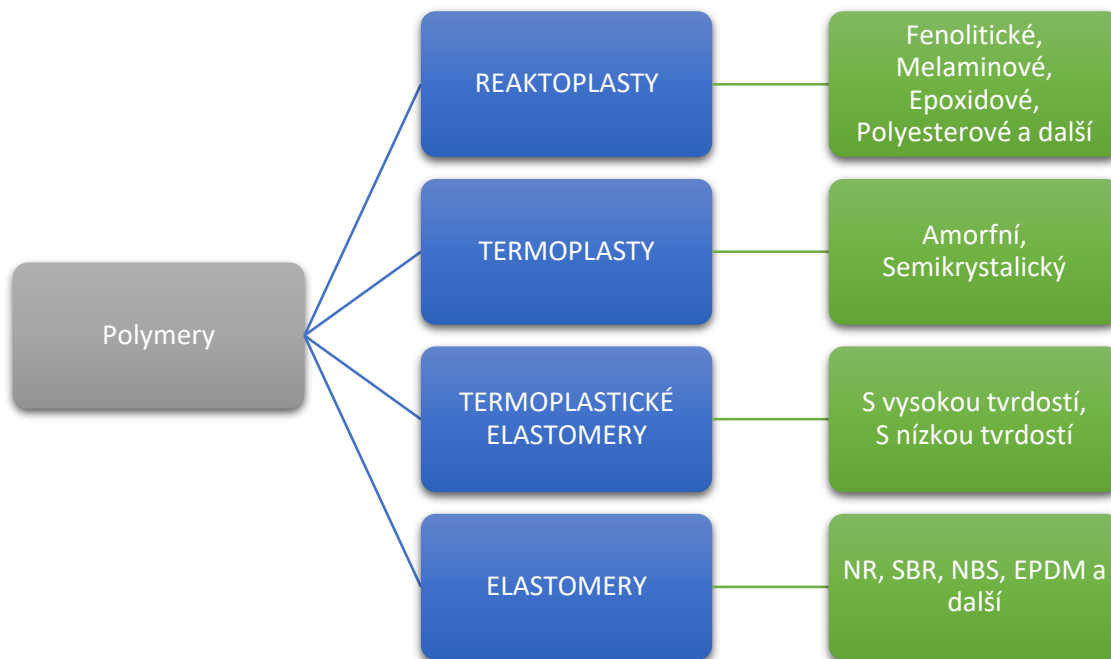


Obr. 2. Základní rozdělení polymerů

Plasty – při běžných podmínkách se jedná o tvrdý materiál, často i křehký. Při jejich zpracování se stávají plastické a tvarovatelné, za pomoci teploty a tlaku. Pokud materiál je schopen opakovaně se dostat ze stavu pevného do plastického, tak se hovoří o termoplastu. Druhý případ je ten, že materiál není schopen přejít vícekrát z pevného do plastického stavu, tudíž se jedná o reaktoplast.

Elastomer – jedná se o vysoce elastický polymer, který malou silou můžeme značně deformovat bez porušení. Tato deformace je převážně vratná. Největší podskupinou je pryž (guma). [2]

1.1.1 Základní rozdělení plastů vhodných pro vstřikování



Obr. 3. Základní rozdělení plastů vhodných pro vstřikování

Reaktoplasty jsou jednou ze skupiny plastů s pevně propojenými řetězci, vytvářející síť. Řetězce nelze teplotním vlivem rozpojit.

Termoplasty se liší oproti předchozím reaktoplastům jednou zásadní vlastností. Mají schopnost opětovné transformace do taveniny za působení tepla.

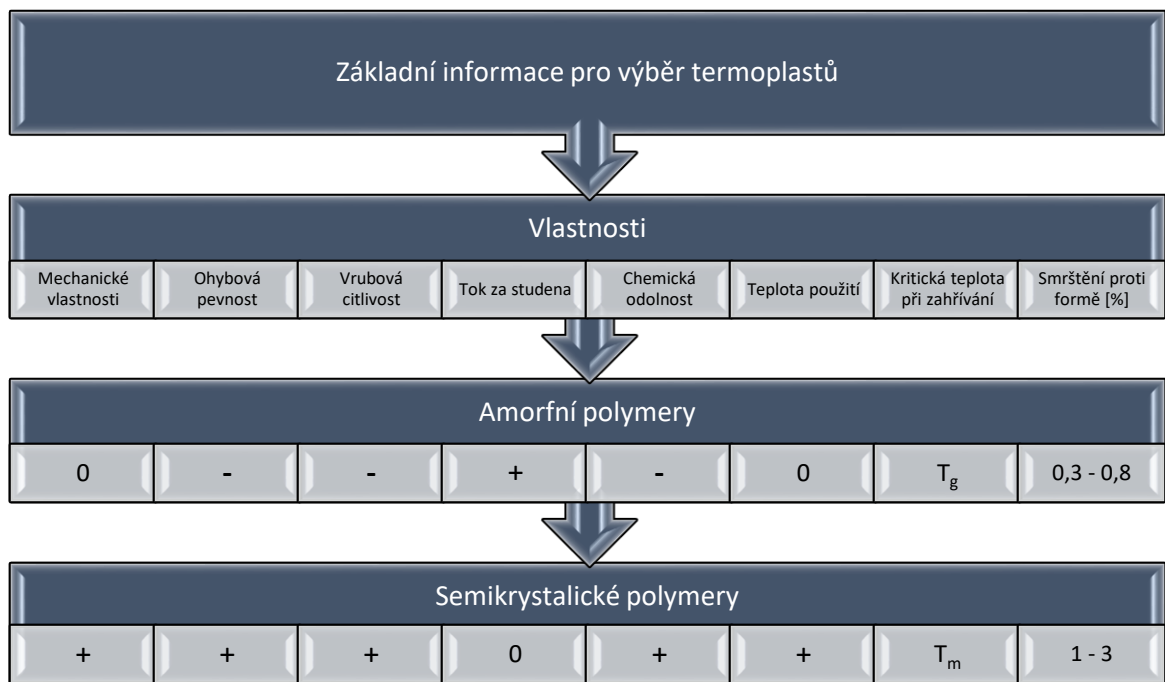
Elastomery jsou materiály, které mají mezi řetězci spoje, jenž jsou aktivovány teplem → tzv. vulkanizací. Řetězce mohou vykazovat pohyb okolo spoje.

Termoplastické elastomery jsou materiály, v kterých jsou elastické polymerní řetězce (zvulkanizované) vloženy do polymerní matrice. Vložení není chemické povahy, nýbrž pouze fyzikální. [10]

1.2 Polymery amorfní a semikrystalické z hlediska vstřikování

Z hlediska vstřikování mají termoplasty výhodu jak ekonomickou, tak ekologickou. Při tomto technologickém procesu je velmi důležité rozdělení termoplastů na amorfní a semikrystalické, neboť stavy při jejich zahřívání a následném vstřikování jsou rozdílné. Rozdíl zde dokonce i upozorovat na finálním výrobku. Počet výrobků z amorfních plastů je větší

než ze semikrystalických, ale pro technicky náročné aplikace je tento stav opačný a blíží se až k poměru 3:1. [6]



Legenda: + výhodnější (lepší), - méně výhodné (horší), 0 průměrné (stejně)

Obr. 4. Základní informace pro výběr termoplastů

Amorfní termoplasty – typickým znakem většiny druhů (např. PC, PS, SAN, PMMA) je jejich transparentní chování. Na Obr. 4. lze vidět jejich přednosti a nedostatky. Typickým znakem je jejich nízké smrštění, a to pod 1 % proti tvarové dutině vstřikovací formy. Z technologického a aplikačního hlediska je zásadní teplota skelného přechodu → T_g . Podle této teploty dochází k vyjmutí výstřiku z formy a limituje teplotní hranice použití výrobku. Pro technologii vstřikování je používáno přibližně 20 % z celkového množství amorfních termoplastů. Dominantní složku tvoří PMMA a PC, a to v aplikaci světelné techniky, neboť disponují vynikajícími optickými a mechanickými vlastnostmi. [6]

Semikrystalické termoplasty – hlavní rozdíl oproti amorfním je ten, že semikrystalické termoplasty (např. PP, PA, PE, PBT, POM a další) mají schopnost vytvářet krystalickou strukturu. V závislosti na chemické stavbě a podmínkách vstřikování, je možnost dosáhnout až 80 % krystalického podílu. Mezi dominantní vlastnosti patří pevnost, tuhost, houževnatost a první řadě jsou ovlivněny teplotou formy. Zatímco teplota T_g je u amorfních termoplastů

velmi významná, u semikrystalických termoplastů nehraje velkou roli. Zde je důležitá teplota bodu tání krystalického podílu $\rightarrow T_m$. Výstřiky z těchto polymerů jsou převážně určeny na výrobky mechanicky namáhané. [6]

Tab. 1. Rozdílné chování amorfních a semikrystalických polymerů při procesu vstřikování

Parametry proc. vstřikování	Amorfní polymer	Semikrystalické polymery
Významná teplota procesu	teplota zeskelnění T_g	bod tání krystalického bodu T_m
Oblast aplikačního použití dílů	pod T_g	nad T_g , pod T_m
Zatuhnutí taveniny ve formě	ochlazení pod T_g	krystalizací pod T_m
Viskozita taveniny	velmi závislá na teplotě	málo závislá na teplotě
Doba plastikace	neovlivňuje dobu vstřik. cyklu	důležitá pro dobu vstřik. cyklu
Dotlak	závisí na čase	může být konstantní v čase dotlaku
Doba chlazení	dlouhá	závisí na rychlosti krystalizace (kratší)
Nejzávažnější vady výstřiku	vnitřní pnutí, propadliny	tvorba lunek, rozměrová nepřesnost

Termoplastické elastomery - významnou skupinu polymerů tvoří termoplastické elastomery. Vznikají mísením základních polymerů (např. PP, PA) s elastomerní složkou (např. NR, EPDM), anebo kopolymerací (např. polyeteramidy, kopolyestery, etylenvinylacetát). Po značném rozvoji těchto polymerů došlo k možnosti připravit směs takřka z jakékoliv kombinace výchozích polymerů. Termoplastické elastomery nemají vlastnosti síťovaných elastomerů, avšak disponují velkou výhodou snadného vstřikování na vstřikovacím stroji pro termoplasty. Výstřiky z termoplastických elastomerů jsou např. z materiálu TES (Multiflex), TPE na bázi polyolefinů (Santoprene), EVA (kopolymer etylenvinylacetát), PE/EPDM. [6]

1.3 Charakteristické teploty polymerů

Nejen v polymerech, nýbrž ve všech materiálech, částice konají různé pohyby. Intenzita s amplitudou je úměrná okamžité teplotě. Tento pohyb je označován jako „mikrobrownův pohyb“. V polymerních materiálech se pohybují části řetězce, nazývané segmenty.

Při navyšování teploty je pohyb různorodější a dochází k výrazné změně vlastností. Změny jsou spjaté s charakteristikou teploty.

Teplota, při níž dojde ke změně z křehkého sklovitého chování na viskoelastické, je označována T_g – teplota skelného přechodu. Při T_g intenzita převýší mezimolekulární síly a segmenty se začínají pohybovat.

Narůstající teplota zvyšuje amplitudu pohybu segmentů a obzvlášť při působení vnějších sil, se celé řetězce pohybují, tzv. dochází k toku. Teplota změny je označovaná jako T_f – teplota tečení. Ovšem tato teplota není ve všech polymerních materiálech. Nachází se pouze u amorfních polymerů. Po překročení T_f se amorfní polymery nacházejí ve stavu viskózní taveniny.

V krystalické fázi se segmenty při zvyšování teploty nepohybují. Jsou zde mnohonásobně větší mezimolekulární síly. K poruše těchto sil dojde až při dalším zvýšení teploty, kdy se pravidelná krystalická struktura rozpadne na viskózní taveninu. Teplota této změny se nazývá T_m – teplota tání krystalického podílu, neboť žádný skutečný polymer se nedokáže krystalizovat na 100 %. Proto jsou označeny jako semikrystalické¹⁾ (částečně krystalické polymery) a obsahují v mezimolekulární struktuře amorfní části.

Při posledním a nejvyšším zvyšování teploty dochází k rozpadu řetězců na fragmenty, což má za následek destrukci polymeru. Tato teplota se nazývá T_c – teplota rozkladu polymeru. [10]

¹⁾ viz. kapitola 1.2

1.4 Přísady ovlivňující zpracovatelnost tavenin

Polymery nelze ihned aplikovat na výrobu výstřiků. Pro dosažení ideálních vlastností ke zpracování je zapotřebí přidat vhodná aditiva. Nejčastěji lze hovořit o přísady pro:

- zlepšení tokových vlastností taveniny, dobrá zatékavost, nelepivost taveniny a snadné vyjmutí výrobku z formy (aplikování maziva přímo do materiálu),
- vyšší stabilitu taveniny po čas prodlevy v plastikační jednotce (tepelné a termooxidační stabilizátory),
- dosažení jemné krystalické struktury u semikrystalických materiálů (nukleační činidla). [10]

1.4.1 Stabilizátory

Stabilizátory lze rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou termooxidační stabilizátory, které se aplikují za účelem zvýšení odolnosti k termooxidačnímu stárnutí. Konkrétně to znamená zvýšení teplotní hranice a času použité taveniny, vstříkované z plastikačního válce do dutiny formy.

Druhá skupina těchto přísad jsou UV stabilizátory. Ty mají za úkol prodloužit životnost výstřiku díky zvýšené odolnosti proti atmosférickým podmínkám, a to tak, že část spektra absorbují. Kritérium UV stabilizátoru zní, že nesmí propouštět světlo o vlnové délce 300 – 400 nm. [10]

1.4.2 Plastifikátory

Hojně známé také pod názvem změkčovadla. Aplikací dojde k snížení tuhosti, tvrdosti a při zchladnutí polymerního výrobku k zvýšení ohebnosti, tažnosti a houževnatosti. U termoplastů dojde k ponížení viskozity taveniny a snížení T_g . Mezi nejčastější přísady patří estery, ftaláty, kyseliny citrónové, anebo nízkomolekulární polyethylenglykoly. [10, 19]

1.4.3 Lubrikanty, nukleační činidla a antistatika

Lubrikanty, taktéž známe, jako maziva mají schopnost snižovat viskozitu taveniny, zlepšují odformování a také navyšují lesk výstřiku.

Nukleační činidla jsou určena ke zkrácení výrobního cyklu nebo ke zvýšení transparentnosti, pomocí modifikace rychlosti krystalizace.

Antistatika se aplikují při potřebě snížení elektrostatického nápoje, který vzniká zejména z důsledku tření termoplastů, neboť mají elektricky nevodivý charakter. [10]

1.4.4 Retardéry hoření

Jako většina materiálů, tak i samotný polymer je hořlavý. Proto je u některých plastů zapotřebí preventivní opatření proti hořlavosti, kterého se dosáhne aplikací příměsí retardéru hoření. Účinkují, až při použití větší koncentrace (5 až 30 %), proto ovlivňují nejen hořlavost, nýbrž i zpracovatelské (výdrž taveniny na teplotě) a užité vlastnosti. K nehořlavosti také přispívají i plniva anorganického původu. [10]

1.4.5 Barviva a pigmenty

Barevný odstín získávají polymerní materiály pomocí použití barviv a pigmentů. Jsou nerozpustné a dělí se dle původu na organické, anorganické a kovové prášky. Zároveň mohou působit jako nukleační činidla¹⁾. Při aplikaci různých barviv na stejný polymer může vzniknout různě velké smrštění výstřiku, neboť se zde projeví účinek právě zmiňovaného nukleačního činidla. Aplikace barviv a pigmentů může být u výrobce při výrobě vstřikovaného materiálu nebo přímo na vstřikovacích strojích u zpracovatelů granulátů.

Základ barevného koncentrátu je tzv. nosič. Je to plast, který obsahuje dvacetkrát až stokrát více barviv a pigmentů než původní polymer. Barevný koncentrát je dostupný buď v univerzálních nosičích, anebo je namíchán a zgranulován přímo na polymer, který má schopnost obarvovat (výhodnější – nejsou ovlivněny vlastnosti vstřikovaných dílů).

Hlavní požadavek na barevný koncentrát je jeho teplotní stálost. Zpravidla anorganické pigmenty mají lepší teplotní stálost než organické. Nejmenší odolnost má žlutá a červená barva. Mezi další požadavky lze zařadit světelnou stálost (odolnost vůči UV záření), zdravotní nezávadnost a povětrnostní stálost. [10, 20]

¹⁾ Nukleační činidla poskytují polymerům vyšší teplotu krystalizace, vytvářejí větší počet malých sférolitů, které zlepšují tuhost, ohybový modul, optické a mechanické vlastnosti.

1.4.6 Plniva

Polymerní materiály, které v sobě obsahují plniva, se označují za kompozitní. Definice těchto materiálů je jednoznačná, neboť se jedná o materiálovou strukturu, která je složena ze dvou nebo více materiálů zcela odlišných vlastností. Použitá plniva jsou částicová, vyztužující a nanoplňiva. [10]

Částicová plniva zpravidla zvyšují viskozitu taveniny, tuhost, tvrdost a tepelnou odolnost vstříkovaného dílu a snižují velikost smrštění. Patří zde minerální plniva o různém tvaru a velikosti. Speciální typy zlepšují kluzné vlastnosti (např. grafit, MoS_2) nebo snižují povrchový a vnitřní izolovaný odpor (např. grafit, bronzový a hliníkový prach, uhlíková vlákna). Koncentrace částicových plniv je zcela odlišná podle situace. Pohybuje se od malého obsahu → pod 1 hmotnostní procento, až po vysoký obsah → 60 a více hm %. Mezi představitele těchto plniv lze zařadit talek, kaolin, vápenec, perlit, živec, koks, saze a další. Zároveň mohou působit jako pigment a retardér hoření (saze).

Vyztužující plniva v kompozitu také zvyšují pevnost, tuhost a tvarovou stálost. Naopak v kompozitech při použití tohoto druhu plniv dojde ke snížení tažnosti, ohebnosti a smrštění. Koncentrace se pohybuje od 5 do 60 hm %. Největším zástupcem vyztužujících plniv jsou skleněná vlákna, dále pak uhlíková a vlákna z nerezových ocelí, minerální vlna a další. Vyztužující efekt závisí především na poměru jejich délky k průměru. Dlouhá vlákna mají vyšší mechanické vlastnosti, vyšší vrubovou houževnatost, ale méně tečou za studena a mají nižší průtažnost.

Nanoplňiva zlepšují mechanické vlastnosti, mohou redukovat obsah nutných přísad, což vede k celkovému snížení výstřiku. Dále zlepšují nepropustnost, odolnost vůči navlhavosti a chemikáliím, a v neposlední řadě vyšší lesk a jakost povrchu. Nejčastěji používaný je vrstvený jíł (např. montmorillonit). Obvyklá koncentrace nanoplňiva v kompozitu je 3 až 7 hm %. [10]

1.5 Smrštění termoplastů

Smrštění je jev, který vzniká u všech plastů. Při technologickém procesu vstřikování platí, že rozměry výstřiku jsou odlišné po vyhození, nežli rozměry tvarové dutiny formy, a dále k rozměrové změně dochází i po určité době skladování. Nastává tedy dvojí smrštění – výrobní a dodatečné. Opatření proti jevu smrštění je takové, že tvarová dutina formy musí být v určitém místě o daný rozměr větší. V praxi je to velmi obtížné realizovat, neboť na výsledné smrštění má vliv mnoho faktorů. Mezi základní patří:

- procesní parametry výroby (tlak, teplota, čas),
- druh materiálu (amorfní / semikrystalický, plněné / neplněné, obsah plniva),
- konstrukce vstřikovaného dílu (tloušťka stěn, tvar). [10, 21]

1.5.1 Výrobní smrštění

Důležitý technologický údaj při zpracování plastů je výrobní smrštění. Často je označováno zkratkou VS, popřípadě MS.

$$VS = \frac{L_F - L_v}{L_F} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

VS – výrobní smrštění [%], L_F – rozměr formy [m], L_v – odpovídající rozměr výstřiku [m]

Ze vztahu je zřejmé, že se jedná o výpočet délkového smrštění. Jsou přesně dané podmínky pro měření. Smrštění se začíná vyhodnocovat po uplynutí 24 hodin do 48 hodin od jeho vystříknutí, dále při teplotě $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $50 \pm 5 \%$.

Na výrobní smrštění má především vliv:

1) Druh polymeru – prosazuje se zejména nadmolekulární struktura plastu (krystalické termoplasty mají všeobecně větší smrštění než amorfní).

Tab. 2. Smrštění některých termoplastů

Druh plastu	PS, SAN, ABS	SB	PMMA	PC	PA	PP
VS (%)	0,4 – 0,6	0,4 - 0,9	0,2 - 0,7	0,6 – 0,75	1,0 – 2,0	1,5 – 3,0

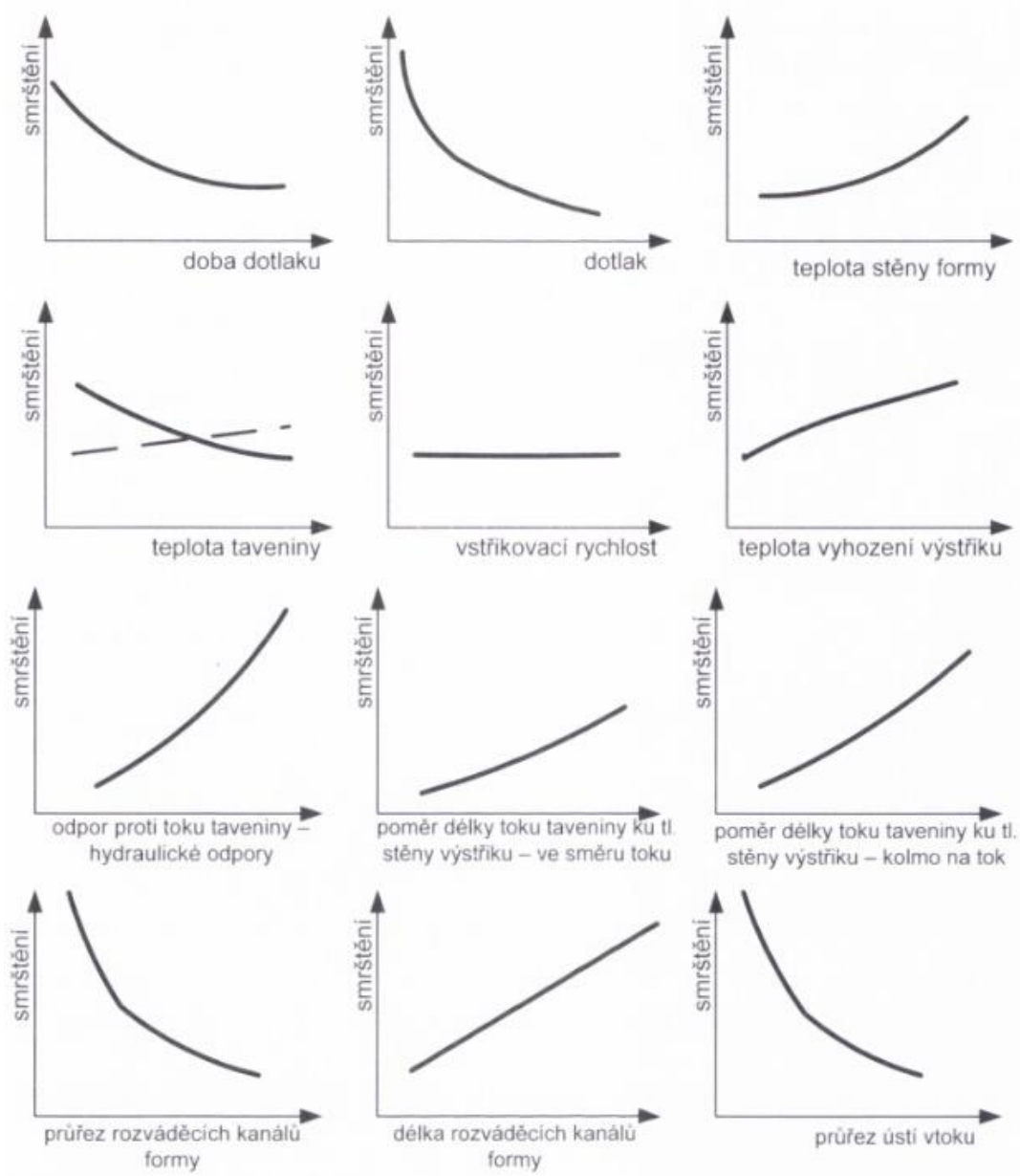
2) Konstrukce výrobku – hlavní parametry výrobku ovlivňující smrštění je tvar a tloušťka stěny. Především u krystalických polymerů je tloušťka stěny zásadní, neboť výrobek chladne pomaleji, a tím je stupeň krystalizace vyšší, což má za následek větší smrštění.

3) Umístění vtoku – určuje charakter toku taveniny v dutině formy. U neplněných plastů, anebo u plastů s práškovým plnivem, dochází k většímu smrštění ve směru toku taveniny. Zde opět rozhoduje nadmolekulární struktura plastu. U amorfních je hodnota přibližně 10 % a u krystalických rozdíl činí téměř 30 %. Při vstřikování termoplastů s vláknitým plnivem se smrštění zmenší a charakter anizotropie smrštění se obrátí. Pak je tedy výrobní smrštění ve směru toku menší než v kolmém směru, neboť se na orientovaných vláknech nemůže uplatnit relaxace.

Tab. 3. Ovlivnění smrštění plnivy u materiálu PA6

<i>Plnivo</i>	<i>Smrštění podél toku / kolmo na tok</i>
<i>bez plniva</i>	1,0 / 1,2
<i>minerální plnivo</i>	1,2 / 1,2
<i>30 % skleněných vláken</i>	0,2 / 0,8
<i>15 % balotina / 25 % skleněných vláken</i>	0,3 / 0,9

4) Technické podmínky – největší vliv v této kategorii na smrštění má vstřikovací tlak, velikost a čas dotlaku. Zde platí nepřímá úměra. Vyšší tlak a delší doba dotlaku při vstřikovacím cyklu mají za následek menší výrobní smrštění. Vliv teploty formy má význam především u krystalických polymerů, kde zvýšení teploty má za následek větší smrštění. [21]



Obr. 5. Vliv vybraných procesních parametrů na průběh smrštění [10]

1.5.2 Dodatečné smrštění

Po uvolňování vnitřních pnutí se dílčí dezorientace makromolekul, či sekundární krystalizace u krystalických plastů projevují dodatečnou změnou rozměrů a značí se DS, popřípadě PS. Velikost je velmi ovlivněna teplotou, jaké je výstřík vystaven.

$$DS = \frac{L_{V0} - L_{V1}}{L_{V0}} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

DS - dodatečné smrštění (%), *L_{V0}* - výchozí rozměr výstřiku před expozicí (mm),

L_{V1} - konečný rozměr výrobku po expozici (mm)

Dodatečné smrštění je pouze jedna část ze všech změn rozměrů při praktickém používání výstřiku. K velkým změnám přispívá teplota, kdy vyšší teplota plastové díly zvětšuje a při nižších teplotách dochází k jejich zmenšení. Protože mají přibližně desetkrát větší součinitel roztažnosti než ocel. Změny rozměrů spjaté se změnou teploty jsou vratné.

Změna rozměrů může zapříčinit u některých plastů i jejich navlhavost a následné vysychání. Pokud je plast navlhavý a dojde ke stavu, že plast navlhne, tak se zvětší rozměr. Při vysychání je jev opačný. Při teplotě nad 60 °C se plast začne vysušovat, a nad teplotu 80 °C se obsah vody rychle dostane na nulu. I když se jedná o vratný děj, tak u výrobků, které jsou navlhle, může dojít k nepříznivé funkčnosti dílu. [21]

1.5.3 Možnost snížení smrštění

Vliv konstrukce výstřiku a formy - pro minimalizaci smrštění musí tvar a konstrukce splňovat určité požadavky pro vstřikované díly z termoplastů, jimiž jsou zejména:

- vyvarovat se náhlým změnám průřezů (tloušťek stěn),
- volba vhodného umístění ústí vtoku tak, aby se docílil postupný lineární tok čela taveniny v dutině vstřikovací formy bez „předbíhání“ toku,
- velikost ústí vtoku koriguje optimální tlakovou odezvu ve výstřiku.

Vliv procesních parametrů u amorfních polymerů - u těchto materiálů je smrštění pod 1 % a vystačí si s kratším dotlakem. Naopak ale vyžadují delší dobu chlazení kvůli širokému pásmu tuhnutí.

Smrštění u amorfních materiálů je ovlivněno zejména teplotními ději. K minimalizaci napomáhají tyto body:

- vysoká homogenita teploty taveniny,
- optimalizace temperačního systému (stejná teplota stěn tvarové dutiny).

Vliv procesních parametrů u semikrystalických polymerů – po působení dostatečně dlouhého dotlaku je výrobek připraven k vyhození z formy. Krystalická struktura vytvoří postačující pevnou vnější vrstvu výstřiku, a tím zamezí případným deformacím, které by mohly nastat. Většinu kritérií proti smrštění sdílí s amorfními materiály. [10]

2 PLASTY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Mezi hlavní odběratele výrobků na poli vstřikování patří bezesporu automobilový segment. V současnosti se prodá celosvětově 90 milionů aut ročně, a na planetě je už přes 1,5 miliardy aut (v roce 2013 to bylo „pouhých“ 800 milionů). Jejich počet každým rokem roste, tudíž výstřiky pro automobilový průmysl představují podstatný vliv pro celosvětové vstřikovny, neboť se jedná o dlouhodobou velkosériovou výrobu (v průměru tři až šest let).

Aplikace plastových hmot přispívají z 60 % ke zlepšení designu a bezpečnosti automobilů, a ze 40 % se podílejí na snížení hmotnosti. [7, 8, 9, 12]

2.1 Nahrazování kovových dílů plastovými

Nahrazování kovových dílů plastovými má více důvodů. Avšak použít se může pouze tam, kde dojde k plnohodnotné substituci kovového materiálu za plastový. Jedním důvodem je úspora energie při jeho výrobě. Při zpracování plastů jsou potřeba výrazně nižší teploty v porovnání se zpracováním kovů, což má za důsledek nižší energetickou zátěž výrobního procesu. Další důvod, proč dochází k nahrazení, je nižší hmotnost, neboť pokud dojde k uspořené hmotnosti automobilu, dojde ke snížení spotřeby paliva, a tím ke snížení produkce emisí. Podle propočtů BAFL, dochází k úspoře 0,4 litrů na 100 km po snížení hmotnosti automobilu o 100 kg. Důkazem potencionálu čím dál více používání plastových dílů v automobilovém průmyslu je fakt, že na začátku devadesátých let 20. století byl podíl plastů přibližně 6 % v západní Evropě. V současnosti je to okolo 20 % (vždy záleží na druhu automobilu a samotné automobilce). Vzhledem k dnešnímu trendu snižování jak produkci emisí, tak spotřeby pohonných hmot, bude podíl čím dál větší. [8]



Obr. 6. Kryt nasávání vzduchu pro dieselové motory vyrobený z Ultramid Endure [11]

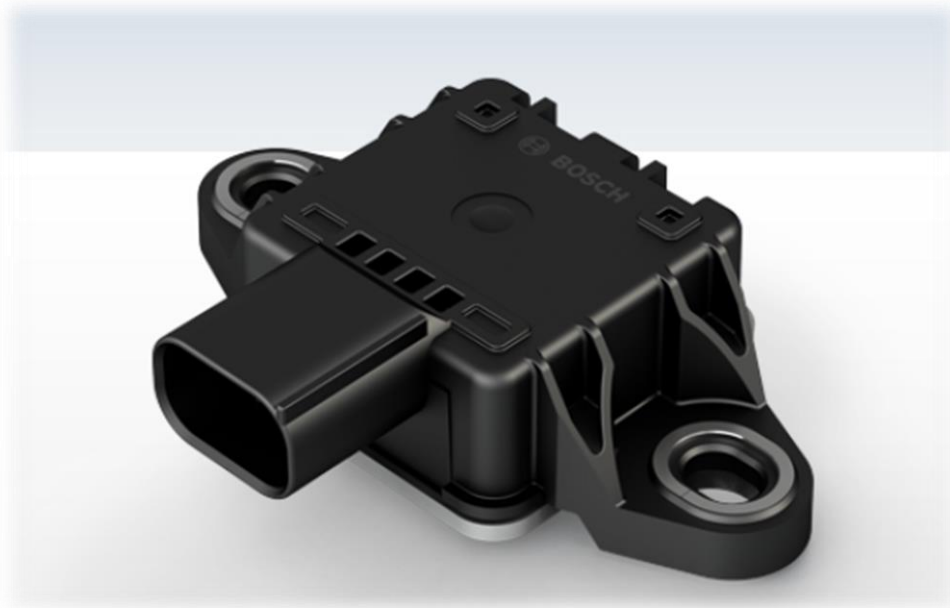
Ultramid Endure je jeden z příkladů (doposud nejstabilnější vstřikovací materiál na bázi polyamidu) využívaných polymerů v blízkosti motoru, a je vhodný jak pro vstřikování, tak pro vyfukování. Uplatnění nachází ve všech částech potrubí pro přívod vzduchu od turbodmyčadla a potrubí, až po mezichladič. Jedná se o polyamid vyztužený skleněnými vlákny, který kombinuje vynikající odolnost proti tepelnému stárnutí s dobrými zpracovatelskými vlastnostmi PA 66. Ultramid Endure je schopen odolat nepřetržitému používání po dobu 3 000 hodin až do 220 °C a krátkodobým teplotním vrcholům až do 240 °C. Rozšiřuje tak aplikaci polyamidu do oblasti vysokých teplot. [11]

2.2 Technické vlastnosti dílů

V důsledku nahrazování kovových dílů plastovými, je zapotřebí splňovat náročné technické požadavky každé součásti. V oblasti motoru je nejproblematictější tepelná odolnost plastového dílu při dlouhodobém namáhání. Proto dochází ke stálé inovaci polymerů. Již zmiňovaný Ultramid Endure je hojně používán v motorové části, a ve srovnání s drahými speciálními polyamidy je značně finančně úsporný. [8]

2.2.1 Odolnost vůči hořlavým kapalinám

Nehořlavost patří mezi další technologicky náročné požadavky. V oblasti motoru jsou kryty pro elektronické součásti, které mimo dobrých mechanických vlastností musí splňovat odolnost vůči hořlavým kapalinám. Dále musí být odolné proti vlhkosti, a navíc pro případ zkratu musí obsahovat i látky bránící hoření. Například od firmy Bosch lze uvést elektronický stabilizační systém ESP 9, který patří do bezpečnostního balíčku u spousty automobilů. Kryt je vyroben z materiálu Ultradur B4330G6 HR, a spadá do skupiny PBT materiálů, odolných proti hydrolyze. [8]



Obr. 7. Elektronický stabilizační systém ESP 9 od firmy Bosch [13]

2.3 Kontrola kvality vstříkovaných dílů

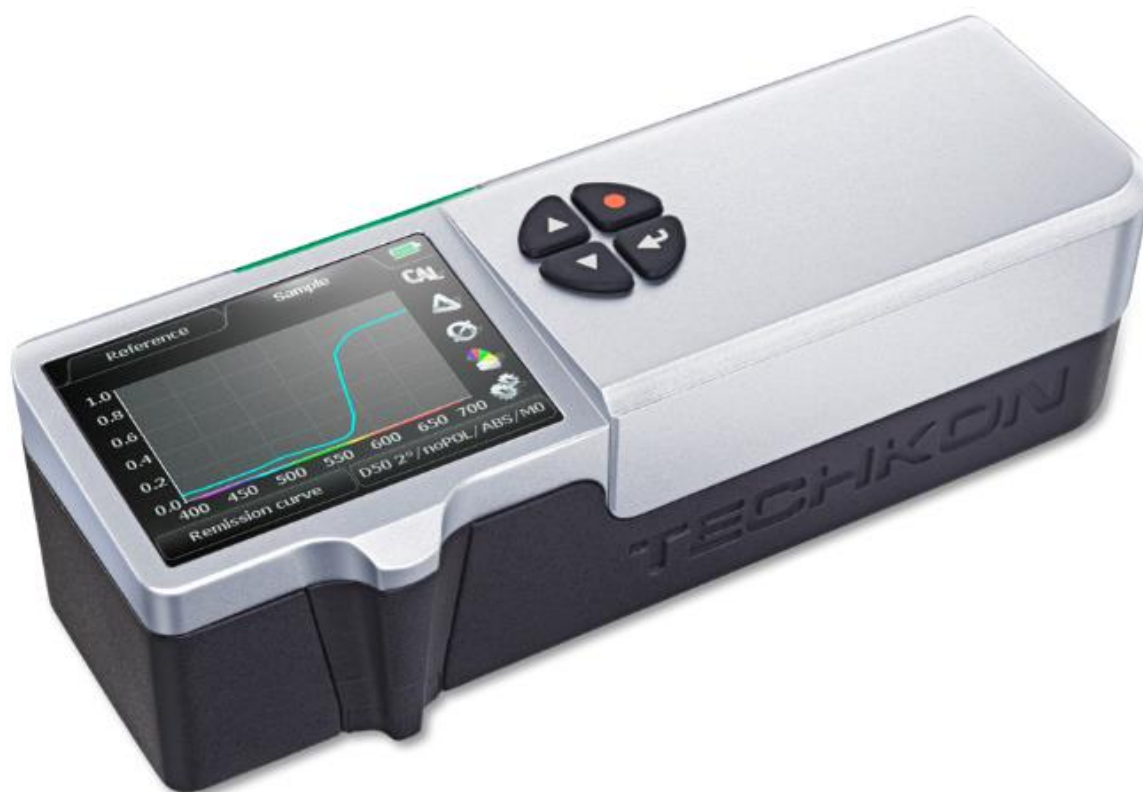
Součástí vstříkování a dodávání výstříků odběrateli je kontrola jejich jakosti. V automobilovém průmyslu probíhá kontrolní akce u výrobce. Kontrolu provádějí pracovníci řízení jakosti (operátor vstříkovacího stroje kontroluje každý výrobek podle kontrolního předpisu). Ihned po zjištění případné závady informují vedoucího zaměstnance výroby a zmocněnce pro kvalitu. Každý zaměstnanec, který má v popisu práce provádět kontrolu kvality, se musí každoročně nechat prohlídnout u očního lékaře. [8]

Pro každý vyrobený díl je u stroje k dispozici technologický předpis výstříku, kontrolní předpis, návod, balicí předpis, výrobní předpis, sběrná karta vad, předpis na měření rozměrů, tvaru, barvy a lesku. Jsou uváděny i další informace, jako například materiálové listy. Při průběhu vstříkování jsou zjišťovány vady. Ty se zaznamenávají do katalogu, který se stále aktualizuje a informuje o vzniku možných vad. [9]

2.3.1 Optická kontrola

Optická kontrola se dělá vizuálním porovnáním vstříkovaného dílu se vzorovým kusem. Efektivnější v praxi je vyfocení vzorového kusu nebo jeho části, nahrání do počítače a porovnávání pomocí kamerového systému s aktuálním výstříkem. Systém snímání je závislý

na kvalitě a na výběru kontrolovaných míst vstřikovaného dílu. Kromě správného tvaru a splnění mechanických podmínek, musí být u pohledových dílů splněna předepsaná kontrola nejen barevného odstínu, ale i lesku, případně i typu dezénu. K porovnání se používá spektrální fotometr, který vyhodnocuje barevné spektrum ve třech osách podle normy ISO 7724. [9]



Obr. 8. Spektrofotometr a denzitometr v jednom zařízení [14]

Pro porovnávání výstřiků je zapotřebí stanovit měřící místo určené pro sondu fotometru. Je zapotřebí si také uvědomit, že výsledky nejsou ovlivněny pouze kvalitou povrchu výstřiku (mat, lesk, dezén), ale i vnějšími podmínkami (teplotou, vlhkostí, doba skladování a dalšími). [9]

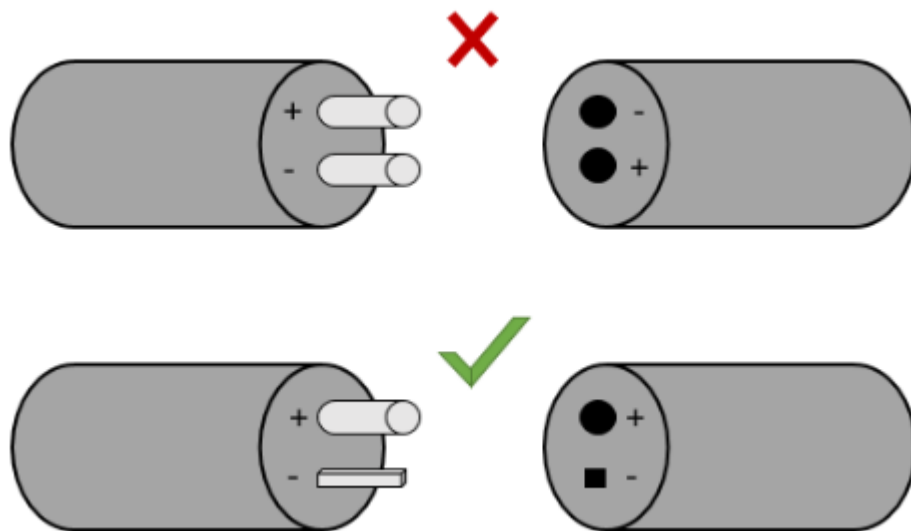
2.3.2 Kontrola rozměrů, tvarů a montážních prvků

Ke kontrole rozměrů a tvarů je zapotřebí speciální místnost s konstantní teplotou a konstantní relativní vlhkostí. Další kritérium před měřením zní, že daný výrobek ke kontrole by měl být uložen v této místnosti minimálně 24 hodin po jejich výrobě. Pro měření rozměrů se aplikuje

standardní měřicí technika (digitální posuvná měřidla, mikrometrická měřidla, optické mikrometry, hloubkoměry, dutinoměry, koncové měrky, speciální kalibry). Pro měření tvaru lze použít měřicí přípravky, popřípadě dražší CNC měřicí stroje, 3D laserové skenery a další.

Po zkontrolování rozměrové a tvarové správnosti je zapotřebí zkontrolovat i montážní prvky, neboť jsou nezbytné ke správnému sestavení dalších součástí v automobilu. Provádí se kontrola každého dílu nebo se aplikují kontrolní přípravky, či Poka-Yoke. [9]

Poka-Yoke je z japonštiny (Poka - chyba a Yokeru - vyhnout se), a ve volném překladu se u nás používá termín rychlý pokus. Zakladatelem této metody je japonský odborník Shigeo Shingo. Obecně lze rozdělit tuto metodu na dvě části, a to na Poka-Yoke konstrukce a Poka-Yoke procesu. [15, 16]



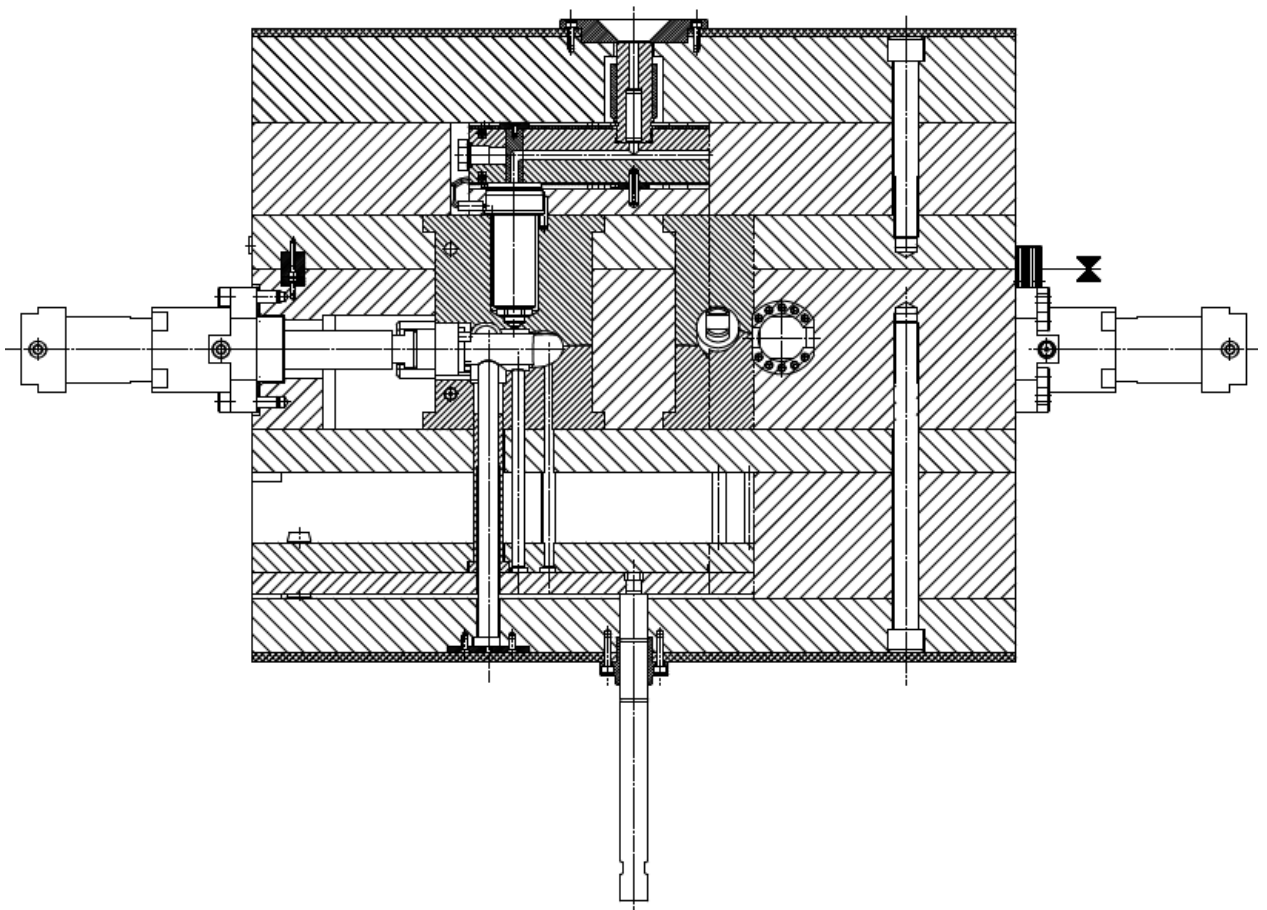
Obr. 9. Příklad aplikace metody Poka-Yoke [17]

Na Obr. 7. je znázorněná aplikace této metody. Zde pracovník může zastrčit jeden kus do druhého pouze jedním způsobem. Nejen v automobilovém průmyslu, ale i ve všech ostatních, je tato metoda hojně aplikována. I když si to většina neuvědomuje, tak i v obyčejných domácnostech je všude kolem nás (zásuvky, USB konektory typu A/B). V praxi je to pak především při montáži, že například díl určený pro montáž „nalevo“ nejde namontovat „napravo“. [15, 16]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Každý stroj potřebuje nástroj, který bude dávat tvar a rozměry budoucímu výrobku. Tudiž i proces vstřikování potřebuje nějaký ten nástroj, a právě tím nástrojem se stává vstřikovací forma. Je součástí uzavírací jednotky, a lze ji vyměnit za jinou, aby splňovala kritéria daného vstřikovacího stroje (rozměry, uzavírací síla, objem vstřikovací jednotky).

Mechanické vlastnosti výrobku jsou odraženy jak na konstrukci, tak i na výrobní přesnosti formy. Úkolem tohoto nástroje je dát roztavenému polymernímu materiálu požadovaný tvar výrobku, ochladit jej, a bezpečně vyjmout z dutiny formy. Dále tento cyklus neustále opakovat. Proto jsou kladeny na toto zařízení velké nároky v podobě kvality, spolehlivosti, produktivity, a co možno největší automatizace. Vstřikovací formy se používají ke zpracování termoplastů, reaktoplastů i kaučukových směsí.



Obr. 10. Řez vstřikovací formy

Konstrukční návrh vstřikovací formy spočívá v zohlednění tvaru a rozměrů výrobku, jeho zaformování a zvolení dělicí roviny. Z těchto dvou základních bodů se odvíjí celý koncept vstřikovací formy. Dalšími základními parametry jsou – násobnost formy, druh vstřikovaného materiálu, typ vtokového systému, rozvržení temperačního a vyhazovacího systému, vodící prvky. Forma musí být zároveň konstruována na dostupný vstřikovací stroj, aby splňovala rozměrová a další kritéria.

Typy vstřikovacích forem podle zaformování:

- dvoudeskové (standardní),
- třidedkové,
- dělené (vyjímatelný tvárník, pohyblivé díly)
- etážové formy. [26]



Obr. 11. Vstřikovací forma [11]

3.1 Technologičnost konstrukce výstřiků z termoplastů

Jedním z hlavních bodů konstruktéra formy je správné rozvržení dělicí roviny dle konstrukce dílu, a tím určení polohy předmětu ve formě. Mezi další úkoly, spjaté s návrhem a zaformování dílu, jsou správně zvolené úkoly, umístění vyhazovačů, volba vtokového systému a zvolený druh a místo ústí vtoku na výstřiku, navrhnutí temperačních okruhů atd. [29]

3.1.1 Konstrukce výstřiku

Konstruktér výstřiku má za úkol navrhnout vstřikovaný díl tak, aby forma obsahovala co nejméně pohyblivých tvarových dílů (čelisti, hydraulické či jinak ovládané jádra, šikmé tvarové vyhazovače) ve formě. Proto je vhodným návrh konzultovat s člověkem, který má na starost konstrukci formy.

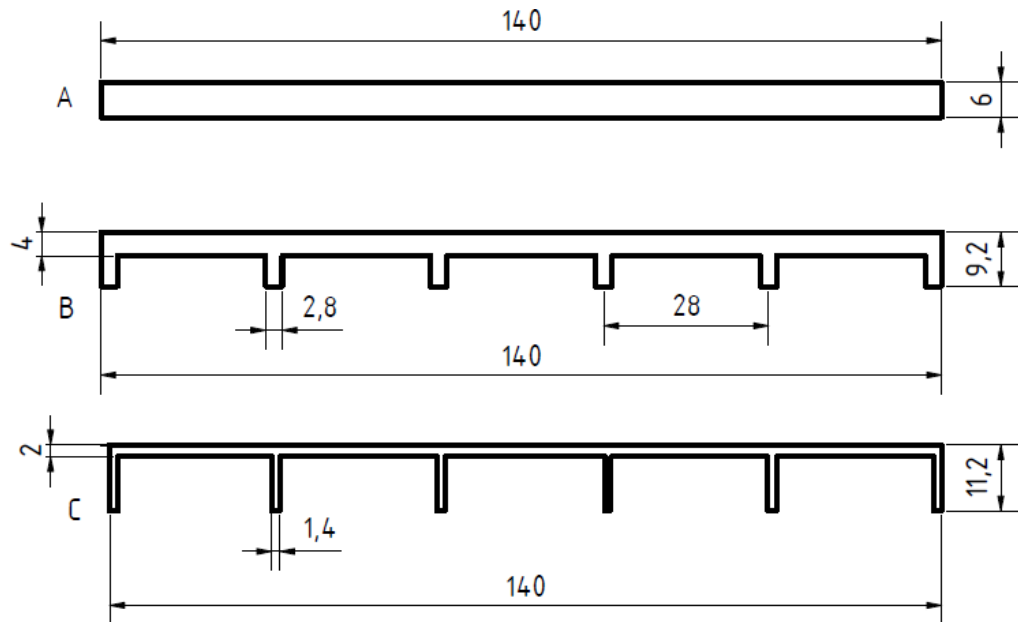
Tloušťka stěny výstřiku by měla být co nejmenší z důvodů minimalizace výrobního cyklu, omezení případného vzniku propadlin, lunek a staženin, a to zároveň při splnění podmínek pro danou tuhost a pevnost výstřiku. Dále nesmí být stěna menší než schopnost taveniny zatéct do tvarové dutiny formy. U standardních termoplastů je tento rozměr dán na hodnotu 0,5 mm. Pro zpracováváný materiál je tato hodnota s dalšími důležitými informacemi o materiálu dodávána v katalogu od výrobce. Je zapotřebí brát zřetel i na opačný stav, kdy by tloušťka stěny byla příliš velká. U vstřikovaných termoplastů se tloušťka stěny pohybuje do 6 mm, ale nastávají i případy, kde je tato hodnota překročena více jak dvakrát. Potom je velké riziko vzniku propadlin.

Pro snadnější odformování jsou přidávány technologické úkoly. Pro vnější plochy výstřiku se volí sklon do 2°. Pro vnitřní plochy výstřiků do 3° a pro žebra či nálitky se volí 2° až 10°.

Dále se správnou provedenou konstrukcí výstřiku souvisí jejich žebrování. Význam žebek je zcela jasný, mají zvýšit tuhost, pevnost a celkovou odolnost proti deformaci při souběžném snížení hmotnosti a tloušťky stěn výstřiku. Žebra by neměla překročit hranici 50 % až 70 % tloušťky stěn, na níž je žebro vedeno, a současně zamezit kombinaci žebek s malou a velkou tloušťkou. Výška žebek by neměla být větší než trojnásobek tloušťky stěny, a z hlediska toku taveniny je žádoucí umožnit tok bez brždění (vhodným typem jsou žebra tvaru šestiúhelníku).

Posledním bodem v této podkapitole je zaoblení. To je vhodné zejména z důvodu snadnějšího plnění tvarových dutin taveninou. Snižuje napětí v místech ohybu a hydraulický odpor

při toku taveniny. Naopak zvyšují odolnost proti rázům a pevnost. Minimální rádius by měl dosahovat hodnot jedné čtvrtiny tloušťky stěny. [25, 27, 29]



- A - konstrukce výstřiku bez respektování zásad výstřiků z termoplastů, díl má plošný moment setrvačnosti $2\,520\text{ mm}^2$, doba dotlaku $95\text{ s} = 100\%$
- B – žebrovaný díl – varianta 1, plošný moment setrvačnosti $2\,520\text{ mm}^2$, zkrácení doby dotlaku na cca 35 %, úspora materiálu 23 %.
- C - žebrovaný díl – varianta 2, plošný moment setrvačnosti $2\,520\text{ mm}^2$, zkrácení doby dotlaku na 15 %, úspora materiálu 57 %.

Obr. 12. Snížení hmotnosti výstřiku a zkrácení výrobního cyklu při zachování mechanických vlastností žebrováním dílu pro výrobu vstřikováním termoplastů

3.1.2 Násobnost formy

Násobnost formy udává počet kusů vyrobených za jeden vstřikovací cyklus. Při návrhu je nutné brát v potaz, že při více násobné formě mohou vzniknout výrobky s drobnými vzhledovými či jinými rozdíly. Proto se u velmi náročných výstřiků se používá co nejmenší počet tvarových dutin. Další aspektem je doba dodání výstřiků klientovi. Z logického hlediska, čím více násobná forma, tím rychlejší výroba dílů. Při zvolení vícenásobné formy se musí počítat s větší finanční nákladností na její návrh a výrobu.

Mezi kritéria, zda se vyplatí vícenásobná forma, patří:

- rozdílné náklady na výrobu jednonásobné a vícenásobné formy,
- doba vstřikovacího cyklu,
- provozní náklady,
- objem maximálního vstřiku, gramáž, plastikační výkon, vstřikovací tlak, přidržovací síla formy (podle vstřikovacího stroje, na který je forma navržena). [25, 27]

3.2 Vtokový systém

Vtokový systém slouží k dopravení taveniny z plastikační komory do tvarové dutiny formy. Vtokové ústí je dimenzováno, aby umožnilo maximální dobu dotlaku, k vyrovnání objemové koncentrace. Optimální plnění probíhá v co nejkratším čase a s minimálním odporem. Při více násobných formách je nutné zajistit dopravení taveniny v jeden okamžik do všech tvarových dutin formy. [30]

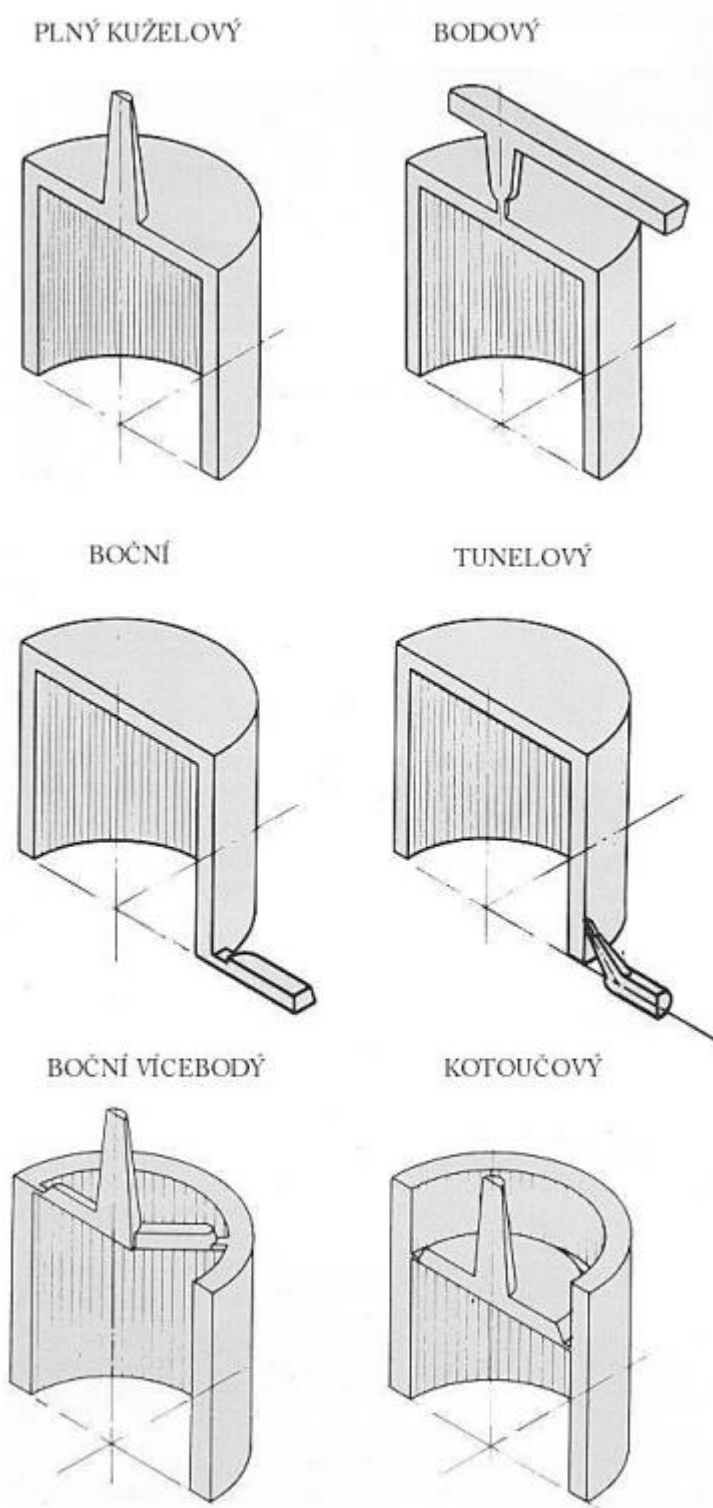
3.2.1 Studené vtokové systémy

Transport taveniny do dutiny formy pomocí studeného vtokového systému (SVS) se skládá z několika částí. Mezi hlavní patří vtokový kanál (který je součástí vtokové vložky), rozváděcí kanál a vtokové ústí.

Po příjezdu plastikační jednotky a vstříknutí taveniny plastu do studeného vtokového systému, dojde ihned k ochlazení, a na stěnách k tuhnutí taveniny. Dojde k vytvoření izolační vrstvy ze studeného plastu a tavenina teče horkým jádrem. Opatřením proti úplnému zamrznutí, je odstupňovaná velikost rozváděcích kanálů, zejména při jejich větší délce u vícenásobných forem. Po průchodu kanálu vstupuje tavenina přes vtokové ústí do tvarové dutiny formy. Následně po zaplnění dutiny je na řadě dotlak. Ten pod definovaným tlakem dopraví další množství taveniny, která kompenzuje zmenšení objemu vlivem smrštění. Kromě redukce objemové ztráty dojde i k omezení propadlin atd.

Vtokové ústí je zakončující část SVS. Tvoří se zúžením rozváděcího kanálu, což má za následek snížení klesající teploty před vstupem do dutiny formy. Tím je zamezeno strhávání chladnějších vrstev z vnějšího obvodu, a případného vzniku nežádoucích jevů. Průřez ústí

vtoku se volí co nejmenší s ohledem na výrobek, materiál a technologický proces. Ovšem musí řádně zaplnit celou dutinu formy a umožnit následné působení dotlaku. [30, 31]



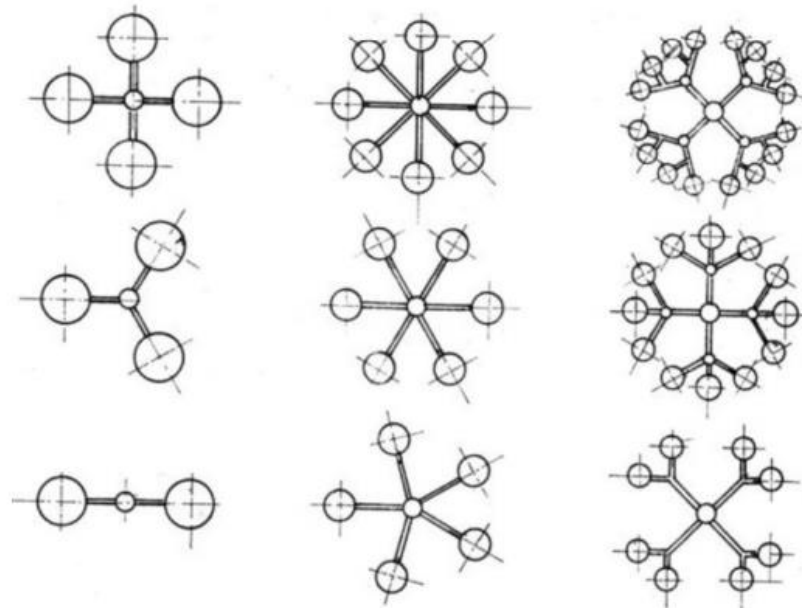
Obr. 13. Základní typy vtokových ústí [35]

Zásady při umístění vtokového ústí:

- vstřík orientovat do nejtlustšího místa (stěny), což následně umožní použití dotlaku a odstranění některých vad (lunkrů),
- vtok taveniny by měl po vstříknutí do dutiny narazit ihned na překážku (tzv. vyvarovat se volnému toku, a tím zabránit vzhledovému defektu),
- nevstříkovat do míst, která budou podléhat působení velkých sil. [30]

SVS musí zajistit, aby:

- tavenina se dostala do všech dutin ve stejný okamžik,
- dráha toku od vstříkovacího stroje po dutinu formy byla co nejkratší.



Obr. 14. Příklady symetrického uspořádání studeného vtokového systému [32]

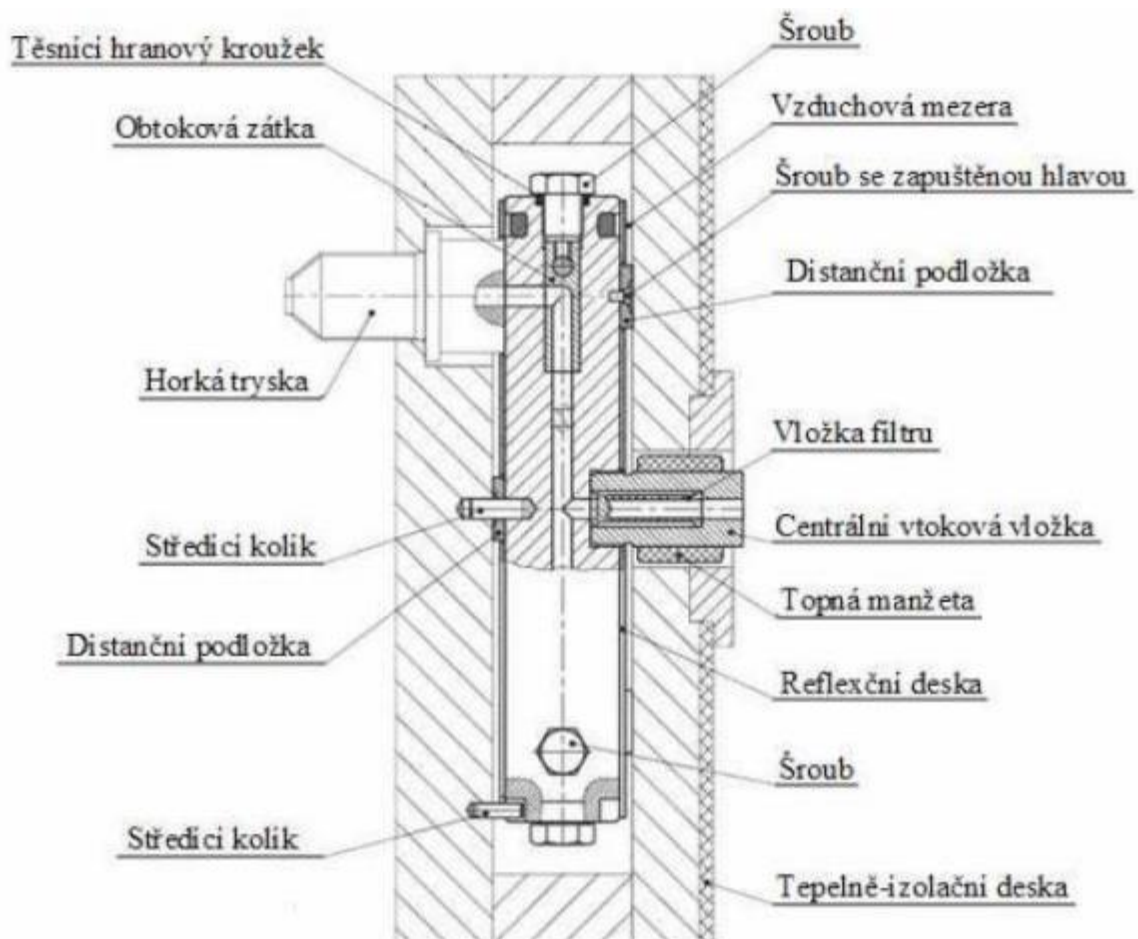
Výhody SVS: levnější a jednodušší konstrukce formy než u VVS, nepotřebují energetické připojení, jednoduché provedení vícenásobné formy.

Nevýhody SVS: vznik vtokového zbytku (větší spotřeba plastu), řešení přidržení, oddělení a vyhození vtokového zbytku. [31]

3.2.2 Vyhříváné vtokové systémy

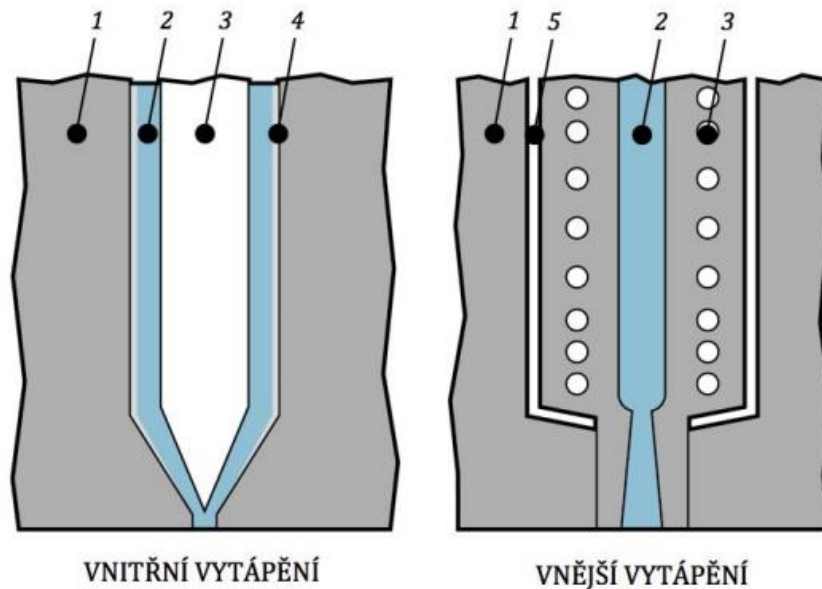
Tento typ vtokového systému je složen z vyhříváných komponentů (hlavní vtokový kanál, rozvodová deska, trysky a ovládané jehly), které zaručí transport taveniny při konstantní teplotě až do dutiny formy. Rozvodný blok dopravuje taveninu do všech trysek, které dávají vstřikovaný materiál do tvarových dutin formy. Forma s tímto druhem vtoku je značně složitější. Existují dva základní typy – s vnějším a vnitřním vyhříváním.

Horký rozvodný blok zajišťuje dopravu taveniny u vícenásobných forem. Pro správný chod je zapotřebí rovnoměrné vytápění, v opačném případě má vliv na tokové chování taveniny a tlakové rozložení taveniny v jednotlivých tvarových dutinách. Musí být teplotně izolovaný od ostatních částí formy. Je vytápěn zvenčí elektrickým odporovým topením, pomocí topných hadů zalitých mědí, nebo topnými patronami s vytápěním zevnitř. Teplota taveniny je řízena regulátorem teploty. [32, 33]



Obr. 15. Vytápěný rozvodný blok [32]

Vyhřívané trysky zajišťují propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy. Jak rozvodný blok, tak i tryska má vlastní topný článek s regulací, popřípadě může být ohřívána jiným zdrojem VVS. Vyhřívaná tryska musí zajistit, aby byl vstříknutý materiál z jedné strany tekutý a z druhé strany dutiny ztuhlý, bez ucpávání, táhnutí vlákna nebo vytékání. [32, 33]



Obr. 16. Základní provedení vyhřívaných trysek [34]

1 - studený materiál formy, 2 - kanál pro proudění taveniny, 3 - topné těleso, 4 - zamrzlá vrstva taveniny, 5 - izolační vzduchová mezera

Výhody VVS: zkrácení výrobního cyklu, eliminace odpadu, výrazná změna tlakových ztrát. Relativně jednoduchá výměna poškozeného vtoku, možnost postupného otevření jednotlivých trysek (řízení polohy studených spojů), menší uzavírací síla stroje.

Nevýhody VVS: náročnější konstrukční zástavba do formy, dražší a větší nároky na obsluhu, zvýšení provozních nákladů, obtížné dodatečné změny (polohy vtoku), nelze použít pro všechny materiály. [33]

3.3 Temperační systém

Temperace formy výrazným způsobem ovlivňuje celý výrobní proces jak časově, tak kvalitativně. Obecně platí, že při standardním vstřikovacím cyklu doba chlazení zabírá cca 70 %. Do kategorie kvalitativních parametrů spadá – rozměrová a tvarová stálost, jakost povrchu, deformace, mechanické vlastnosti atd. Míra zmetkovitosti je uváděna až na hodnotu 60 % z důvodů špatné temperace.

Základní požadavek na temperační systém je dodržení stabilní pracovní teploty dutiny formy, a to při celém vstřikovacím cyklu, včetně opakování cyklu od cyklu.

Do temperačních kanálů je nutné přidávat chladicí médium. Nejčastěji se jedná o vodu, ale mohou to být i teplosměnné kapaliny nebo oleje. Pro udržení správné teploty a tlaku jsou používány temperační přístroje vybaveny čerpadlem. Správně dimenzovaný temperační přístroj, krom teploty a tlaku, by měl zajistit v temperačních kanálech turbulentní proudění, a po ukončení výrobní dávky zajistit odsátí média z temperačního systému formy. Turbulentní proudění napomáhá k intenzivnějšímu odvodu tepla ze stěny tvarové dutiny formy.

Mezi méně aplikované metody pro intenzivní odvod tepla lze zařadit způsob založený na odpařování oxidu uhličitého. Priváděn je buď do ocelové části formy z mikroporézní oceli Toolvac-Stahl nebo do kondenzačních kanálů formy. Další, méně používaná metoda, je aplikace tepelných trubíc. Podstata spočívá na principu výparného tepla, přičemž do formy jsou vloženy trubice různých vyhovujících tvarů. Plněny jsou čpavkem, freonem, metylalkoholem, vodou. Jejich kapalná fáze je naváděna k místu výstřiku, kde dojde k odpaření, a zároveň odvede teplo ve formě páry. Trubicí je pára transportována zpátky do kondenzační části, kde se zbaví tepla a zkondenzuje, celý proces je opakován. [29]

3.3.1 Konstrukce temperačního systému

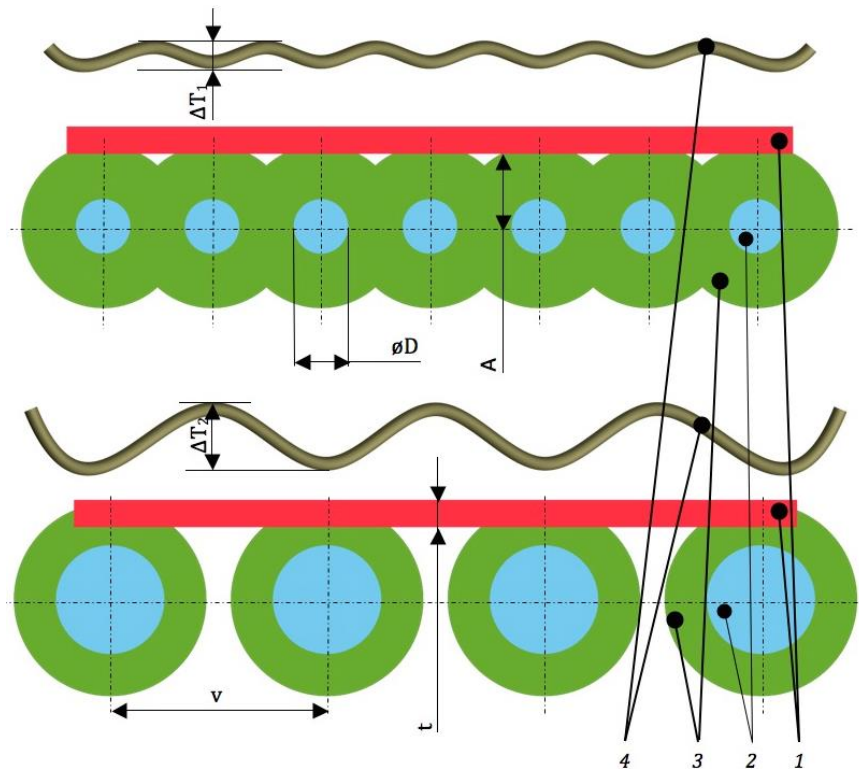
Konstruktér by měl již při úvaze nad rozložením dílů ve vstřikovací formě zauvažovat nad tím, kde se temperační systém bude nacházet, a jakou nabyde podobu. Velká chyba nastává při řešení této problematiky na posledním místě, neboť jedno z řešení může být, že se umístí tam, kde zbylo místo, a to nemusí být zrovna optimální.

Temperační systém vstřikovací formy je tvořen systémem kanálů, dutin, fontán, jimiž proudí určitý druh média. Při návrhu je zapotřebí dodržovat tato pravidla:

- Temperační kanály se distancují od stěny dutiny v takové vzdálenosti, aby zajistily dostatečné a rovnoměrné chlazení, při zachování pevnosti a tuhosti formy.
- Zajistit chod temperačního média od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu, a při variantě VVS zajistit samostatný temperační okruh v prostoru okolo ústí horké trysky (pokud je to možné, a tím dojde k docílení optimalizace teploty v daném místě).
- Průměr kanálu by neměl být menší než 6 mm, pak by hrozilo ucpaní různými nečistotami, vodním kamenem atd. Dále zajistí větší průměr turbulentní proudění.
- V ideálním případě by kanály měly procházet kompaktním materiálem tvarových dutin formy, v opačném případě při průchodu přes různé díly formy je nutné spoj utěsnit za pomoci O-kroužku.
- Při konstrukci temperačních kanálů dbát na to, aby nevznikla slepá místa, bez pohybu média. To by mělo za následek usazování nečistot, které by mohly tvořit ohniska koroze.
- Kanály by neměly být umístěny v blízkém okolí zlomu toku taveniny.
- Průřez vždy volit kruhový z výrobních důvodů. [29]

TLOUŠTKA STĚNY VSTŘIKOVNÉHO DÍLU t [mm]	VZDÁLENOST OSY TEMPERAČNÍHO KANÁLU OD DUTINY VSTŘIKOVČÍ FORMY A [mm]	VZÁJEMNÁ VZDÁLENOST OS SOUSEDNÍCH TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ v [mm]	PRŮMĚR TEMPERAČNÍHO KANÁLU ØD [mm]
0 - 1	10 - 14	10 - 12	5 - 6
1 - 2	10 - 20	12 - 16	6 - 8
2 - 4	20 - 25	16 - 22	8 - 10
4 - 6	25 - 35	22 - 28	10 - 12
6 - 8	32 - 42	28 - 36	12 - 16
8 - 12	42 - 55	36 - 50	16 - 20

Obr. 17. Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálů [25]



Obr. 18. Porovnání efektu různého průměru temperačních kanálů [25]

1 – vstříkovaný díl; 2 – temperační kanál; 3 – pole působení temp. kanálů; 4 – průběh teploty povrchu dutiny vstříkovací formy.

3.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k bezpečnému odformování výstříku z tvarové dutiny formy poté co se otevře dělicí (popř. vedlejší dělicí) rovina. Velmi podstatné je správné umístění a zvolení vyhazovacího systému. Proces vyhazování má dvě fáze. První fáze je dopředný pohyb, spojené s vyhozením výstříku, a po tomto následuje druhá fáze, kdy se vyhazovací systém vrací zpátky do své původní polohy.

Možnosti vyhození:

- pomocí vyhazovačů,
- stírací deskou,
- pneumaticky,
- speciálním způsobem (vytáčení formy),
- ručně (u prototypových forem).

K vyhazovacímu systému je nutné zahrnout i vyhození vtokového zbytku. Hlavní kuželový vtok se vytahuje pomocí nálitku s podkosem (jeden druh z přídržovačů vtoků) na levé straně formy. Vyhození vtokového zbytku probíhá stejně, a v ten samý okamžik, jak vyhození výstřiku. Vyhazovací kolík je kotvený ve vyhazovací desce, a spolu s ostatními vyhazovacími kolíky je pomocí stroje uveden do pohybu, a následně dochází jeho vyhození z formy. Jinak je to u třídeskových forem. K odtržení vtoků se používají vytrhávací kolíky. Utržený studený vtokový zbytek je vyjmut z formy pomocí stírací desky. [25, 30]

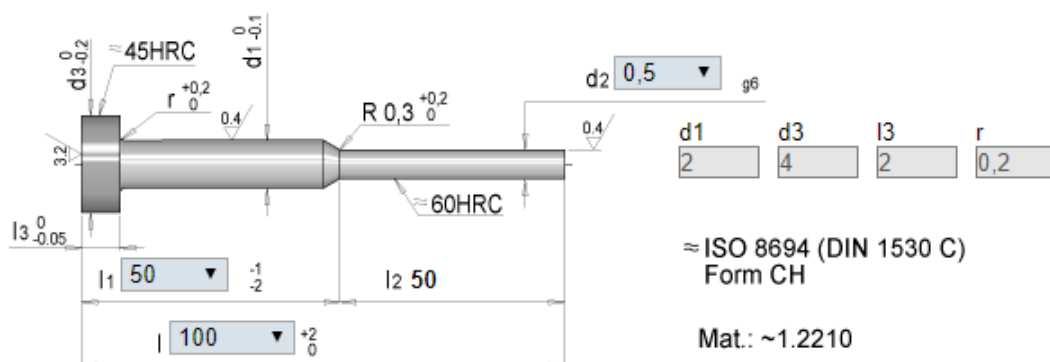
3.4.1 Mechanické vyhazování

Je nejčastěji používaný vyhazovací systém a aplikuje se přednostně, pokud je to možné. Lze jej rozdělit do několika skupin:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky, trubkových vyhazovačů,
- vícestupňové vyhazování, šikmé vyhazování. [33]

Vyhazovací kolíky

Jsou nejčastěji používané a zároveň i nejlevnější varianta pro vyhození výrobků ze vstřikovací formy. Umisťují se na plochu výstřiku ve směru vyhození, na žebro nebo jiné místo, které není tzv. pohledové. Tento druh vyhazovačů zanechává za sebou stopu na výrobku. Při vyhození nesmí dojít k narušení stěny, protože by mohlo dojít k trvalé deformaci. Právě proto jsou vyhazovače navrhovány na místa, které chladnou jako první, aby mohlo dojít k co nejrychlejšímu a bezpečnému vyhození, a tím se zkrátí celý výrobní cyklus. [33]



Obr. 19 Příklad vyhazovacího kolíku (offsetový) [18]

3.4.2 Vzduchový vyhazovač

Jedná se o speciální případ vyhazování, přičemž se často používá v kombinaci s vyhazovači. Uplatňuje se u větších výrobků se složitějšími tvarovými plochami, kde je důležitá kvalita vzhledové plochy. Princip fungování je založený na vytvoření vzduchového polštáře mezi blokem a výstřikem, tím dojde k částečnému oddělení od formy. Výsledek procesu je snížení potřebné síly k vyhození dílu z formy.

Výhody: natlakovaný vzduch se dostane i do velmi špatně přístupných míst, aplikací pouze vzduchových vyhazovačů eliminuje vyhazovací systém, minimální stopa po vyhazovači.

Nevýhody: vytvoření vzduchových kanálů, malý zdvih oproti vyhazovacímu systému, nutnost vzduchového příslušenství. [31]



Obr. 20. Vzduchové vyhazovače [31]

3.5 Odvzdušnění forem

Při vstřikování taveniny do dutiny formy musí být zajištěn únik vzduchu. Čím je plnění rychlejší, tím odvzdušnění formy musí být účinnější. Doba plnění má výrazný vliv na optimální vlastnosti výstřiku, a proto se nebude přizpůsobovat odvzdušnění. Nedojde-li k úniku vzduchu z tvarové dutiny formy, nastává tak jeho stlačení v místě tokové dráhy. Následně se buď objeví ve výstřiku (jako bublina) při větších tloušťkách stěny, nebo dojde k jeho spálení - tzv. Dieselův efekt. [30]

Odvzdušnění se řeší často až po prvních zkouškách dané formy. Místa odvzdušnění jsou určena podle zkušeností konstruktéra, nejdůležitější je však odvzdušnit slepá místa (prohlubně, žebra), místa stékání taveniny a oblasti, kam tavenina zatéká jako poslední. U náročnějších výstřiků, třeba s více vtoky, napomáhá simulační software (Moldflow, Cad-mould). Pro odvzdušnění může posloužit pouze dělicí rovina, spolu s vřlí vyhazovačů a jader. Jestliže tohle nestačí, je zapotřebí formu dodatečně odvzdušnit. Jednou z variant je vytvoření drážky od kulové frézy v dělicí rovině (viz. Obr. 21). [31]



Obr. 21. Příklad odvzdušňovací drážky [31]

Odvzdušnění tvarové dutiny menších výstřiků se provádí přidáním vložkami vyrobenými z vyhazovačů nebo je zajištěno přímo vyhazovači.

Odvzdušňovací kanály jsou takového průměru, aby byl vzduch schopen uniknout z dutiny při vstříknutí, ale zároveň se do nich nesmí dostat vstříkovaný plast. Velikost se pohybuje od 0,05 mm do 0,1 mm. [27, 31]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracovat literární studii pro dané téma,
- provést 3D konstrukci modelu zadaného dílu,
- navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl,
- nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem,
- provést analýzu funkčnosti procesu vstřikování.

Teoretická část diplomové práce je rozdělena do tří tematických okruhů. Každá část má další dělení, kde je stručně rozepsaná daná problematika. První okruh se zabývá polymery, dále je stručně popsáno použití plastů a jejich význam v automobilovém průmyslu. Poslední část se týká konstrukcí vstřikovacích forem a jejich funkčních částí.

Náplní praktické části je nakreslení pomocí 3D softwaru zvolený plastový model. Při jeho modelaci se vychází z fyzické podoby. Jedná se o součást z motorového prostoru automobilu, konkrétně o přírubu chladiwa. Následně je na tento díl navržen 3D model vstřikovací formy společně s 2D výkresy, včetně kusovníku. Dále byla provedena analýza pro optimalizaci vstřikovací formy a následné ověření funkčnosti procesu vstřikování. Při modelaci dílu a návrhu vstřikovací formy byl použit software CATIA V5R20 s velkou částí normálí od firmy Meusburger. Pro simulační část byl použit software Autodesk Moldflow Synergy 2016.

5 POUŽITÝ SOFTWARE

Pro zhotovení praktické části diplomové práce byly použity tyto softwary:

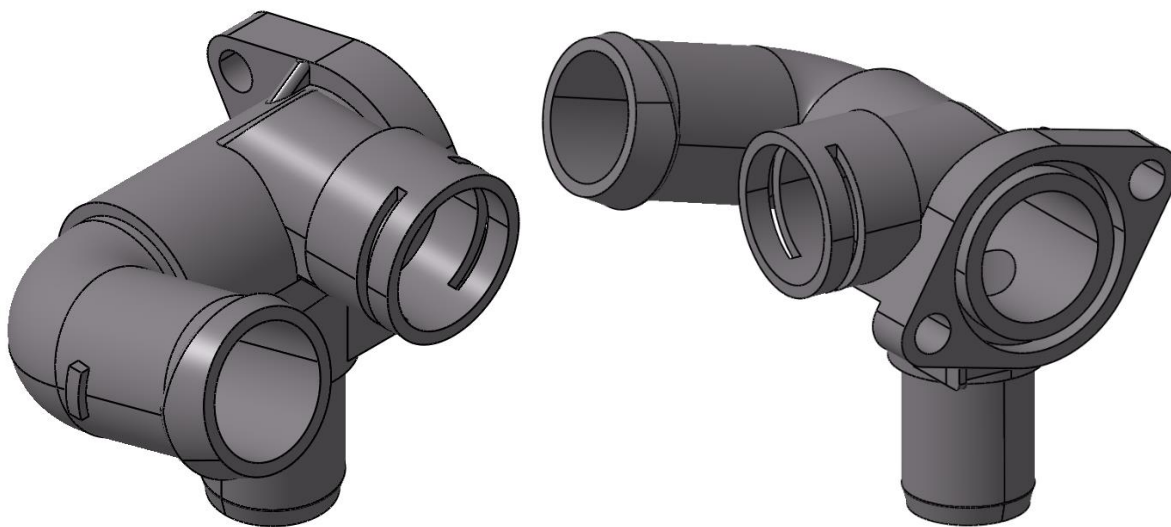
CATIA V5R20 (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application) je komerční software (CAD/CAM/CAE), převážně aplikován v automobilovém a leteckém průmyslu od francouzské firmy Dassault Systemes. Historií sahá do roku 1977, kdy byl interně vytvořen pro francouzskou společnost Avions Marcel Dassault pod názvem CATI. Celosvětově se začal software distribuovat od roku 1981 firmou IBM. Vstupuje na přední místa celosvětového žebříčku pro 3D návrhy produktů. Díky široké škále možností umožňuje konstruktérům vytvářet výrobky, které nás dennodenně obklopují. CATIA je rozdělena do tří oblastí - Design, Engineering and Systems Engineering. Design má rozhodující roli pro úspěšné uvedení na trh a velkou poptávku po konkrétním výrobku. Díky oblasti Engineering jsme schopni navrhnout jakoukoliv 3D sestavu pro celou řadu strojírenských procesů a aplikací (vstřikovací formy, kompozity, postupové nástroje pro tváření plechů a další). Součástí jsou předdefinované procesy, které pomáhají zvýšit produktivitu při navrhování výrobků. CATIA systems engineering nabízí platformu, která spojuje veškeré dílky vývoje, modelování simulace a podpory procesu. [36]

Autodesk Moldflow Synergy 2016 jedná se o CAE aplikace využívané k zjištění tokových vlastností polymerů za předem definovaných procesních podmínek. Podobně jako předchozí software, tak i tento byl vyvinut již v 20. století, a to konkrétně v roce 1978. Hojně komerční se stal až později, kdy ho v roce 2008 koupila společnost Autodesk.

Pomocí programu je provedena simulace navržené vstřikovací formy na přírubu chladiva. Byly provedeny změny v návrhu vstřikovací formy podle počáteční simulace, a následně byly zvoleny optimální vstřikovací parametry, včetně vstřikovacího stroje. [36]

6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaný výrobek, pro který je navržena forma v této diplomové práci, je příruba chladiwa. Příruba se obecně používá jako spojovací prvek mezi potrubím, pouzdrem a jiným dílem. V boční části dílu je vytvořen dezén, do kterého je následně přidáno těsnění, aby nedocházelo k úniku chladicí kapaliny na spojení mezi přírubou a krytem. Hadičky, připojené na přírubu, jsou zajištěny svorkami. Kromě přírub vyrobených z plastů, či pryže, se lze hojně setkat i s přírubami, vyrobenými z oceli nebo litiny.



Obr. 22. Příruba chladiwa → 3D model

6.1 Materiál výrobku

Pro daný vstříkovaný díl byl použit materiál **PA66-GF30** s obchodním názvem Akulon S223-HG6. Jedná se o polyamid 66 s výztuží v podobě 30 % skelných vláken. Disponuje mimořádnými mechanickými vlastnostmi, jako například vyšší pevnost, tuhost, creepovou pevnost a rozměrovou stabilitu. Oproti PA6 vykazuje ještě vyšší tuhost a otěruvzdornost.

Hlavní znaky: velmi vysoká tuhost, odolnost proti velkému množství olejů/tuků/paliv, odolnost proti opotřebení, velmi vysoká pevnost, vysoká rozměrová stabilita, dobrá svařitelnost a pojivost, dobrá teplotní stálost.

Použití: automobilový průmysl, strojní průmysl, letecké a palubní technologie. [37]

Tab. 4. Základní vlastnosti materiálu PA66-GF30 Akulon S223-HG6 [37]

Vlastnosti	Norma	Jednotka	Hodnota
Mechanické			
Modul pružnosti	ISO 527-1/-2	MPa	9950
Napětí při přerušení	ISO 527-1/-2	MPa	200
Rázová síla při 23 °C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	10
Rázová síla při -30 °C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	9
Rázová houževnatost při 23 °C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	81
Rázová houževnatost při -30 °C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	65
Tepelné			
Teplota tání (10 °C/min)	ISO 11357-1/-3	°C	260
Tep. průhybu při zatížení (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	250
Tep. průhybu při zatížení (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	260
Další			
Hustota	ISO 1183	kg/m ³	1360
Nasákavost	Sim. to ISO 62	%	6

Tab. 5 Doporučené zpracovatelské teploty [38]

Doporučené zpracování	Teplota [°C]
Teplota povrchu formy	65
Teplota taveniny	259
Rozsah teploty formy	50 – 80
Rozsah teploty taveniny	248 – 270
Absolutní maximum teploty taveniny	310
Teplota vyhození	229

7 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce formy by měla být co nejjednodušší s ohledem na složitost výrobku. Zároveň by měl konstruktér použít co nejvíce normalizovaných dílů. Tyto díly jsou nabízeny pro konstrukci forem od společností, jako jsou např. Meusburger, Hasco, Futaba a další. Při použití normalizovaných dílů konstruktér jednak ušetří čas sobě při návrhu, ale zejména sníží časové a finanční náklady při výrobě a sestavování fyzické formy.

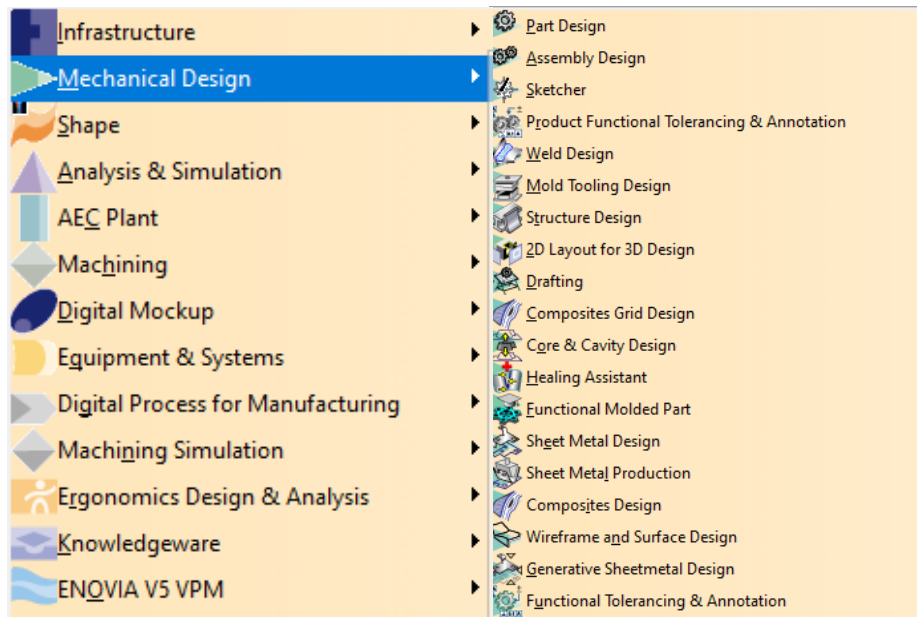
Téměř všechny normalizované díly v navržené vstříkovací formě jsou od firmy Meusburger. Na oficiálních webových stránkách má firma k dispozici všechny nabízené normalizované díly v elektronické podobě volně ke stažení a importování do vlastního návrhu vstříkovací formy. Při odebrání součástí vidí konstruktér zároveň seznam již použitých dílů a cenu jak jednotlivých dílů, tak i konečný součet. Obsahové centrum standardizovaných dílů je přehledné, a konstruktér je schopen okamžitě najít díl, který právě hledá.



Obr. 23. Obsahové centrum normalizovaných dílů firmy Meusburger

Model, na který je navržena vstříkovací forma, je nakreslen v již zmiňovaném softwaru CATIA V5R20. Pro modelaci byly použity moduly Mechanical Design. Konkrétně se jedná o tři typy modulů. Prvním je Part Design, ve kterém je zhotoven 3D model výstříku. Následuje model Assembly Design, kde dochází k jednotlivým vazbám mezi součástmi. Posledním, a velmi zásadním modulem, který velmi urychluje návrh vstříkovací formy,

je Mold Tooling Design. Zde jsou pomocí jednotlivých funkcí vytvořeny desky formy a postupné přidávání jednotlivých dílů (vodící prvky, vyhazovací kolíky a další). Většina normalizovaných dílů je přímo součástí tohoto designu. Pro lepší orientaci a výběr potřebného dílu, je vhodnější otevřít webové stránky dané firmy nebo dostupnou externí aplikaci, kde je lépe vyobrazen daný prvek, popřípadě rychlejší orientace ve výběru jiné možnosti.



Obr. 24. CATIA V5 moduly

Na Obr. 24. jsou zobrazeny všechny moduly, kterými CATIA V5 disponuje. Oproti konkurenci má nepřeberné množství možností, ovšem graficky trochu zaostává. Na světě je už od roku 2008 i její nástupce CATIA V6, který má mnohem přívětivější grafické zobrazení, a tím splňuje dnešní moderní standard. Ale v průmyslu je stále hojně, dokonce i více, využívána V5, a to nejen pro návrh vstřikovacích forem.

7.1 Volba násobnosti formy

Pro správné zvolení násobnosti formy je udáváno mnoho faktorů. Zejména se jedná o tyto body:

- tvarová složitost a přesnost výstřiku,
- ekonomická složka výroby,
- velikost požadované výrobní série a čas dodání,
- objem maximálního vstřiku, gramáž, plastikační výkon, vstřikovací tlak, přidržovací síla formy (podle vstřikovacího stroje, na který je forma navržena).

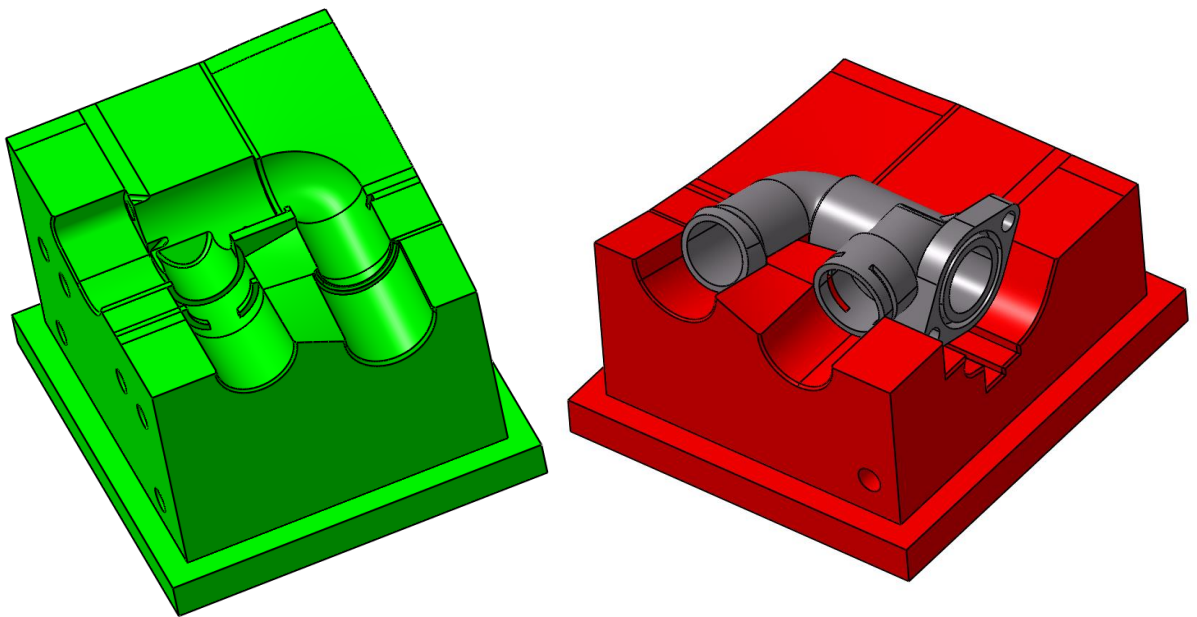
U zvoleného výstřiku není důležitá vzhledová stránka výrobku, ale pouze její funkční a mechanická část. Pro menší díly a větší produktivitu, je vhodné volit vícenásobné formy. V tomto případě je zvolena dvojnásobná vstřikovací forma. Větší počet tvarových dutin nebyl volen z důvodu složitějšího odformování, ne-li neodformování, a příliš velké velikosti samotné formy.

7.2 Zaformování výstřiku

Hlavní zásadou zaformování je správné určení hlavní dělicí roviny. Pro každý výrobek je hlavní dělicí rovina vždy někde jinde, a tudíž závisí toto rozhodnutí na konstruktérovi. Pro určení dělicí roviny je rozhodující tvar výrobku. Pokud má výrobek složitější tvar, a potřebuje další dělicí roviny (tzv. vedlejší), je potřeba tento počet co nejvíce eliminovat.

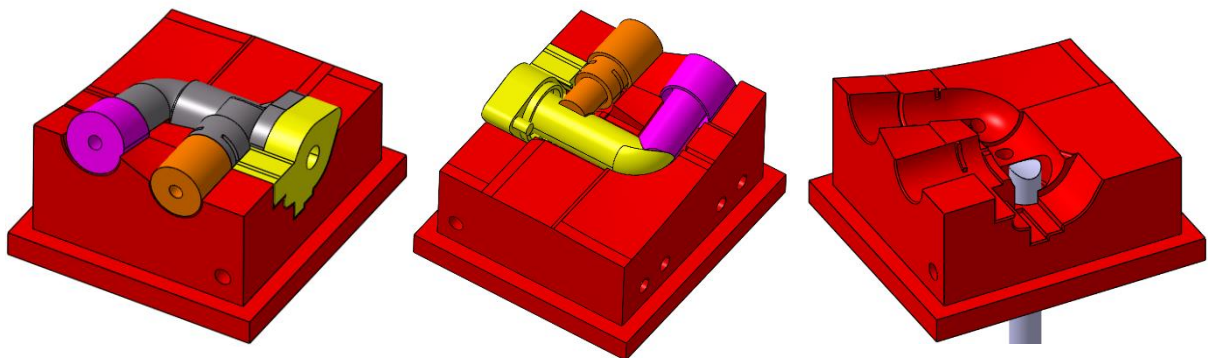
Pro zadaný výstřik má hlavní dělicí rovina různé sklony, a není tedy rovnoběžná s upínací deskou, jak to bývá u méně složitějších výrobků. Tvar hlavní dělicí roviny je vidět na obrázku níže (Obr. 25). I když byla zvolena složitá hlavní dělicí rovina, tak se tvarová vložka neobejde bez dalších vedlejších rovin. Celkem je pro jeden výstřik zapotřebí jedna hlavní dělicí rovina a tři vedlejší dělicí roviny.

Zaformování výstřiku bylo navrženo tak, aby výstřik zůstal po otevření na pohyblivé straně formy. Vstřikovaný díl je přidržen tvarovými čepy, které zajistí, aby díl zůstal na správné straně formy a mohlo dojít po odjetí čepů k bezpečnému vyhození z formy.



Obr. 25. Levá a pravá tvarová vložka (hlavní dělicí rovina)

Vnitřní dutina a boční část výstřiku je tvořena celkem třemi posuvnými tvarovými čepy (vločkami) a jádrem trubkového vyhazovače, který má na konci tvar navazující na největší tvarovou vložku, a na druhé straně je zabezpečen proti pootočení. I když je zakotvený až v opěrné desce, tak je součástí tvarové dutiny. Tvarové vložky slouží k bezpečnému odformování výrobku, a zároveň by bez nich nebylo možné dutinu jinak vytvořit.

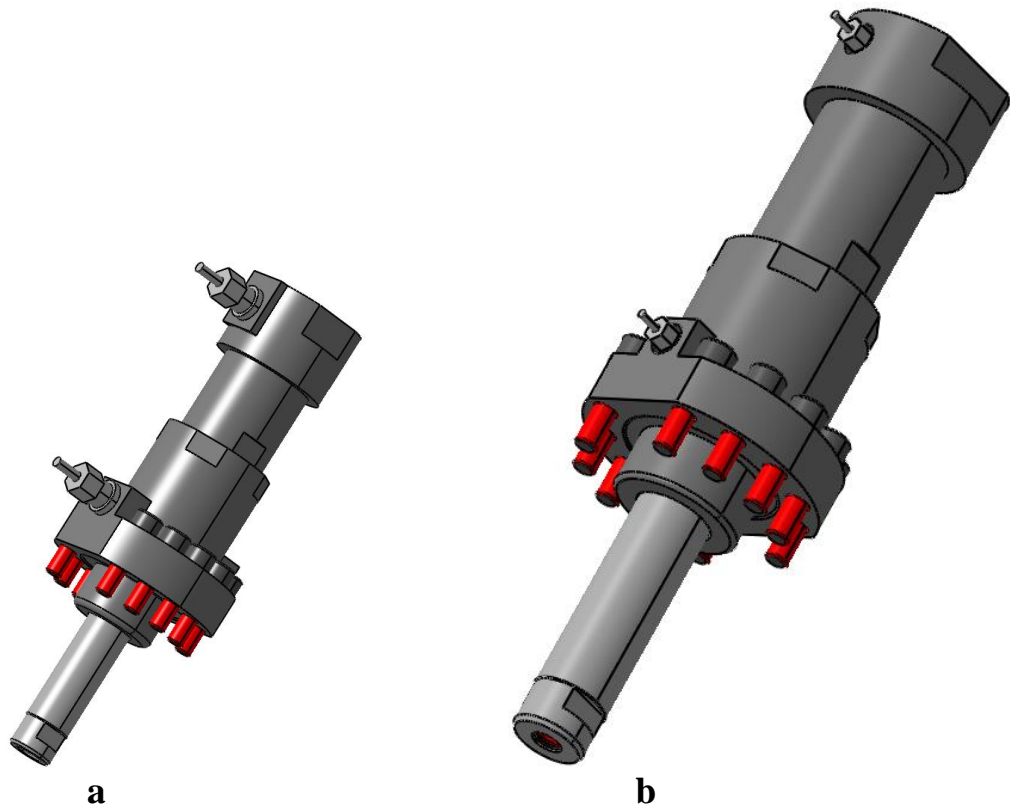


Obr. 26. Posuvné tvarové čepy a jádro trubkového vyhazovače (vedlejší dělicí roviny)

7.3 Odformování

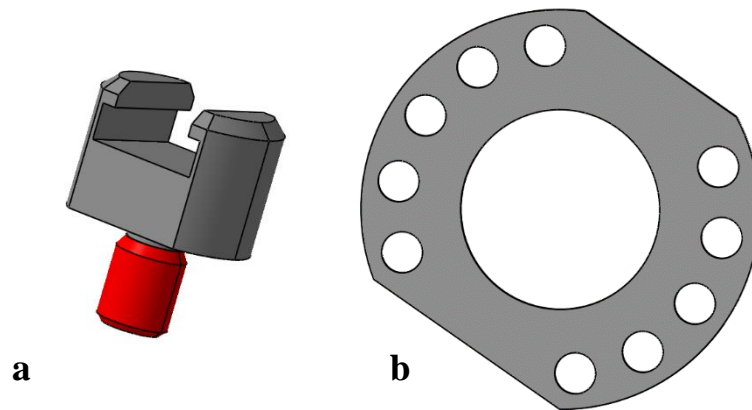
Po otevření vstřikovací formy zůstává výrobek na levé straně tvarové vložky. Následně dochází k postupnému odjezdu všech tvarových čepů do požadované vzdálenosti, aby nedošlo ke kolizi při vyhození výstřiku.

Tvarové čepy jsou ovládány hydraulickými válci (tahači), které zajistí dostatečný zdvih. Samotné tahače jsou pak napojeny na hydraulický systém vstřikovacího stroje. Jsou použity dva druhy tahačů, a to každý s jinou velikostí zdvihu. Pro odformování dvou menších částí na výrobku byl použit hydraulický válec se zdvihem 40 mm. Pro třetí, a největší tvarový čep, byl použit hydraulický válec se zdvihem 90 mm. Kromě funkce mechanického blokování v koncových polohách, jsou hydraulické válce vybaveny také senzory, které snímají koncové polohy pro nejvyšší bezpečnost při procesu vstřikování. Tvarové čepy jsou do sebe vzájemně zamknuté a díky tahačům se zajistí postupné odformování dle potřeby. Absence posuvných čelistí a nahrazení hydraulickým odformováním je dále z důvodů, že dva tvarové čepy jsou formovány pod úhlem. A také by se musela o dost zvětšit forma kvůli vedení pro posuvné čelisti, což by výrazně ovlivnilo rozměry celé formy, a tím i cenu a manipulaci s formou. Hydraulické válce patří do normalizovaných dílů od firmy Meusburger.



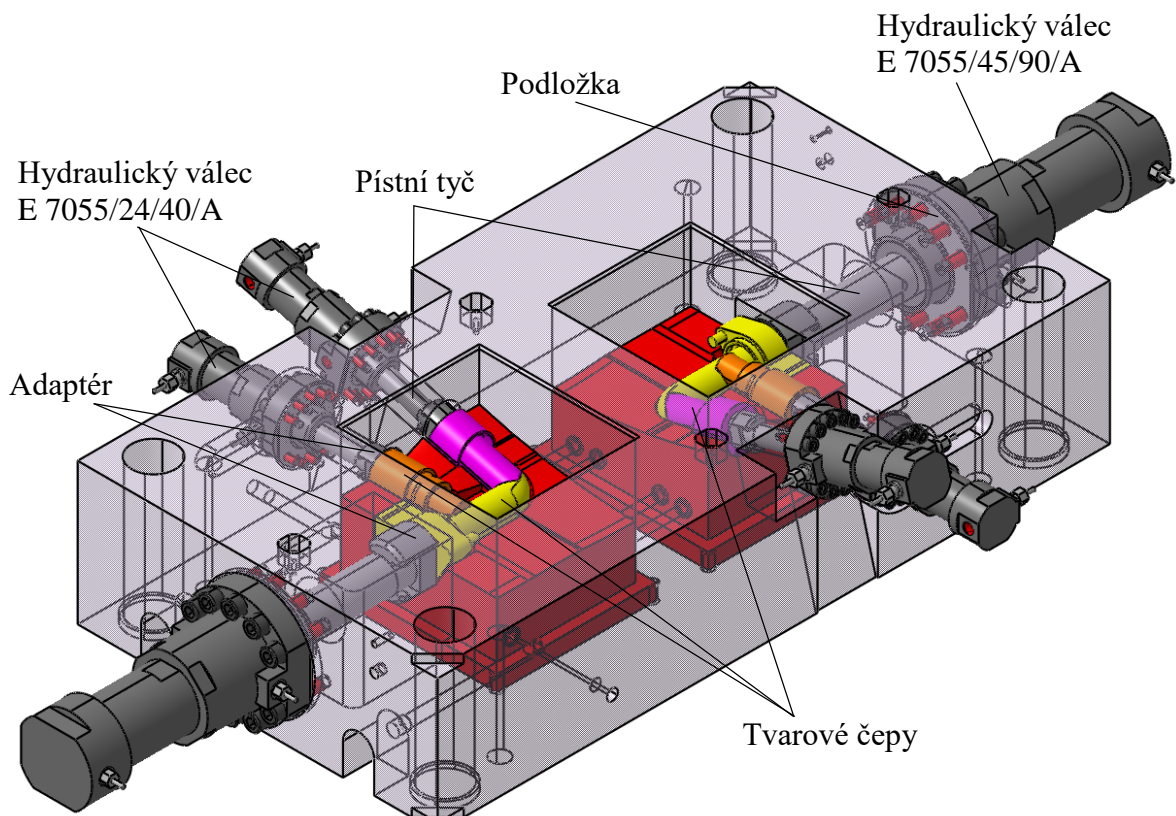
Obr. 27. Hydraulické válce (tahače)
a) zdvih 40 mm, b) zdvih 90mm

Hydraulické válce velmi ovlivňují velikost tvarové desky, a tím i celkovou velikost formy. K jejich zajištění na tvarovou desku je zapotřebí dostatečný prostor pro 10 šroubů, které jsou dodávány současně s válcem. Mezi hydraulickým válcem a deskou formy je ještě přidána podložka. Ke spojení tvarového čepu s pístní tyčí hydraulického válce se používá speciální adaptér (viz. Obr. 28). Na jednom konci adaptéru je závit, přes který je napojen tvarový čep. Na druhé straně je vytvořeno vybrání pro připojení pístní tyče.



Obr. 28. Komponenty potřebné k montáži hydraulických válců

a) adaptér, b) podložka

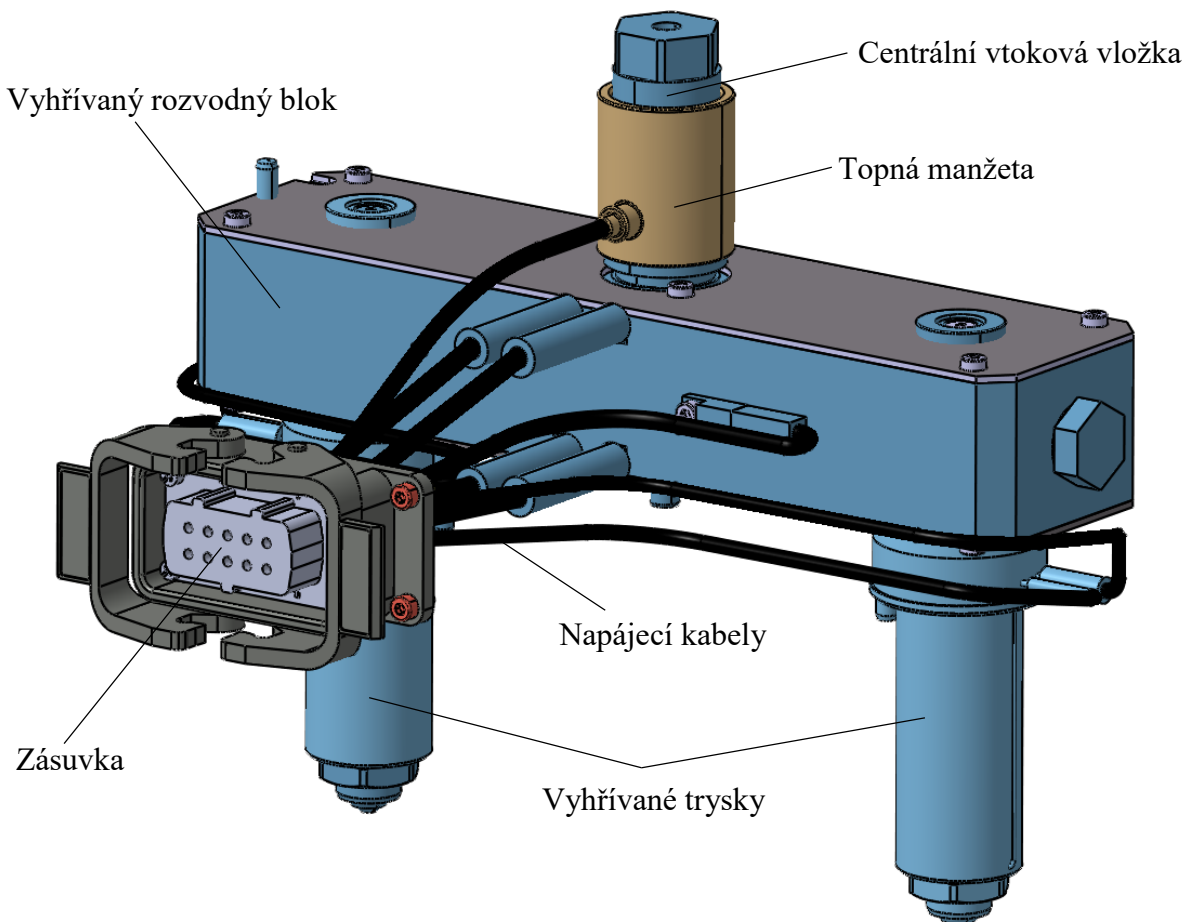


Obr. 29. Uložení hydraulického ovládní čepů

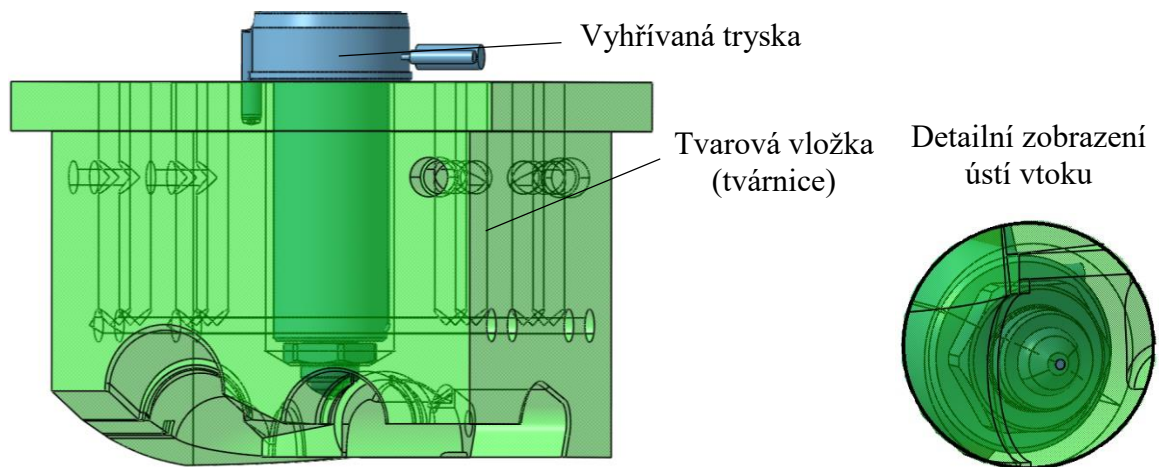
7.4 Vtokový systém

Princip vtokového systému je popsán v teoretické části v kapitole 3.2. Pro navrženou formu byl zvolen horký vtokový systém, který se skládá z vyhřívaných komponentů. Výhodou oproti studenému vtokovému systému je, že VVS zajišťuje konstantní teplotu taveniny po celou dobu, než dojde k samotnému vstříknutí taveniny do dutiny formy, dále pak kratší doba cyklu, eliminace odpadů, zmenšení tlakových ztrát a další (viz. teoretická část).

Horký vtokový systém je uložen pomocí vybraní mezi deskou upínací a tvarovou. Celý systém se skládá z vyhřívaného rozvodného bloku, centrální vtokové vložky a dvou trysek. Na rozvodném bloku jsou distanční kroužky, které jsou jeho součástí, a slouží k zachycení vstříkovacího tlaku, působícího na formu. Dále disponuje kolíky, které zabraňují jakémukoliv sebemenšímu pootočení v desce. Obě vyhřívané trysky jsou zapuštěny do tvarových vložek (každá do jiné), a mezi tryskou a tvarovou vložkou je mezera, sloužící jako vzduchová izolace. Trysky přímo ústí do tvarové dutiny, a tím dojde k jejímu zaplnění, bez jakéhokoliv vtokového zbytku. Nejedná se celkově o pohledový díl, a tak není nutná kombinace vtoků, a proto může tryska působit přímo do tvarové dutiny.



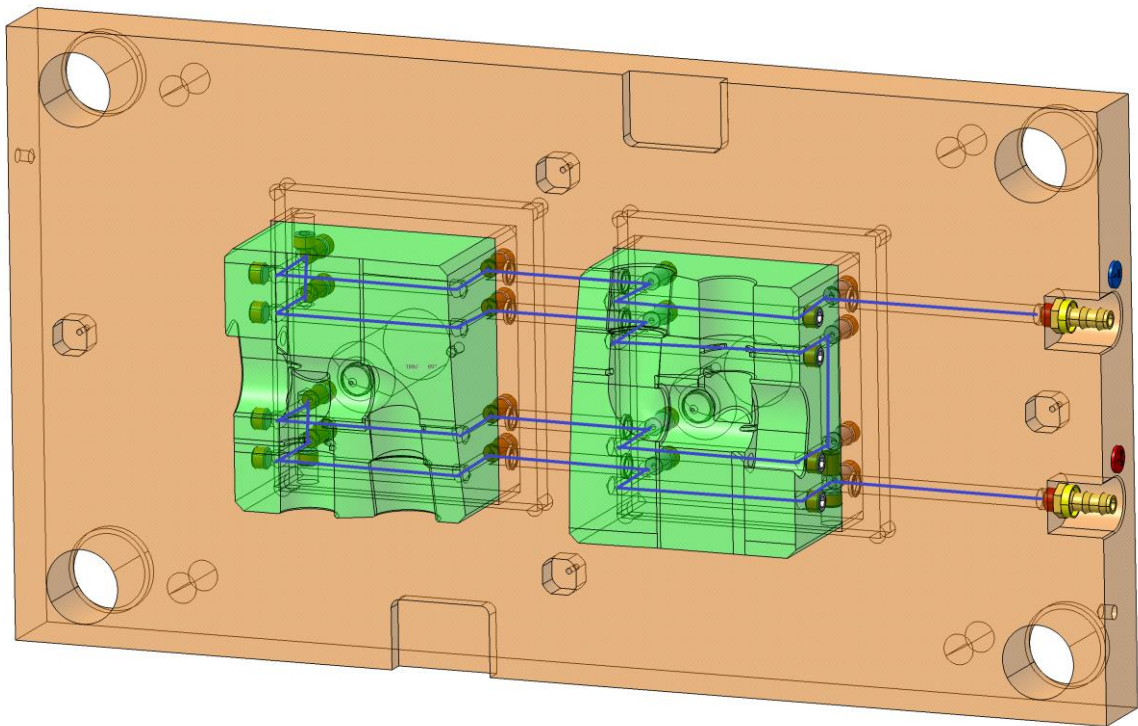
Obr. 30. Vyhříváný vtokový systém včetně kabeláže se zásuvkou



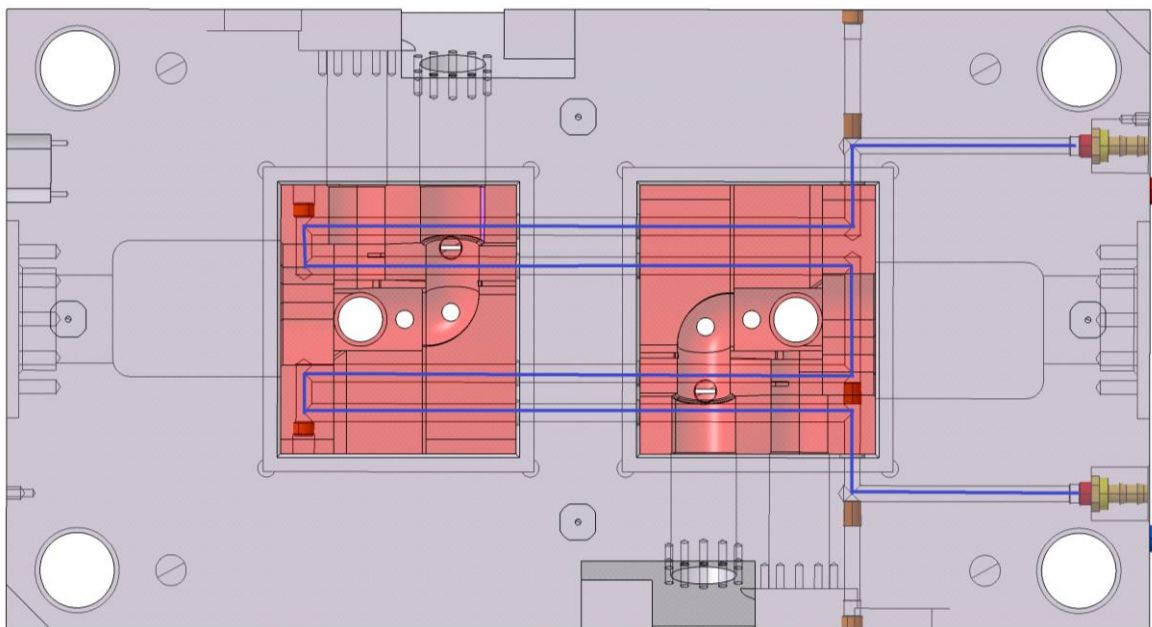
Obr. 31. Zapuštěná vyhřívaná tryska v tvarové vložce

7.5 Temperační systém

Temperační systém se v tomto případě skládá ze dvou samostatných okruhů. Jedná se o vrtané kanály o průměru 10 mm. Průměr kanálů je zvolen podle odborné literatury, kde je rozhodující tloušťka stěny výrobku a vzdálenost osy temperačního kanálu od povrchu výstřiku. Doporučená data jsou v teoretické části v kapitole 3.3.1 Obr.16. Po zvolení průměru následuje správné zvolení vzájemné vzdálenosti os temperačních kanálů od sebe, a již zmiňovaná vzdálenost osy temperačního kanálu od povrchu výstřiku. Nejčastější vzdálenost mezi osami jednotlivých kanálů je 22 mm, a od povrchu k ose je tato vzdálenost velmi proměnlivá. Příčinou je tvarově rozmanitý výstřik. Průměrná hodnota byla nejprve zvolena od osy temperačního kanálu k výstřiku 25 mm, avšak simulace ukázala, že nedochází k optimálnímu chlazení. Po následujících simulacích byla hodnota stanovena na 20 mm, kdy temperační systém správně a dostatečně rychle ochladí výrobek na vyhazovací teplotu. Kanály jsou utěsněny ucpávkami k určení směru toku temperačního média a zaslepeny zátkami na koncích vrtaných kanálů.



Obr. 32. Temperace pravé strany formy



Obr. 33. Temperace levé strany formy

Modrá křivka znázorňuje trajektorii temperačního média. Jako temperační médium byla zvolena voda o teplotě 40 °C na vstupu do temperačního systému. Více informací o nastavení je detailněji popsáno v sekci analýz formy.

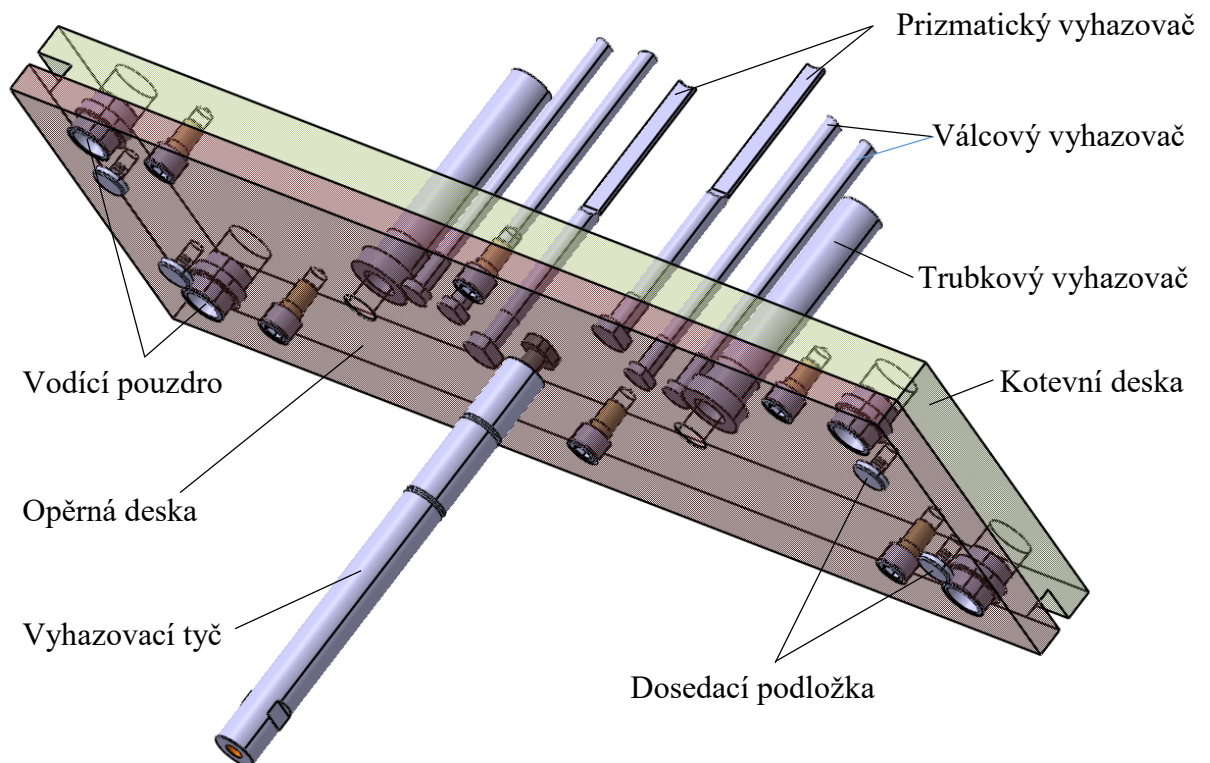
Kromě použití ucpávek a zátek jsou na boční straně formy přidány rychlospojky k připojení temperační jednotky. Tyto rychlospojky jsou zapuštěné do tvarových desek, aby při manipulaci s celou formou nedošlo k vytrhnutí nebo k částečné deformaci.



Obr. 34. Rychlospojky s označením temperačních kanálů

7.6 Vyhazovací systém

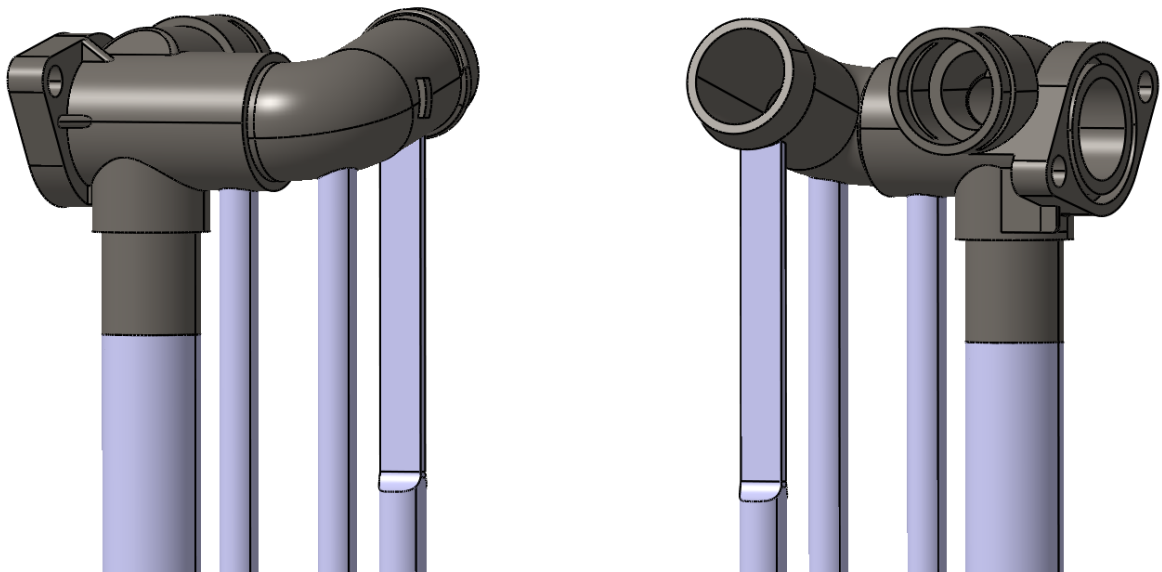
Celkový vyhazovací systém se skládá z 8 vyhazovacích kolíků, které zajistí bezpečné vyhození výstřiků z dutiny formy. Vyhazovače jsou ukotveny v kotevní desce, která je zajištěna opěrnou deskou. Desky jsou vůči sobě vystředěny vodící pouzdry a pevně spojeny 6 šrouby.



Obr. 35. Vyhazovací systém

Vyhazovače jsou tvarově přizpůsobeny tak, aby kopírovaly tvar dutiny formy a nenarušily samotnou geometrii výrobku. Proto je nutné vyhazovače zajistit proti jejich pootočení v kořevní desce. Konkrétně jsou tyto vyhazovače přímo nabízeny také jako normalizované díly pod označením E 1711 (válcové) od firmy Meusburger. Prizmatické vyhazovače musí být již individuálně upraveny, neboť společnost nemá tento druh v nabídce.

Průměr obou válcových vyhazovačů je 10 mm, prizmatický vyhazovač má vyhazovací plochu o velikosti 11,5 x 2,5 mm. Poslední, a zároveň největší vyhazovač je trubkový, kterým prochází jádro, jenž tvoří část tvárníku. Vnější průměr trubkového vyhazovače je 25 mm a vnitřní průměr je 18 mm. Právě z důvodu příliš velké velikosti je použitý vyhazovač od konkurenční firmy Hasco, jenž má vyhazovač v nabídce oproti Meusburgeru. Sice vyhazovač nedisponuje přesnou velikostí vnitřní díry, ale při objednání s vnitřním průměrem 16 mm může dojít k jeho snadné úpravě. Zároveň se při zkrácení nechá provrtat vnitřní díra o 2 mm větší do požadované hodnoty. Všechny vyhazovací kolíky jsou upraveny dle potřeby z původní délky 200 mm na požadovanou velikost se správným geometrickým zakončením.

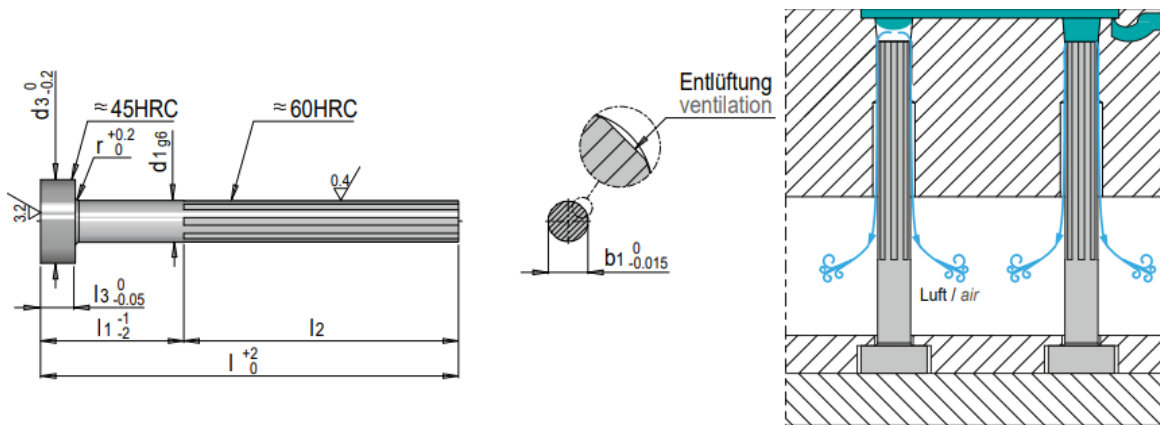


Obr.36. Místa působení vyhazovacího systému na výstřik

7.7 Odvzdušnění

V tvarové dutině je vždy uzavřený vzduch při procesu vstřikování. Proto polymer naplní nejdříve místa s nejmenším odporem proti toku. Tavenina při toku tlačí uzavřený vzduch před svým tokovým čelem, a pokud je odvzdušnění dostatečné, tak je plnění z tohoto pohledu bezproblémové.

Vzduch v tomto případě může unikat mezi dělicí rovinou, mezerami mezi vyhazovači a tvarovými čepy. Dostatečné odvzdušnění se řeší až při reálném testování vstřikovací formy na stroji. Pokud by odvzdušnění bylo i tak nedostačující, byly by přidány odvzdušňovací drážky. Princip a konstrukce jsou popsány v kapitole 3.5 a vyobrazeny na Obr. 21. Další možnost, jak zajistit případné dostatečné odvzdušnění, je nahrazení dvou válcových vyhazovacích kolíků za vyhazovače, sloužící k odvzdušnění. Konkrétně by se jednalo o kolíky od firmy Meusburger s označením E 1770. Jejich tvar a funkce je vidět na obrázku níže. Pokud by nedošlo k dostatečnému odvzdušnění, došlo by k ohřátí vzduchu na vysokou teplotu, a tím by mohlo dojít k samotné degradaci vstřikovaného polymeru.

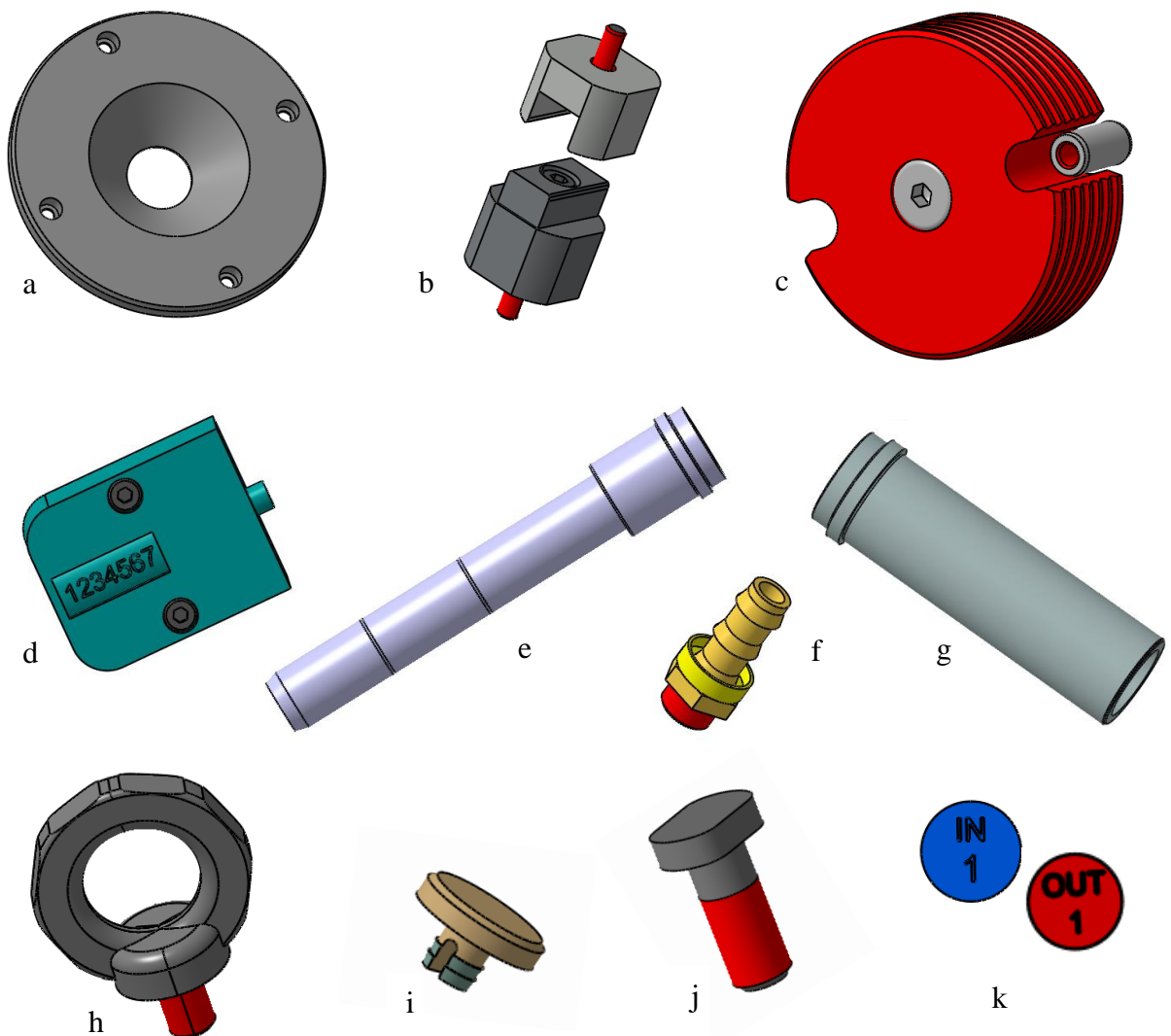


Obr. 37. Odvzdušňovací kolík

7.8 Ostatní komponenty

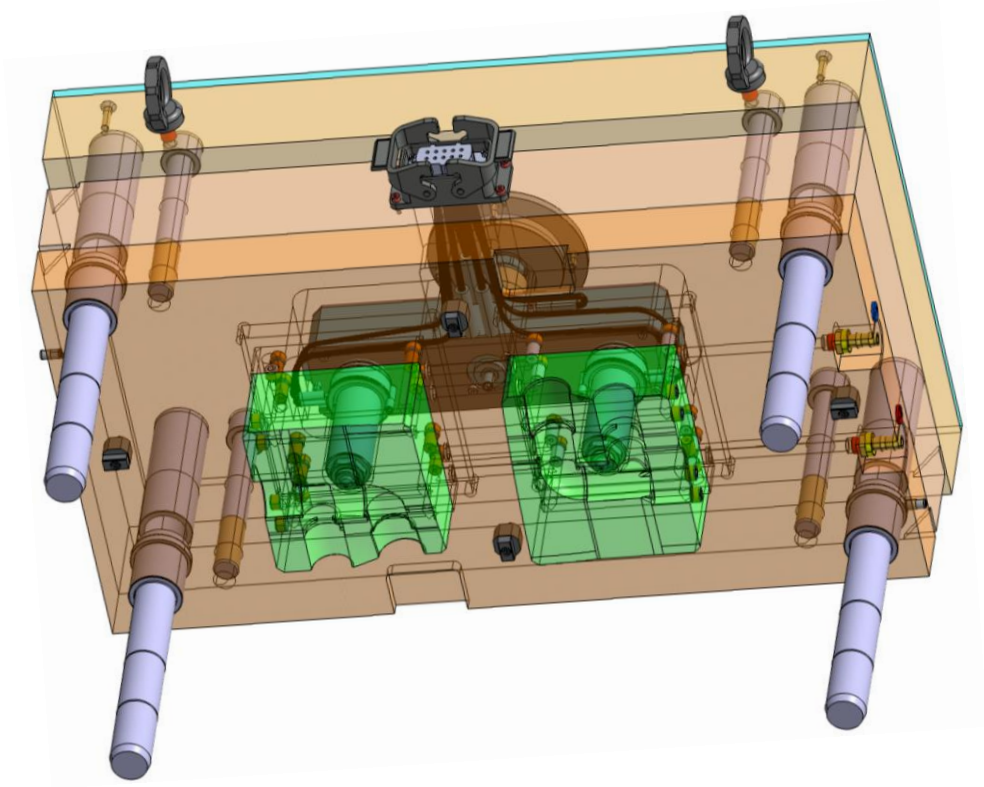
Mezi ostatní komponenty se řadí všechny, které doposud nebyly zmíněny. To však neznamená, že jsou tyto součásti méně významné než ostatní. Patří sem vodící čepy, vodící pouzdra, šrouby, středící komponenty a další díly. Ty zajišťují správnou funkci a bezproblémový chod při vstřikovacím procesu. Téměř všechny normalizované díly byly voleny od firmy Meusburger. Konkrétní druhy a označení použitých standardizovaných dílů jsou vypsány v kusovníku.

Jednotlivé desky, ze kterých se skládá forma, jsou vůči sobě vystředěny pomocí vodících čepů, vodících pouzder a trubek. Dále jsou desky sešroubovány ve tři funkční celky - pravá strana, levá strana a vyhazovací část. Pravá a levá strana jsou připnuty na vstřikovací stroj a vystředěny pomocí středících kroužků. Vůči sobě jsou taktéž středěny, a to za pomoci čtyř středících kostek. Vyhazovací systém se nachází v levé (pohyblivé) části formy, a je také středěn pomocí středících prvků. Pro snadnější manipulaci s formou jsou přidány čtyři šrouby s okem. Pro zabránění nechtěnému pootevření forma disponuje dvěma transportními můstky. Na pohyblivé části formy je přidáno mechanické počítadlo zdvihů pro zjištění celkového počtu cyklů.

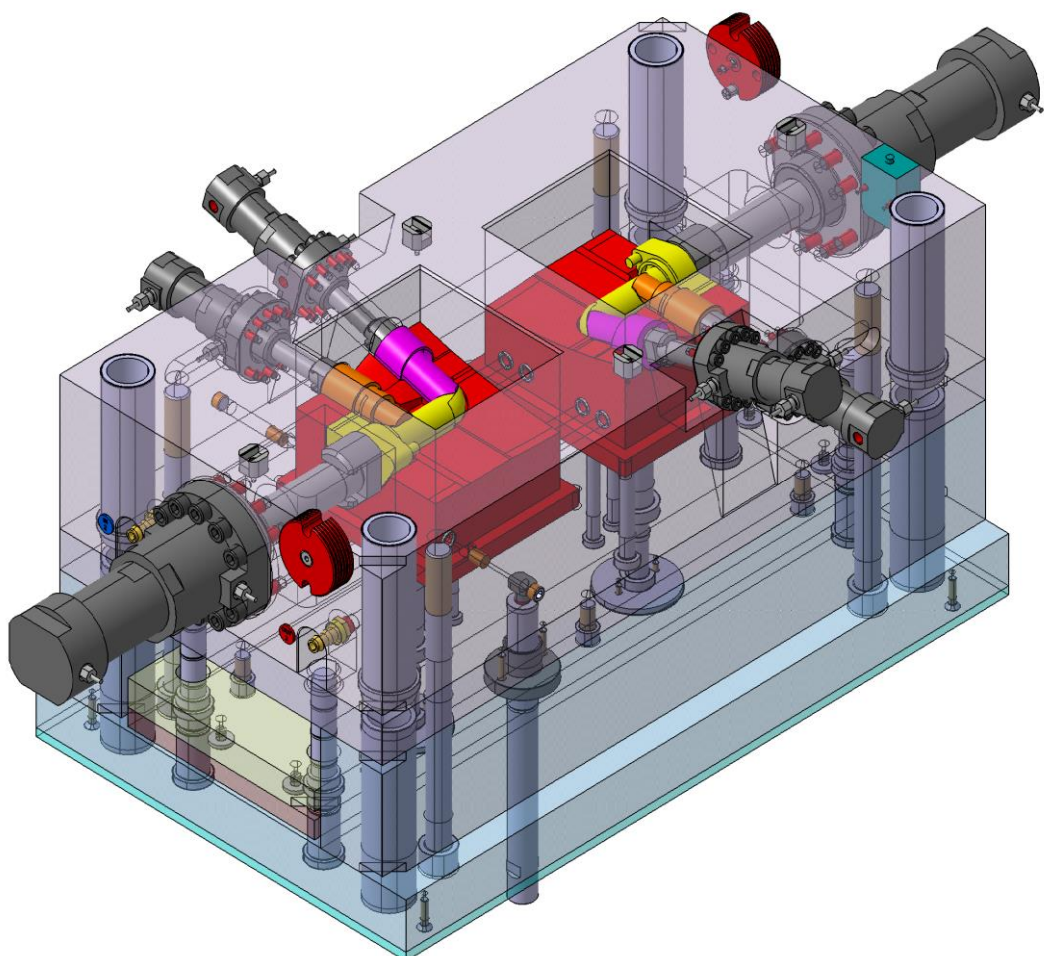


Obr. 38. Použité komponenty

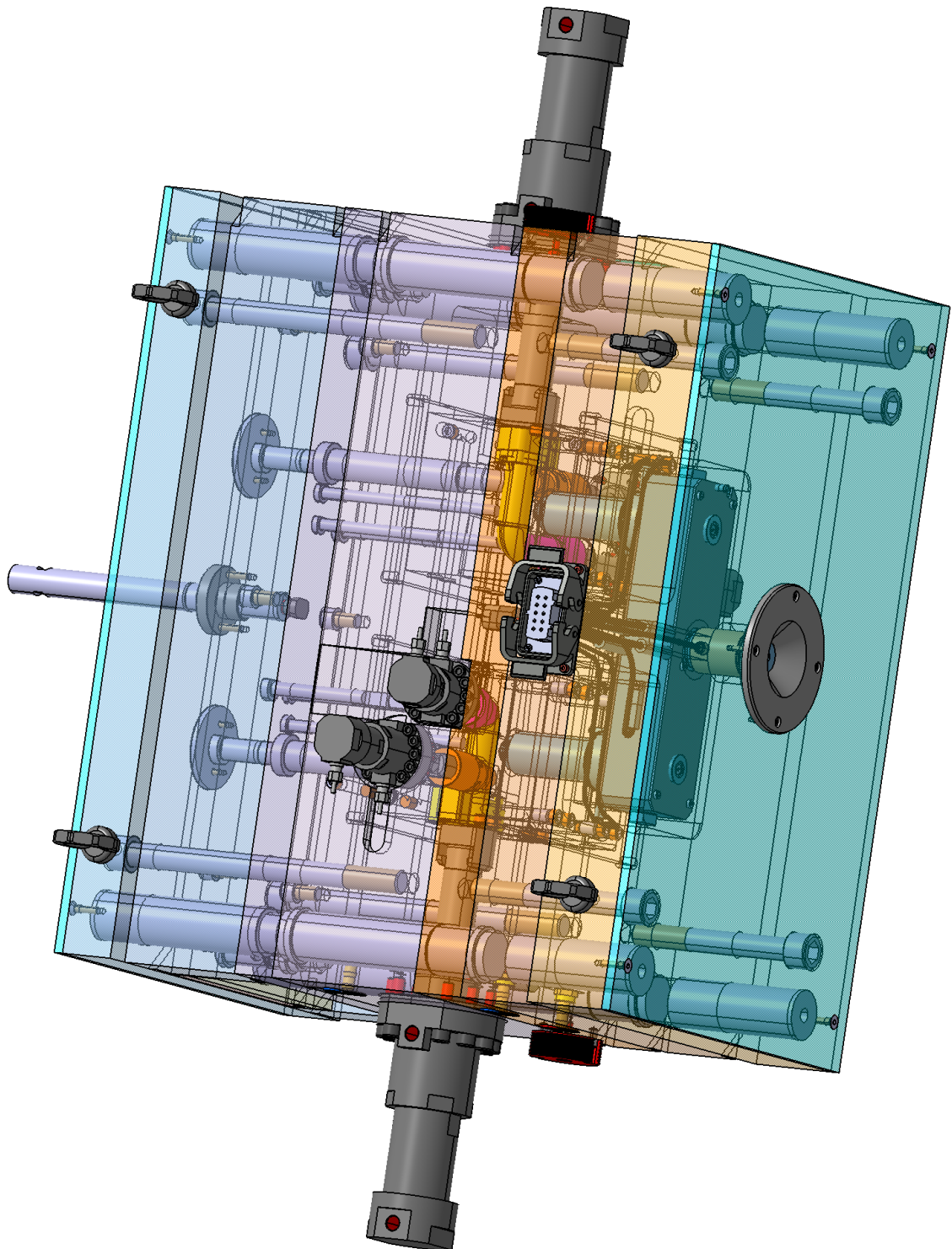
- a) středící kroužek, b) centrovací jednotka, c) transportní zámek, d) počítadlo cyklů, e) vodící čep, f) rychlospojka pro temperaci, g) vodící pouzdro, h) šroub s okem, i) dosedací podložka, j) závitový čep pro táhlo, k) označení připojení temperace



Obr. 39. Pravá polovina vstřikovací formy



Obr. 40. Levá polovina vstřikovací formy včetně vyhazovacího systému



Obr. 41. Kompletní sestavu vstřikovací formy

8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vzhledem k technickým parametrům a rozměrům vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj od výrobce ARBURG, konkrétně typ ALLROUNDER 630 S 250 tons 16.4 oz (45mm).



Obr. 42. vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S [39]

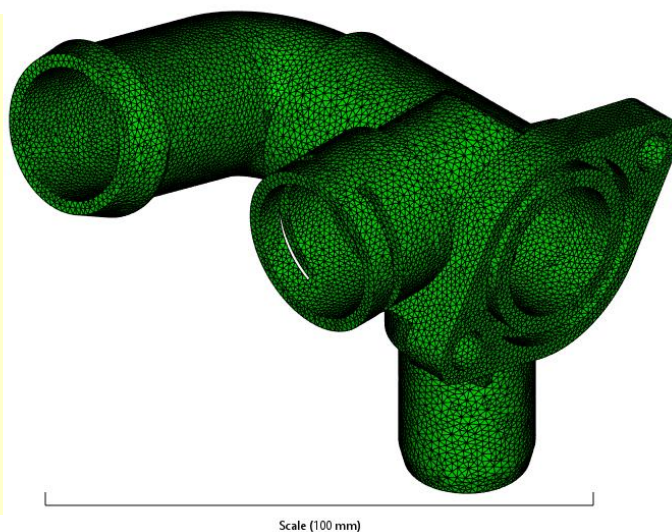
Tab. 6. Srovnání požadovaných parametrů formy a vstřikovacího stroje [39]

Parametry	Hodnoty formy	Hodnoty stroje
Uzavírací síla	590 kN	2500 kN
Objem dávky	60,3 cm ³	318 cm ³
Vstřikovací tlak	38,7 MPa	247 MPa
Velikost upínací desky	646 x 396 mm	900 x 900 mm (max.)
Výška formy	536 mm	350 mm (min.)
Vzdálenost mezi vod. sloupy		630 x 630 mm
Průměr šneku		45 mm

9 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Analýza vstřikovacího procesu proběhla v softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016. Zde je na výběr ze tří druhů sítě Midplain, Dual Domain, 3D síť. Vysíťování výstřiku proběhlo za pomoci Dual Domain sítě s celkovou délkou hrany na povrchu - 1.3 mm. Následuje kontrola kvality vysíťování, přičemž Aspect Ration (poměr stran) by neměl překročit udávanou hodnotu 20, jak stanovuje samotné Moldflow. V daném případě se hodnota zastavila v požadovaném rozmezí, a to na čísle 19.1. Po překročení této hodnoty by mohlo dojít ke zkreslení některých výsledků.

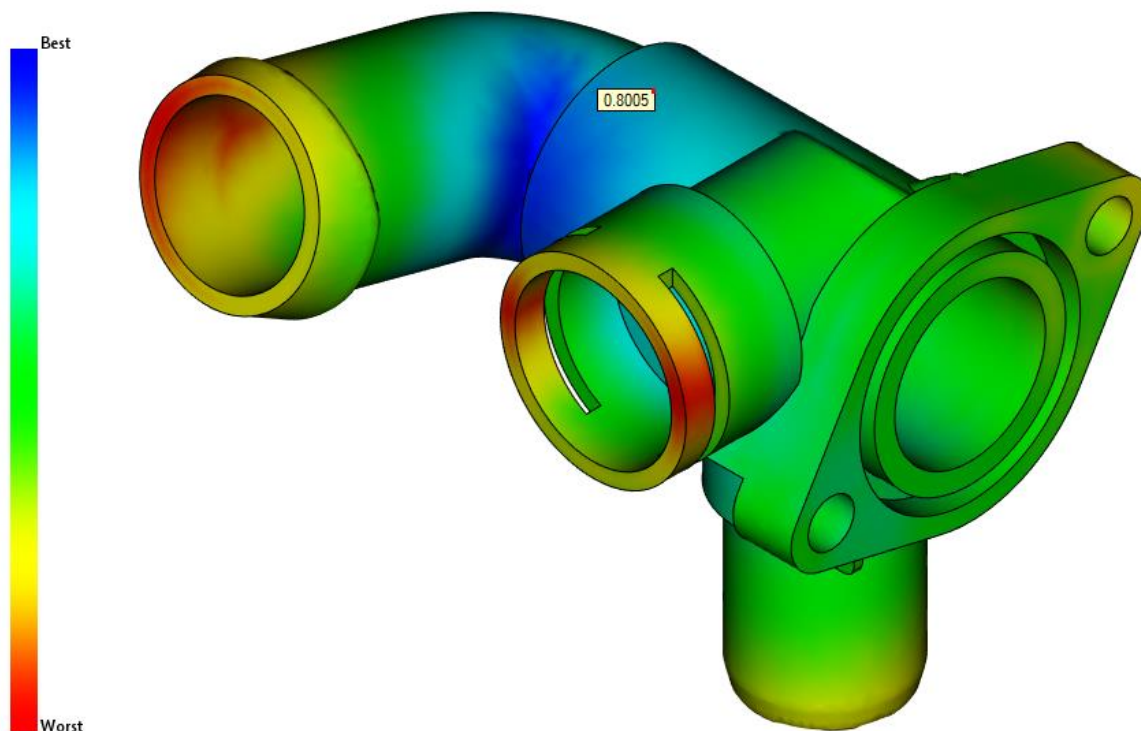
Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
19.13	1.58	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		172938
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		87.8%
Reciprocal percentage		87.6%



Obr. 43. Statistika sítě s vysíťovaným modelem

9.1 Analýza umístění vtoku (gate location)

Po vytvoření 3D modelu v softwaru CATIA V5R20, byla před samotnou konstrukcí vstřikovací formy provedena analýza Gate Location, která určí neoptimálnější místo umístění vtoku. Analýza obsahuje celkem dva druhy výsledků. Druhá část zobrazuje odpor toku taženiny v dutině formy. Tento druh simulace je velmi rychlý, přičemž stačí pouze model správně vysíťovat, a nastavit druh vstřikovaného materiálu. Materiál byl zvolen PA66-GF30 s obchodním názvem Akulon S223-HG6 (viz. kapitola 6.1). Procesní podmínky byly pro tento případ ponechány výchozí. Další nastavení je pouze pro případ, kdy by bylo potřeba plnění dutiny formy dvěma a více vtoky. V tomto případě se jedná o plnění jedním ústím vtoku, a proto mohla být analýza spuštěna ihned po vysíťování a přidání materiálu.

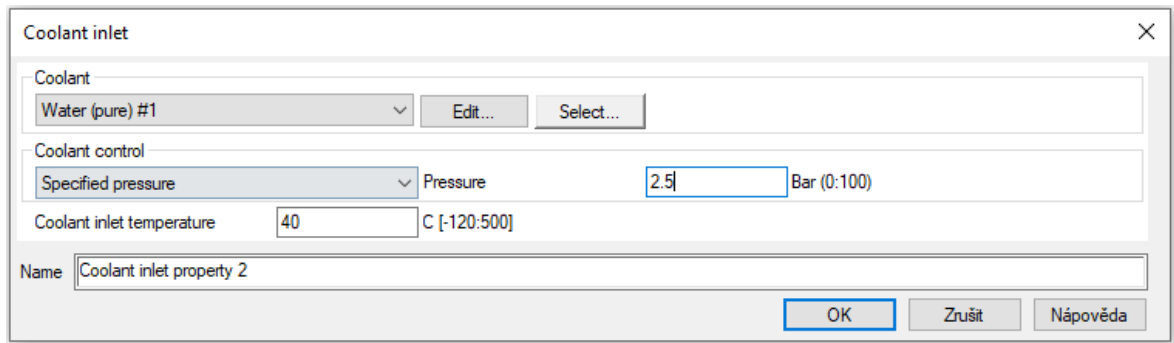


Obr. 44. Vhodnost umístění vtoku

Na Obr. 44 lze vidět výsledek z analýzy, přičemž modrá barva (hodnota 1) vykazuje nejvhodnější umístění vtoku s pozvolným přechodem až do červeně značených míst (hodnota 0). Ty znázorňují místa s nejméně vhodným umístěním vtoku, kterým by se měl konstruktér stoprocentně vyhnout. Zvolené místo umístění vtoku je zobrazeno na výstřiku, a nabývá hodnoty 0.8, což je podle dané analýzy správně zvolené umístění.

9.2 Nastavení analýzy

Po vložení vtokového a temperačního systému, spolu s jejich velikostní definicí a vysítování, následuje přepnutí na typ analýzy - Cool + Fill + Pack + Warp (Chlazení + Plnění + Dotlak + Smrštění). Další bodem je zvolení materiálu. Ten byl již zvolen v předchozí analýze, a tudíž zůstává. Na vysítovaný vtokový systém je umístěn ukazatel místa vstřiku taveniny do vyhřívaného vtokového systému. Podobně je tomu i při temperačních kanálech, kde je zapotřebí dále nastavit druh a teplotu temperačního média a jedno kritérium z ovládní chladící kapaliny. Konkrétní hodnoty jsou zobrazeny v Obr. 45.

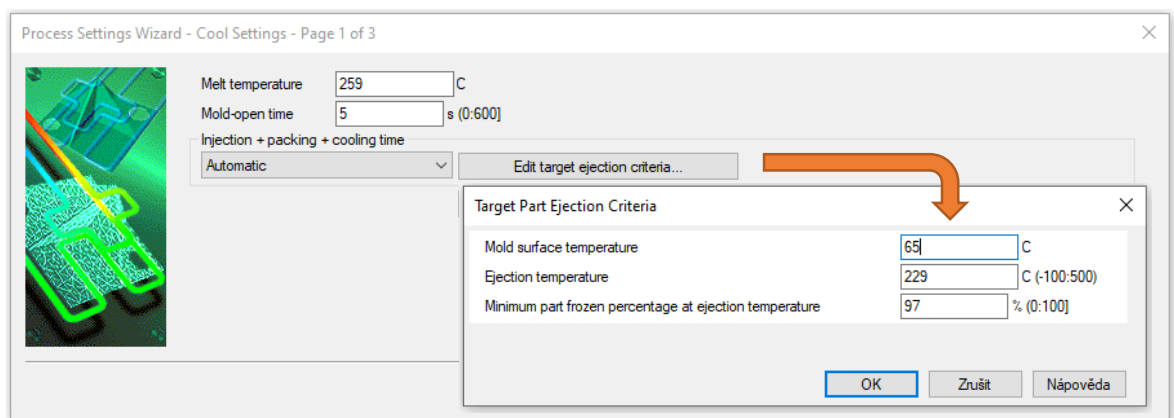


Obr. 45. Nastavení temperačního média

Dalším krokem je vytvoření fiktivní vstřikovací formy, která má totožné hodnoty jako navržená sestava vstřikovací formy v softwaru CATIA.

9.2.1 Procesní podmínky

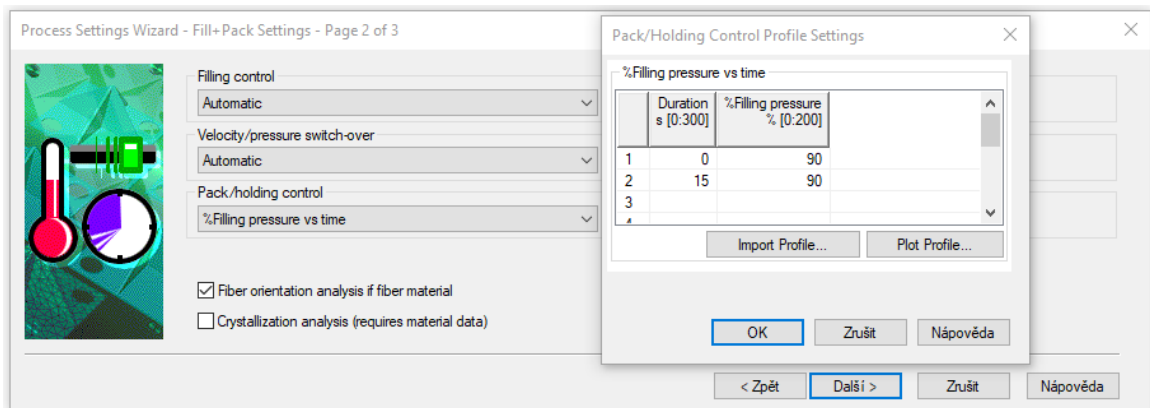
Poslední nastavení analýzy je prováděno v sekci procesní podmínky. V síti Dual Domain se tyto podmínky skládají ze tří oken. První sekce je zaměřena na výpočet chlazení.



Obr. 46. Procesní podmínky pro analýzu chlazení

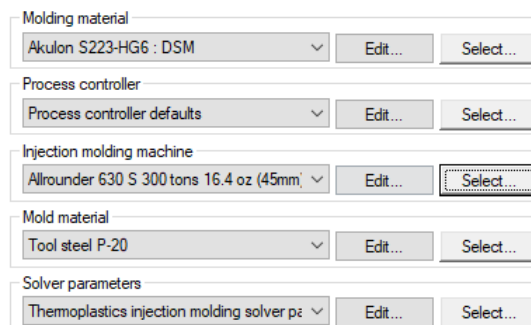
Jednotlivé teploty jsou přebrány přímo z materiálového listu pro správné zpracování zvoleného polymeru. Poslední hodnota určuje minimální procentuální část ztuhnutí výstřiku při vyhazovací teplotě.

Druhá část z procesních podmínek se zabývá plněním dutiny formy společně s dotlakem. Kromě plnění se v této sekci nastavuje materiál formy a konkrétní vstřikovací stroj, který musí splňovat potřebné požadavky.



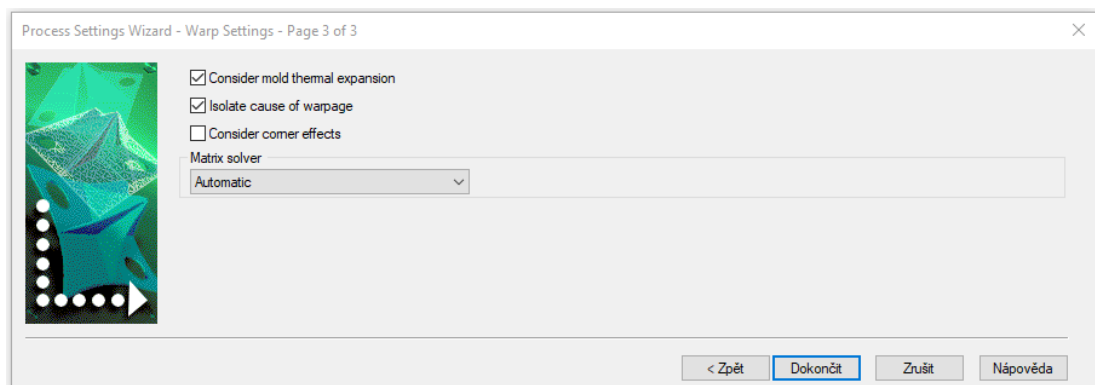
Obr. 47. Procesní podmínky pro analýzu plnění a dotlaku

Vstřikovací stroj byl nastaven podle konkrétních požadavků, zmíněných v kapitole 8. Dále je v pokročilém nastavení zvolení materiálu vstřikovací formy. Moldflow má ve výchozím nastavení zvolenou nástrojovou ocel P-20, a pro tento případ byla volba materiálu ponechána.



Obr. 48. Pokročilé nastavení plnění a dotlaku

Třetí, a zároveň poslední část procesních podmínek, se zabývá výpočtem smrštění. Jsou zde zvoleny dva body. První značí uvažování teplotní roztažnosti formy, a druhý bod izoluje příčiny deformací. Maticové řešení bylo ponecháno na automatické.



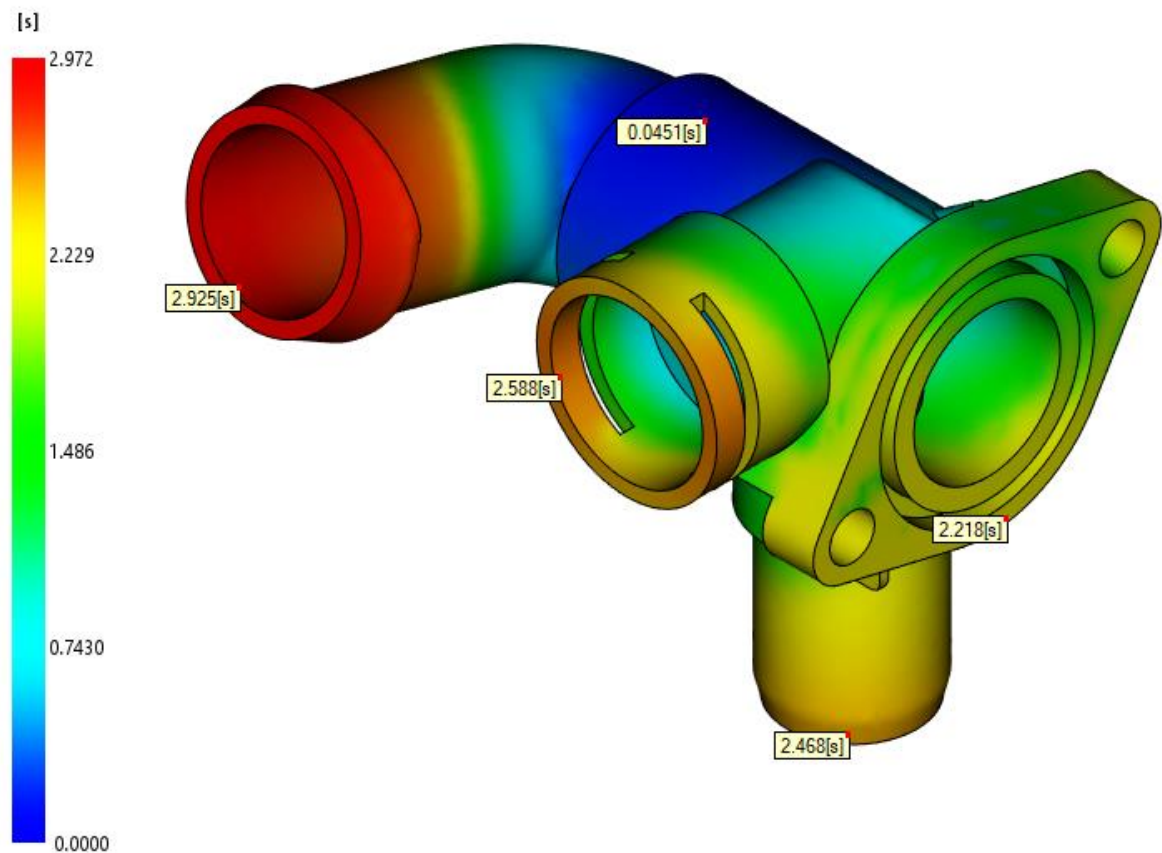
Obr. 49. Procesní podmínky pro analýzu smrštění

9.3 Výsledky analýzy plnění a dotlaku (flow)

V této kapitole jsou zpracovány výsledky o plnění tvarové dutiny formy. Mezi nejvíce všeobecně zmiňované výsledky této části určitě patří čas plnění, tlak v místě vstříku nebo požadovaná uzavírací síla stroje a další.

9.3.1 Čas plnění (Fill time)

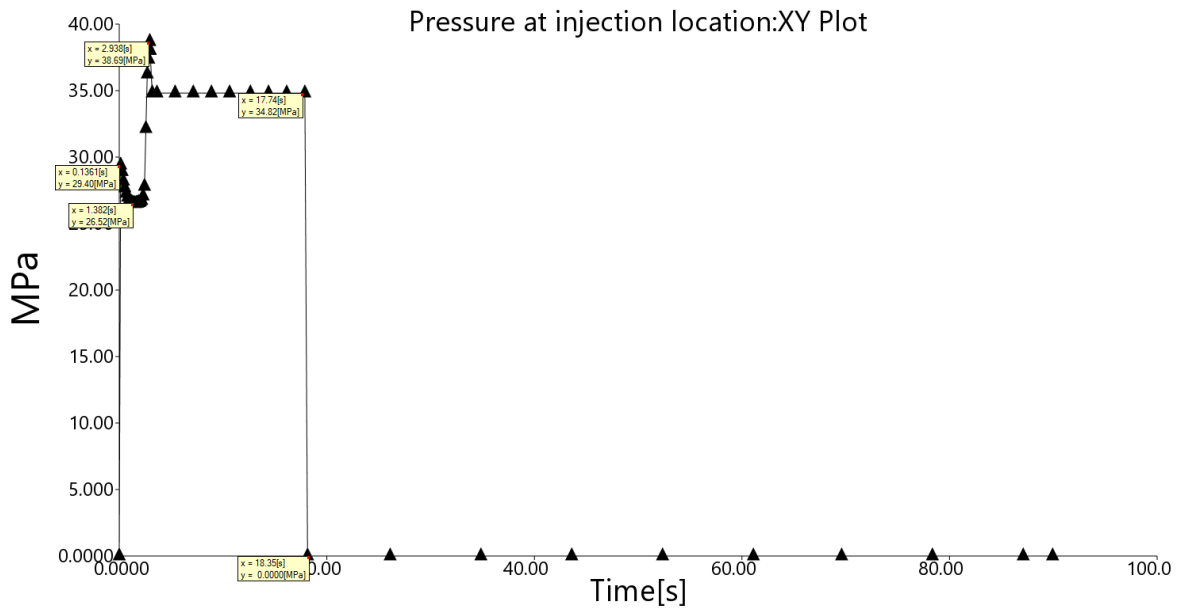
Analýza ukazuje místa zaplnění tvarové dutiny formy v daném čase. Místa označená modrou barvou jsou zaplněna téměř okamžitě po vstříku taveniny do dutiny a místa, barevně označena žlutě až červeně, se plní úplně jako poslední. Pokud by některé místo bylo vybarveno šedou barvou, značilo by to, že polymer nebyl schopen dotéct do určitého místa. Muselo by dojít k úpravě procesních parametrů, vtokového systému nebo ke změně geometrie samotného výstříku. Zde k tomuto případu nedošlo, a celá dutina se zaplní v čase 2,972 s. Na Obr. 50 jsou značená koncová místa s časem plnění v daném místě.



Obr. 50. Čas plnění

9.3.2 Tlak v místě vstříku (Pressure at injection location: XY plot)

Na Obr. 51 je znázorněn graf závislosti tlaku v místě vstříku na čas cyklu. Dle nastavení procesních podmínek došlo k přepnutí na dotlak v čase 2,938 sekundy, kdy hodnota tlaku činila 38,69 MPa. Ukončení fáze dotlaku nastalo po 15 sekundách od jeho působení podle nastavení analýzy, a jeho hodnota činila 34,82 MPa. Nakonec tlak po 18 sekundě od doby vstříku klesl na nulovou hodnotu, a dále již probíhal pouze proces chlazení.



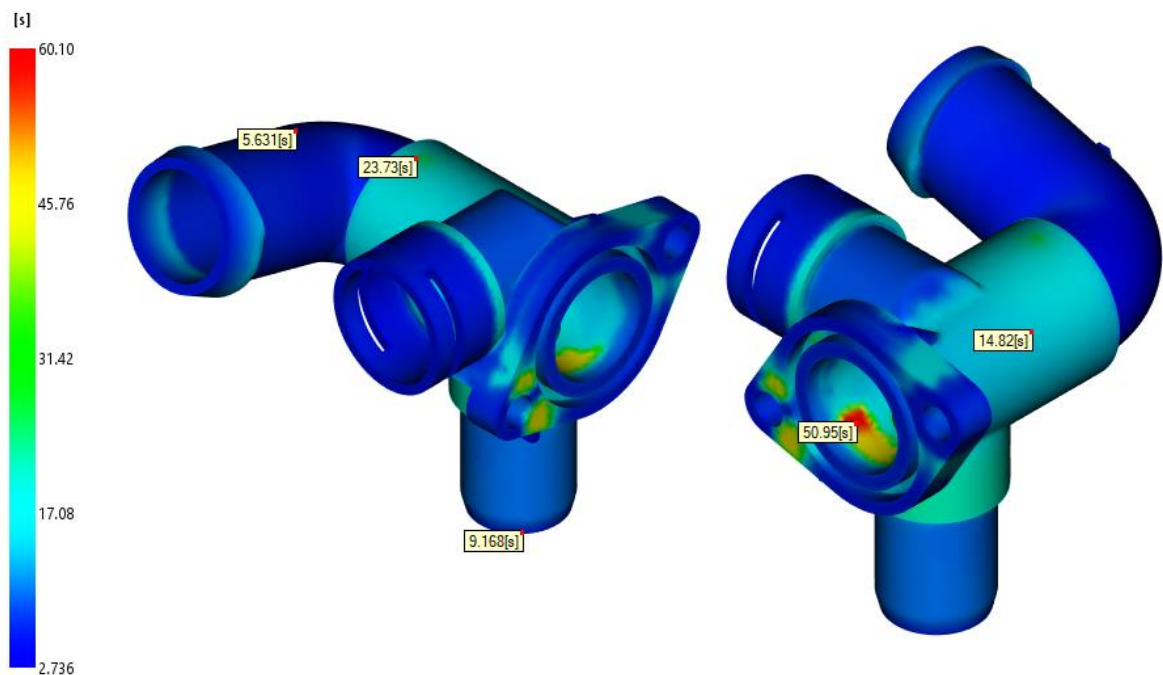
Obr. 51. Tlak v místě vstříku

9.3.3 Uzavírací síla (Clamp force: XY Plot)

Hodnota velikosti uzavírací síly je jeden ze základních parametrů při výběru vstříkovacího stroje. Uzavírací síla během vstříkovacího procesu ze začátku prudce vzroste až na hodnotu 60 tun. Hodnota začne prudce klesat po přepnutí na dotlak až k nulové hodnotě. Vstříkovací stroj se volí s bezpečností o 20 % více, než je udávána hodnota 60 tun. Zvolený vstříkovací stroj je schopen vyvinout sílu až 250 tun. Což je o mnohem více, než je potřeba. Právě z tohoto důvodu nemůže během vstříkovacího cyklu nastat případ, že by se forma pootevřela, a došlo k výrobě vadného kusu.

9.3.4 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temper.)

Barevná stupnice ukazuje potřebný čas k vyhození, jenž dosahuje 60 sekund od začátku vstřikovacího cyklu. Místo, ochlazující se nejpozději, je značeno červenou barvou v dutině výstřiku, kde okolo něj nepůsobí žádný vyhazovač. Vyhazovací kolíky jsou umístěny na místa označená modrou barvou. Tyto místa na výstřiku chladnou jako první, a tím pádem může dojít k co nejrychlejšímu a nejbezpečnějšímu vyhození bez jakékoliv deformace.



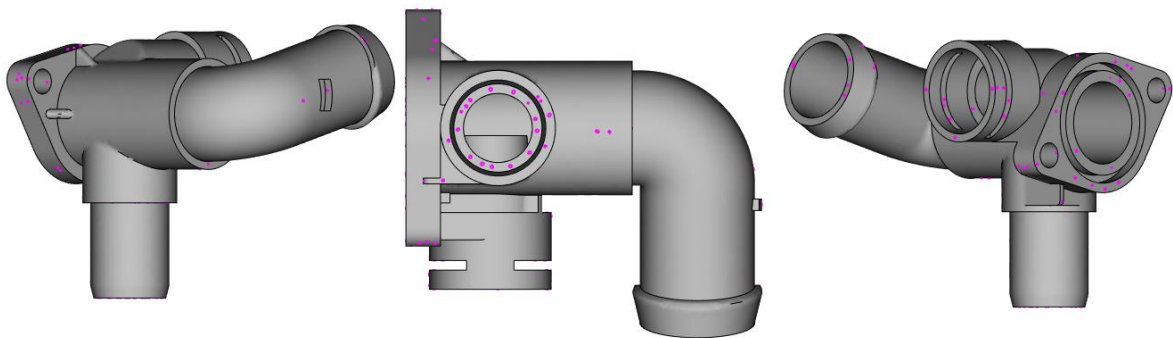
Obr. 52. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

9.3.5 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

Každý materiál má svou mezní hodnotu maximální rychlosti smykové deformace. Pro zvolený materiál PA66-GF30 s obchodním názvem Akulon S223-HG6, je maximální hodnota stanovena na 100 000 1/s dle informací ze softwaru Moldflow. Jednotlivé hodnoty smykových deformací různých materiálů lze najít v konkrétních materiálových listech. Maximální hodnota rychlosti smykové deformace zde dosahuje 9049,8 1/s. Tato hodnota zdaleka nedosahuje povolenému maximu, a tudíž nenastane degradace materiálu, která by takto mohla vzniknout.

9.3.6 Vzduchové kapsy (Air traps)

Při vstřikování polymeru do dutiny formy může docházet k uzavření vzduchu, a právě tato analýza zobrazuje místa s největší pravděpodobností jeho výskytu. Výstřik může při větších tloušťkách stěny obsahovat vzduchové bubliny, popřípadě spálená místa tzv. Dieselův efekt. Na Obr. 53 lze vidět, že výskyt je převážně predikován na pozicích, kde se nacházejí vedlejší dělicí roviny a některé vyhazovače. Zde by neměl nastat problém při úniku vzduchu z dutiny formy přes zmiňované dělicí roviny a vyhazovače.



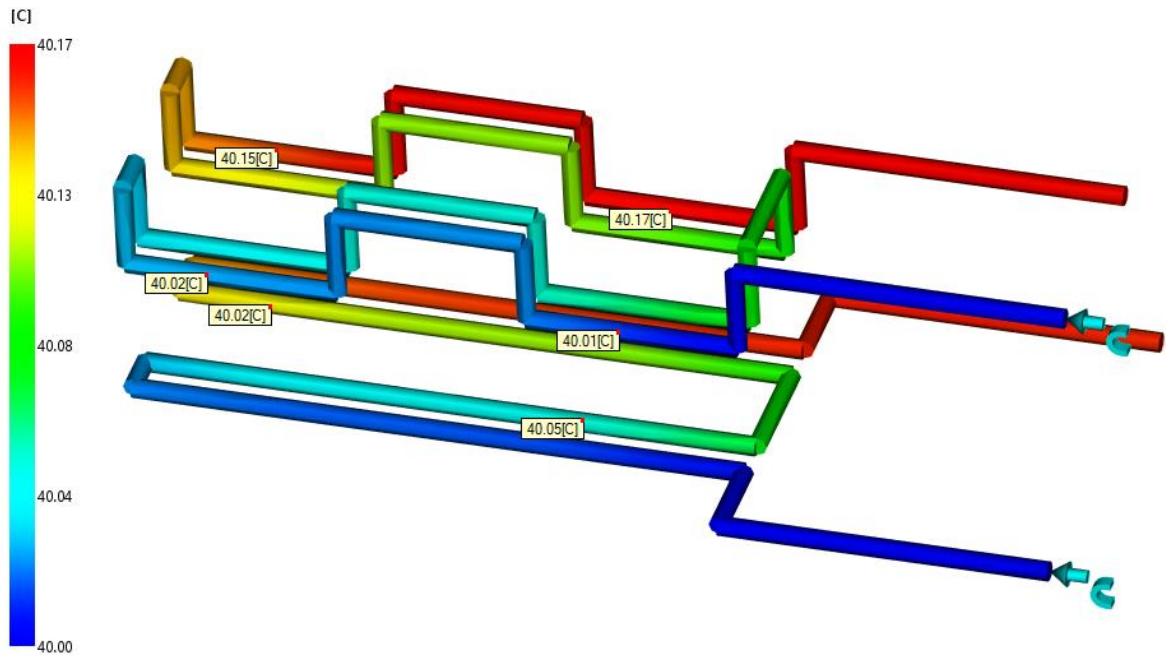
Obr. 53. Vzduchové kapsy

9.4 Výsledky analýzy teploty (Cool)

Podkapitoly této sekce se zabývají zpracováním výsledků analýzy teploty. Data jsou zobrazeny pod záložkou Cool. Výsledky této analýzy obsahují informace o teplotních pochodech, které se udávají ve výrobku, formě, vtokovém systému, a převážně v temperačním systému, jako takovém.

9.4.1 Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature)

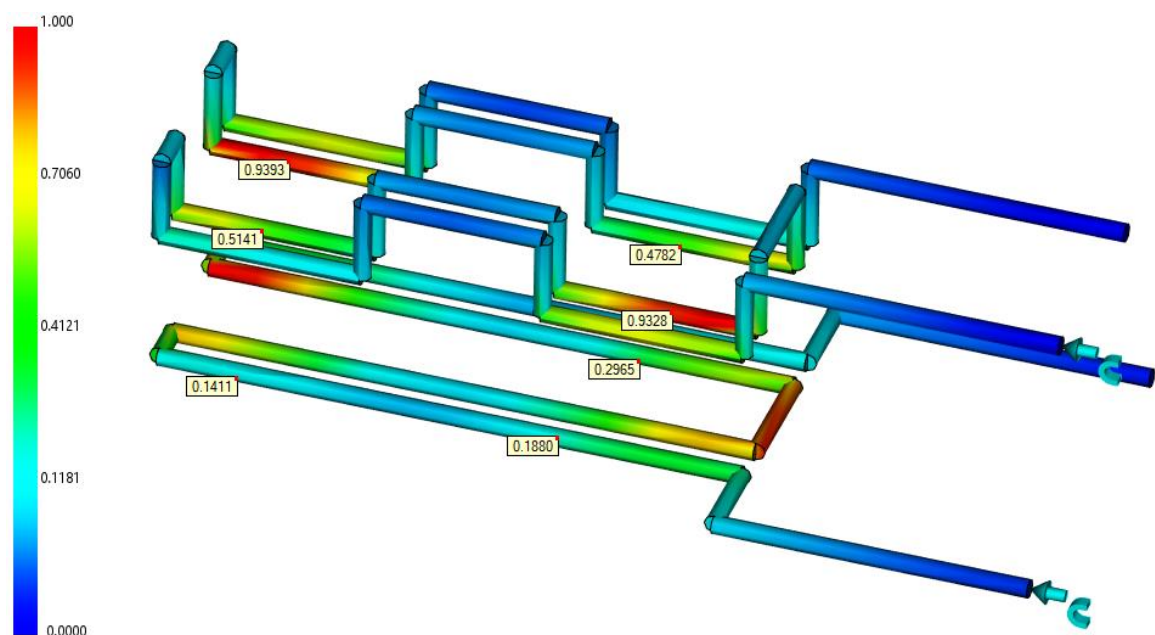
Podle zásad při návrhu konstrukce formy by teplotní spád mezi vstupem a výstupem média z temperačních kanálů neměl přesáhnout hodnotu 3 °C. V analyzovaném případě teplotní spád ukazuje maximální hodnotu 0,17 °C, což je zcela přijatelné. V místech, kde je potřeba mít konstantní teplotu, aby docházelo ke stejnému ochlazování obou tvarových dutin, je tento spád ještě menší. Teplotní rozdíl vzniká ohřátím temperačního média od formy, resp. od vstřikovaného polymeru.



Obr. 54. Teplota v temperačním okruhu

9.4.2 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)

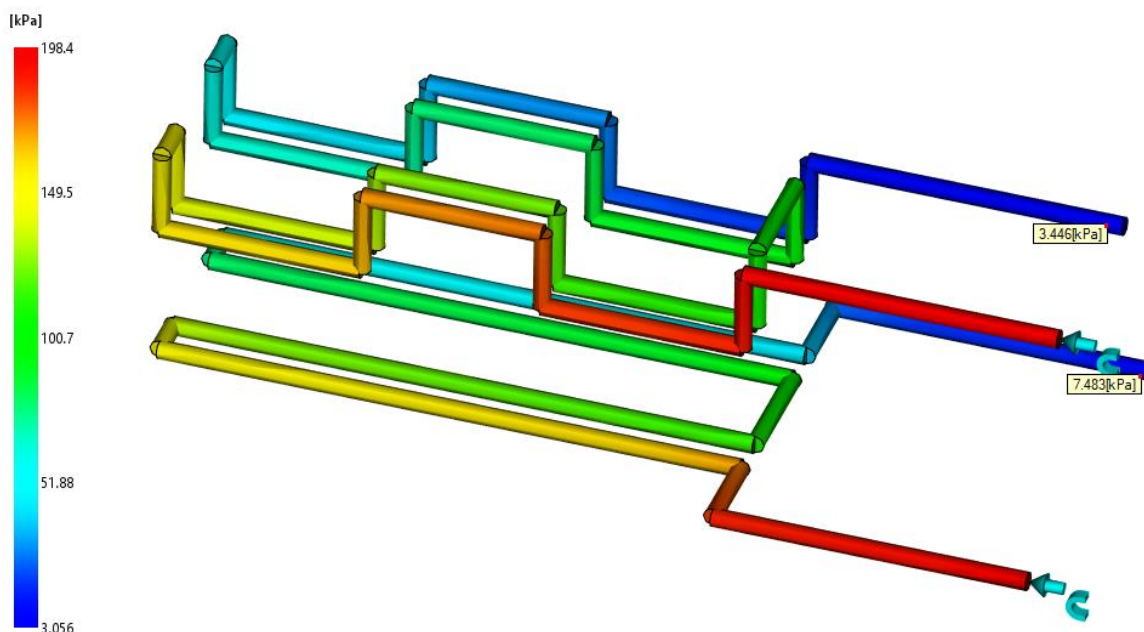
Analýza zobrazuje efektivitu navrženého temperačního systému při odvodu tepla. Čím je účinnost odvodu tepla vyšší, tím se blíží více hodnotě jedna, a podle barevného schéma lze určit efektivitu jednotlivých míst temperačního systému. Tudíž červená místa ukazují nejvíce efektivní místa pro chlazení výrobku. Jedná se o jeden z hlavních výsledků při zvolení vhodného temperačního okruhu.



Obr. 55. Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu

9.4.3 Tlak temperačního média (Circuit pressure)

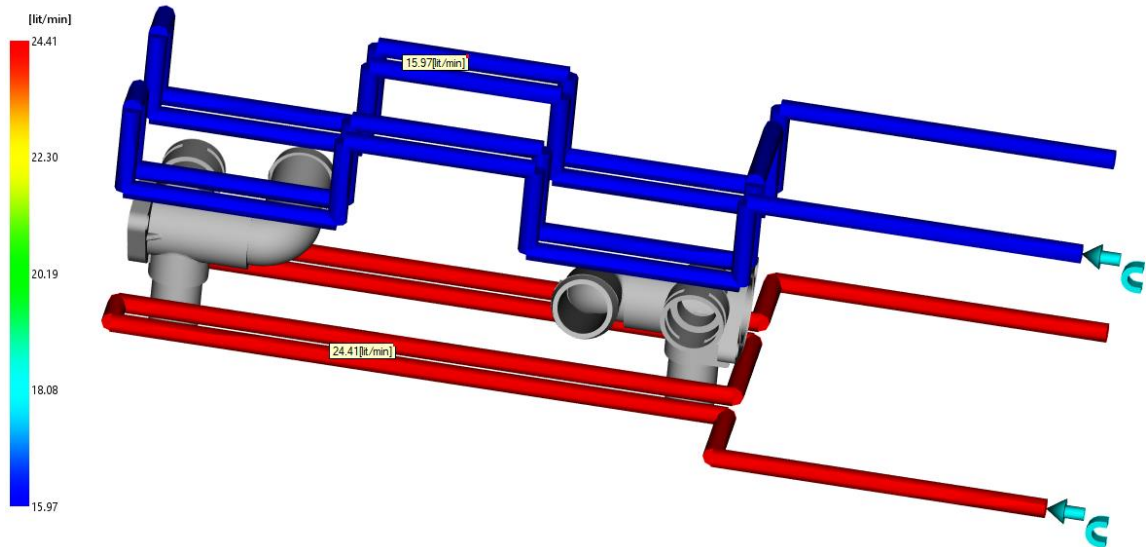
Další údaj z celkového počtu devatenácti výsledků v sekci temperace zkoumá, zda je v temperačních kanálech dostatečný tlak pro chod média. Tlak na vstupu dosahuje hodnoty 198,4 kPa, a na výstupu u menšího temperačního okruhu na levé straně formy 7,5 kPa. V druhém okruhu je ztráta větší, kdy tlak klesá až na hodnotu 3,5 kPa. I když je pokles markantní, tak důležitý je fakt, že nikde není nulový tlak. V této oblasti by nedocházelo k proudění temperačního média a vznikly by tzv. mrtvá místa.



Obr. 56. Tlak temperačního média

9.4.4 Průtok temperačního kanálu (Circuit flow rate)

Tato analýza informuje o objemových průtocích v jednotlivých okruzích temperačního systému. Temperační okruhy mají rozdílnou geometrii a délku, tudíž průtoky nabývají rozdílných hodnot. V delším okruhu značeným modrou barvou proteče téměř 16 l/min a v druhém okruhu 24,4 l/min. Platí zde stejné kritérium jako při tlaku v temperačním okruhu. Pokud by byl průtok nula, opět by se zastavilo proudění média, a vznikly by taktéž mrtvá místa. Průtok dále ovlivňuje Reynoldsovo číslo (viz. kapitola 9.4.5).

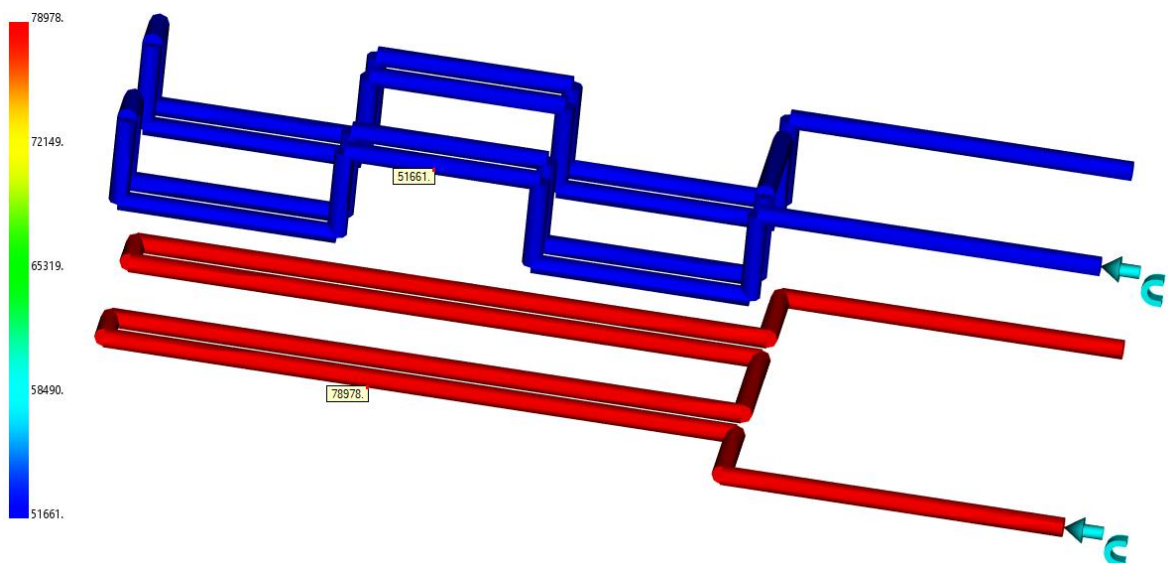


Obr. 57. Průtok temperačního kanálu

9.4.5 Reynoldsovo číslo temperace (Circuit Reynolds number)

Reynoldsovo číslo (Re) je bezrozměrná veličina, která dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu, a podle jeho hodnoty lze určit, zda se jedná o proudění laminární nebo turbulentní. Pro lepší sdílení tepla je nutné překročit hodnotu 10 000, přičemž se médium dostane do oblasti turbulentního proudění. Velikost Re je ovlivněno některými parametry, jako jsou například druh použitého temperačního média, teplota a geometrie kanálů. Akceptovatelný je i případ, kdy Re leží v tzv. přechodové oblasti ($Re > 2300$).

V analyzovaném případě Re převyšuje hodnotu 10 000, a to konkrétně na 51 661 a 78 978, a z tohoto hlediska je temperace vyhovující, neboť leží v oblasti turbulentního proudění.



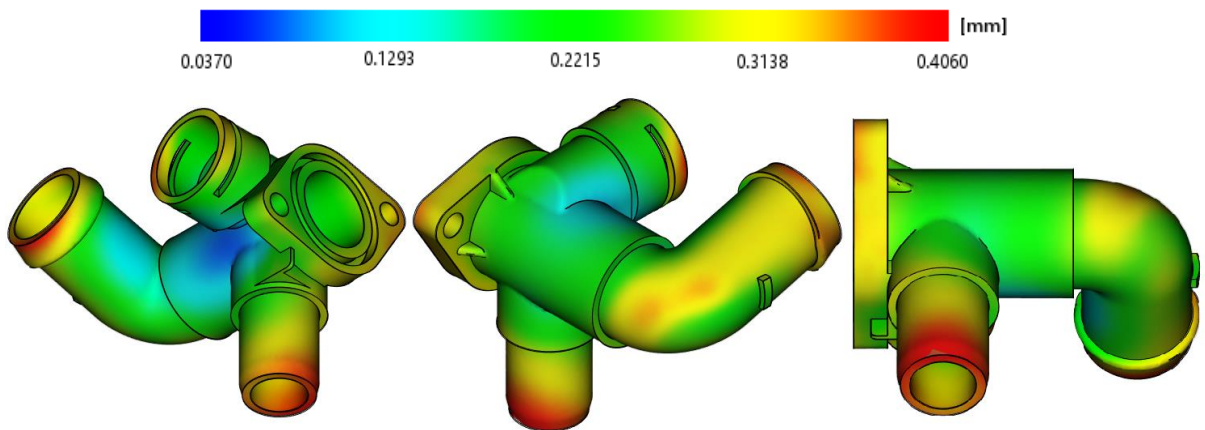
Obr. 58. Reynoldsovo číslo temperace

9.5 Výsledky analýzy smrštění a deformace (Warp)

Poslední část výsledků ze simulace vstřikovacího procesu je zaměřena právě na smrštění a jednotlivé deformace. Jednak jak celku, tak i deformace v požadovaných osách (x, y, z). Rozdíl mezi deformací a smrštěním je v tom, že při smrštění nastává objemová změna v čase tuhnutí vstřikovaného materiálu, a deformace představuje změnu tvaru při zachování stejného objemu výrobku.

9.5.1 Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection)

Na Obr. 59 je zobrazena celková deformace od všech jevů působících na výstřik. Snížení hodnoty deformace se dá například předejít delší dobou dotlaku, úpravou parametrů pro temperační systém nebo případnou změnou materiálu, jenž tvoří výstřik. Hodnota deformace je v tomto případě maximálně 0,4 mm, a nachází se ve spodní části výrobku. Vzhledem k velikosti tloušťky stěny je tato hodnota akceptovatelná, a nebude nijak výstřiku vzniklé smrštění překážkou.

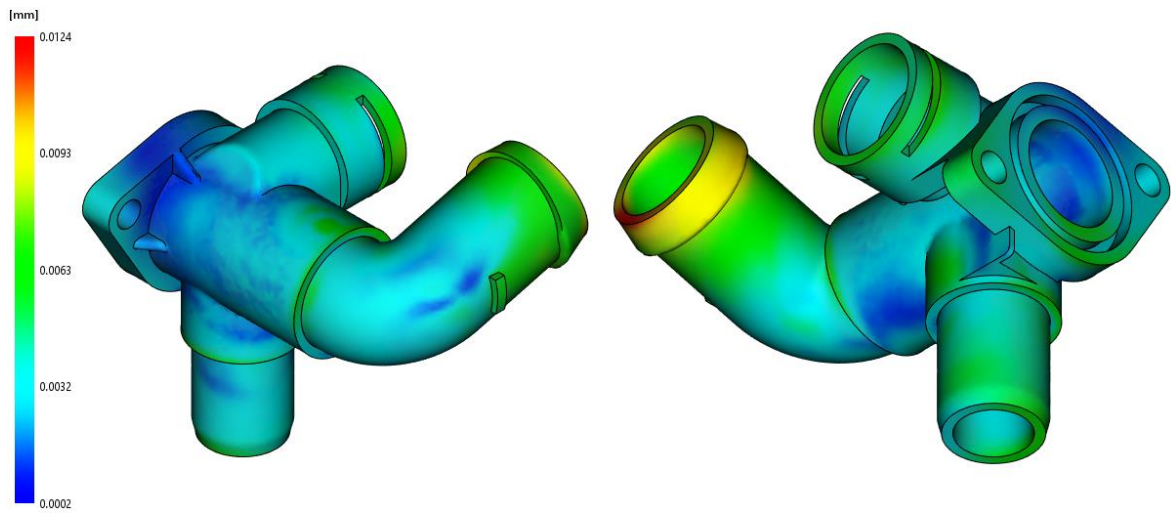


Obr. 59. Celková deformace

9.5.2 Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling: Deflection)

Na další straně práce je zobrazen výsledek analýzy deformace, způsobené vlivem chlazení. Deformace je takřka nulová, a tohle je přesně žádoucí aspekt. Deformace by mohla vzrůst při příliš náhlém ochlazení, a výrobek by nedosahoval požadované kvality. Vzhledem k velikosti maximální deformace 0,0124 mm není potřeba měnit nastavení pro temperační

system. Všechna místa jsou rovnoměrně zasáhuta tímto vlivem, až na jednu malou oblast, ale přes zanedbatelný rozměr není potřeba nijak měnit geometrii, či jiné parametry samotné temperace.



Obr. 60. Deformace vlivem chlazení

ZÁVĚR

Cílem tvorby diplomové práce byl návrh vstřikovací formy na přírubu chladiva. Zvolený materiál pro výstřik byl použit PA66-GF30 s obchodním názvem Akulon S223-HG6.

Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První část se zabývá teoretickou problematikou, která je zaměřena převážně na vstřikování termoplastů, jejich použití v automobilovém průmyslu, kontrola výstřiků a samotnou stručnou kapitolou o konstrukci forem. Druhá, a více obsáhlá část, se dá rozdělit do dvou hlavních sekcí. První sekce se zabývá konstrukcí samotné formy, a druhá polovina je zaměřena na analýzu procesu vstřikování. Mezi tyto dvě kapitoly vstupuje ještě jedna malá kapitola, která se zabývá vhodnou volbou vstřikovacího stroje. Ten byl zvolen od německé společnosti ARBUG, konkrétně se jedná o hydraulický typ ALLROUNDER 630 S.

Konstrukce formy se odvíjela od předem stanovených cílů. Po vytvoření 3D modelu dílu v softwaru CATIA V5R20 následoval návrh vstřikovací formy se dvěma tvarovými dutinami. Software Moldflow Synergy 2016 od společnosti Autodesk pomohl stanovit umístění vtoku před samotnou konstrukcí formy. Pro bezpečné odformování byla vytvořena tvarová vložka s jednou hlavní dělicí rovinou a třemi vedlejšími. Dutinu výstřiku tvořily tři posuvné čepy, ovládané hydraulickými válci. Tyto válce velmi ovlivnily celkovou velikost vstřikovací formy, neboť jim musely být přizpůsobeny rozměry tvarových desek. Dále byl zvolen horký vtokový systém, který přímo ústí do tvarové dutiny, a tím nedochází k vytváření vtokového zbytku. Celá dutina formy se naplní za 2,97 sekundy a výrobek je ochlazen na vyhazovací teplotu za 60 sekund. Temperační systém se skládá ze dvou samotných okruhů o průměru 10 mm dle doporučení literatury, vzhledem k velikosti stěny výstřiku. Ve vrtačných kanálech proudí jako temperační médium voda o teplotě 40 °C, o nastaveném tlaku 2,5 bar. Simulační software dále poukázal na potřebu minimální uzavírací síly 60 tun, aby nedošlo k pootevření formy během vstřikování. Dále vyhodnotil predikovaný výskyt vzduchových kaps. Ty se převážně nacházejí v dělicích rovinách, popřípadě v místě trubkového vyhazovače. Při vstříknutí taveniny do dutiny formy by vzduch měl odejít právě v těchto místech bez větších problémů. Případný nedostatek odvzdušnění by se zjistil až při prvních testech formy, a následovalo by dodatečné odvzdušnění, jak je popsáno v teoretické části. Pro sestavení návrhu byly použity téměř všechny normalizované díly od firmy Meusburger. Součástí diplomové práce jsou přidány výkresy vstřikovací formy, včetně kusovníku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie I* [online]. Zlín, 2005 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/939/mod_resource/content/2/Skripta_MMCH_I.pdf
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [3] LEVICK, Richard. Plastic Production Is On the Rise Worldwide — but Declining in Europe. *Brinknews.com* [online] London, 2019. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.brinknews.com/quick-take/plastic-production-on-the-rise-worldwide-declining-in-europe/2/>
- [4] BROŽEK, Jiří. *Fyzikální chemie polymerů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019. ISBN isbn978-80-7592-039-3.
- [5] GARSIDE, Micke. Global plastic production statistics. *Statista.com/* [online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- [6] NEUHÄUSL, Emil. Polymery amorfní a semikrystalické z hlediska vstřikování. *mmspektrum.com* [online]. Praha, 2012 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymer-y-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [7] FORM, Karel. Kolik je na světě aut? Přes miliardu a počet roste. *Forum24.cz* [online]. Praha, 2017. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.forum24.cz/lifestyle/2018/01/04/kolik-je-na-svete-aut-pres-miliardu-a-pocet-roste/>
- [8] DOBRŮŇ, Martin. Plasty v automobilovém průmyslu. *Mmspektrum.com* [online]. [cit. 2020-05-13]. Praha, 2017. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [9] NEUHÄUSL, Emil. Problematika vstřikování plastových dílů pro automobily. *Mmspektrum.com* [online]. Praha, 2017. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/problematika-vstrikovani-plastovych-dilu-pro-automobily.html>

- [10] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: Úvod do vstřikování termoplastů*, Praha, BEN-technická literatura, 2009, ISBN 978-80-7300-250-3.
- [11] SNOW, Andrei, Heat-resistant polyamide for automotive applications in the high temperature range. *Plastics-rubber.basf.com* [online]. Shanghai, 2018. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://plastics-rubber.basf.com/global/en/performance_polymers/products/ultramid_endure.html
- [12] VÖRÖS, František, Oceněné plastové aplikace v automobilech. *Schp.cz* [online]. Praha, 2020. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.schp.cz/info/ocenene-plastove-aplikace-v-automobilech>
- [13] Internetové stránky formy BOSCH: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/>
- [14] LEŠIKAR, Adam, TECHKON SpectroDens New Generation, *printa.cz* [online]. Brno, 2016. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <http://printa.cz/techkon-spectro-dens-ng/>
- [15] CHALOUPKA, Jiří, Poka – Yoke, *chaloupka-kvalita.cz/* [online]. Strakonice, 2010. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <http://www.chaloupka-kvalita.cz/poka-yoke>
- [16] LÉVAY, Radek, Poka – Yoke. <Http://www.ikvalita.cz/> [online]. Plzeň, 2012. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=139>
- [17] LÉVAY, Radek, Poka – Yoke. <Https://lean6sigma.cz/> [online]. Praha, 2013. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/poka-yoke-vizualizace/>
- [18] Internetové stránky firmy MEUSBURGER: <https://www.meusburger.com/>
- [19] LEWIS, Jennifer A., Hiro Matsuyama, Glen Kirby, Sherry Morissette, J. Francis Young. *Polyelectrolyte effects on the rheological properties of concentrated cement suspensions*. Austria, 2004. [cit. 2020-05-13] Dostupné online <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1151-2916.2000.tb01489.x>
- [20] CUTLER, Thomas, How colorants affect plastic characteristics. *Manufacturingtomorrow.com* [online]. New York 2018 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2018/05/how-colorants-affect-plastic-characteristics/11518/>
- [21] SOVA, Miloš, Smrštění a dodatečné smrštění při vstřikování plastů. *Techportal.cz* [online]. Brno, 2015. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/smrsteni-a-dodatecne-smrsteni-pri-vstrikovani-plastu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxXa2VafSdbW0/>

- [22] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, 2002. ISBN isbn3-446-21659-6.
- [23] OSSWALD, T. A. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. 764 s. ISBN 978-3-446-40781-7
- [24] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser, 2007. 308 s. ISBN 15-699-0421-9
- [25] DOKOUPIL, Daniel. *Konstrukce vstřikovací formy pro kryt konvice*. Zlín, 2018. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Adam Škrobák.
- [26] GASTROW, Hans. *Injection molds: 130 proven designs*. 3. ed. Munich ; Vienna: Hanser, 2002. ISBN 3446214488
- [27] NEUHÄUSL, Emil. *Vstřikování plastických hmot*. Praha: SNTL, 1973. Řada chemické literatury.
- [28] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134s.
- [29] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [30] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2013. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [31] HYNEK, Martin, Štěpán HELLER a Eduard MÜLLER, *Plastové díly* [online]. Plzeň. 2013. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://kks.zcu.cz/>
- [32] JURÁSEK, Martin. *Konstrukční návrh vstřikovací formy*. Zlín, 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Štěpán Šanda.
- [33] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: II. Díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vydání. Brno: Uniplast, 1999. 214 s
- [34] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2014. ISBN 978- 80-88058-65-6. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>

- [35] LENFELD, P Studijní materiály, Technická univerzita Liberec. Dostupné z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/V5.pdf
- [36] Internetové stránky firmy Dassault Systemes – CATIA: https://www.3ds.com/products-services/catia/?wockw=card_content_cta_1_url%3A%22https%3A%2F%2Fblogs.3ds.com%2Fcatia%2F%22
- [37] Internetové stránky firmy DSM: <https://plasticsfinder.com/en/datasheet/Akulon%C2%AE%20S223-HG6/8n5xB>
- [38] Software Autodesk Moldflow Synergy 2016
- [39] Internetové stránky firmy ARBURG: www.arburg.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**Zkratky polymerů**

PMMA	Polymethylmethakrylát
PC	Polykarbonát
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PBT	Polybutyltereftalat
POM	Polyoxymethylen
EPDM	Etylen-Propylen-Dienový-Kaučuk
TPE	Termoplastický elastomer
EVA	Ethylenvinylacetát
SAN	Styrén akrylonitril
ABS	Akrylonitril butadien styren
SB	Styren-butadien
PA6	Polyamid 6
PBT	Polybutyltereftalát
PA66-GF30	Polyamid 66 s 30 % výztuží v podobě skelných vláken
PS	Polystyren
NR	přírodní kaučuk

Zkratky použitých veličin

T_g	teplota skelného přechodu
T_m	teplota tání
T_f	teplota tečení
T_c	teplota rozkladu polymeru
DS/PS	dodatečné smrštění

L_{V_0}	výchozí rozměr výstřiku před expozicí
L_{V_1}	konečný rozměr výrobku po expozici
VS/MS	výrobní smrštění
L_F	rozměr formy
L_V	Rozměr výstřiku

Zkratky použitých jednotek

°C	stupeň Celsia
km	kilometr
kg	kilogram
mm	milimetr
m	metr
s	sekunda
%	procento
MPa	megapascal
kPa	kilopascal

Další použité zkratky

CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacturing
FEM	Finite Element Method
3D	trojrozměrný objekt
2D	dvojrzměrný objekt
Re	Reynoldsovo číslo
MoS ₂	Molybdenit
SVS	studený vtokový systém
VVS	vyhříváný vtokový systém

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vývoj produkce polymerů od roku 1950.....	12
Obr. 2. Základní rozdělení polymerů.....	13
Obr. 3. Základní rozdělení plastů vhodných pro vstřikování	14
Obr. 4. Základní informace pro výběr termoplastů	15
Obr. 5. Vliv vybraných procesních parametrů na průběh smrštění [10].....	23
Obr. 6. Krypt nasávání vzduchu pro diesellové motory vyrobený z Ultramid Endure[11].....	25
Obr. 7. Elektronický stabilizační systém ESP 9 od firmy Bosch [13].....	27
Obr. 8. Spektrofotometr a denzitometr v jednom zařízení [14].....	28
Obr. 9. Příklad aplikace metody Poka-Yoke [17].....	29
Obr. 10. Řez vstřikovací formy	30
Obr. 11. Vstřikovací forma	31
Obr. 12. Snížení hmotnosti výstřiku a zkrácení výrobního cyklu při zachování mechanických vlastností žebrováním dílu pro výrobu vstřikování termoplastů	33
Obr. 13. Základní typy vtokových ústí [35].....	35
Obr. 14. Příklady symetrického uspořádání studeného vtokového systému [32].....	36
Obr. 15. Vytápěný rozvodný blok [32].....	37
Obr. 16. Základní provedení vyhřívaných trysek [34].....	38
Obr. 17. Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálů [25]	40
Obr. 18. Porovnání efektu různého průměru temperačních kanálů [25]	41
Obr. 19 Příklad vyhazovacího kolíku (ofsetový) [18]	42
Obr. 20. Vzduchové vyhazovače [31]	43
Obr. 21. Příklad odvodušňovací drážky [31]	44
Obr. 22. Příruha chladiwa → 3D model	48
Obr. 23. Obsahové centrum normalizovaných dílů firmy Meusburger	50
Obr. 24. CATIA V5 moduly	51
Obr. 25. Levá a pravá tvarová vložka (hlavní dělicí rovina)	53
Obr. 26. Posuvné tvarové čepy a jádro trubkového vyhazovače (vedlejší dělicí roviny)....	53
Obr. 27. Hydraulické válce (tahače)	54
Obr. 28. Komponenty potřebné k montáži hydraulických válců	55
Obr. 29. Uložení hydraulického ovládnání čepů	55
Obr. 30. Vyhřívaný vtokový systém včetně kabeláže se zásuvkou	56
Obr. 31. Zapuštěná vyhřívaná tryska v tvarové vložce.....	57
Obr. 32. Temperace pravé strany formy	58
Obr. 33. Temperace levé strany formy	58

Obr. 34. Rychlospojky s označením temperačních kanálů	59
Obr. 35. Vyhazovací systém	59
Obr.36. Místa působení vyhazovacího systému na výstřik	60
Obr. 37. Odvzdušňovací kolík	61
Obr. 38. Použité komponenty	62
Obr. 39. Pravá polovina vstřikovací formy.....	63
Obr. 40. Levá polovina vstřikovací formy včetně vyhazovacího systému	63
Obr. 41. Kompletní sestavu vstřikovací formy.....	64
Obr. 42. vstřikovací stroj ALLROUNDER 630 S	65
Obr. 43. Statistika sítě s vysítovaným modelem	66
Obr. 44. Vhodnost umístění vtoku.....	67
Obr. 45. Nastavení temperačního média.....	68
Obr. 46. Procesní podmínky pro analýzu chládnutí.....	68
Obr. 47. Procesní podmínky pro analýzu plnění a dotlaku.....	69
Obr. 48. Pokročilé nastavení plnění a dotlaku	69
Obr. 49. Procesní podmínky pro analýzu smrštění	69
Obr. 50. Čas plnění	70
Obr. 51. Tlak v místě vstřiku	71
Obr. 52. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty.....	72
Obr. 53. Vzduchové kapsy.....	73
Obr. 54. Teplota v temperačním okruhu	74
Obr. 55. Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu	74
Obr. 56. Tlak temperačního média	75
Obr. 57. Průtok temperačního kanálu	76
Obr. 58. Reynoldsovo číslo temperace	76
Obr. 59. Celková deformace	77
Obr. 60. Deformace vlivem chlazení	78

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Rozdílné chování amorfních a semikrystalických polymerů při procesu vstřík.	16
Tab. 2. Smrštění některých termoplastů	21
Tab. 3. Ovlivnění smrštění plnivy u materiálu PA6	22
Tab. 4. Základní vlastnosti materiálu PA66-GF30 Akulon S223-HG6 [37]	49
Tab. 5 Doporučené zpracovatelské teploty [38]	49
Tab. 6. Srovnání požadovaných parametrů formy a vstříkovacího stroje [39].....	65

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Materiálový list
- P II Zpracovatelské údaje pro Akulon S223-HG6
- P III Parametry zvoleného vstřikovacího stroje
- P IV Výkresová dokumentace:
- Sestava vstřikovací formy
 - Pohled na pravou a levou stranu
 - Kusovník

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

Property Data

Akulon®

Akulon® S223-HG6 PA66-GF30

30% Glass Reinforced, Heat Stabilized

Print Date: 2020-04-01

Properties	Typical Data	Unit	Test Method
Rheological properties			
	dry / cond		
Molding shrinkage [parallel]	0.2 / *	%	Sim. to ISO 294-4
Molding shrinkage [normal]	1.2 / *	%	Sim. to ISO 294-4
Mechanical properties			
	dry / cond		
Tensile modulus	9950 / 6500	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	200 / 125	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3.6 / 6	%	ISO 527-1/-2
Flexural modulus	8400 / -	MPa	ISO 178
Flexural strength	250 / -	MPa	ISO 178
Charpy impact strength (+23°C)	81 / 88	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	65 / 68	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	10 / 13	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	9 / 10	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties			
	dry / cond		
Melting temperature (10°C/min)	260 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	250 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	260 / *	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	0.2 / *	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (normal)	0.7 / *	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5 / *	mm	IEC 60695-11-10
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10

Akulon®, Arrite®, Amitel®, EcoPaXX®, ForT®®, Novamid®, Stanyl® and Xytron™ are trademarks of DSM.
All information supplied by or on behalf of DSM 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 DSM 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 practice whatsoever in respect of application, processing or use made of the aforementioned information, or product. The user assumes all responsibility for the use of all information provided and shall verify quality and other properties or any consequences from the use of all such information.

Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. This document replaces all previous versions relating to this subject.
Copyright © DSM 2020. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of DSM.

HEALTH · NUTRITION · MATERIALS



Property Data

Akulon[®] S223-HG6

Print Date: 2020-04-01

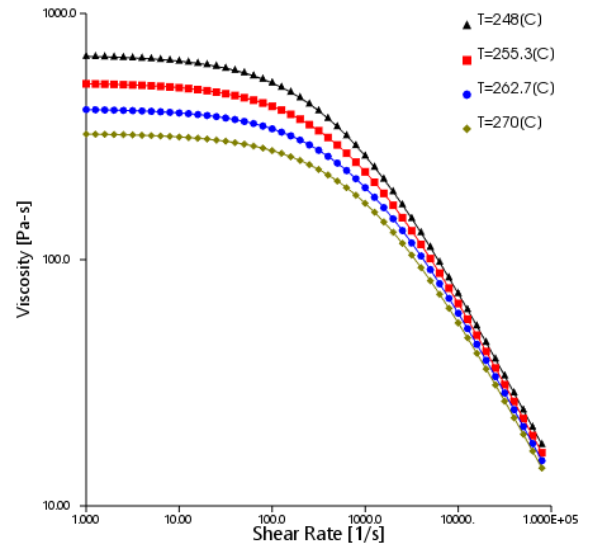
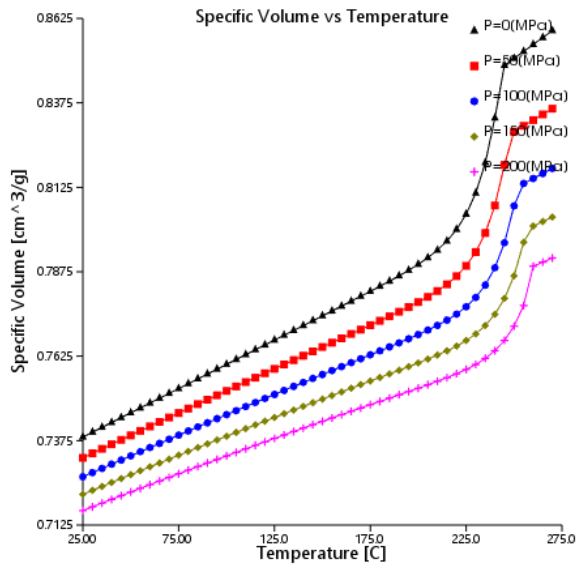
Properties	Typical Data	Unit	Test Method
Thickness tested	0.71 / *	mm	IEC 60695-11-10
Electrical properties dry / cond			
Relative permittivity (100Hz)	3.8 / 10	-	IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	3.5 / 4.1	-	IEC 60250
Dissipation factor (100 Hz)	90 / 2800	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	160 / 800	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E12 / 1E10	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	- / 1E13	Ohm	IEC 60093
Electric strength	30 / 25	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	500 / 500	V	IEC 60112
Other properties dry / cond			
Water absorption	6 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.6 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1360 / -	kg/m ³	ISO 1183

Akulon®, Amite®, Amite®, EcoPaXX®, ForTis®, Novamid®, Stanyl® and Xytron™ are trademarks of DSM.
 All information supplied by or on behalf of DSM in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supplied by research and, in good faith, believed reliable, but DSM 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 practice whatsoever in respect of application, processing or use made of the aforementioned information, or product. The user assumes all responsibility for the use of all information provided and shall verify quality and other properties or any consequences from the use of all such information.
 Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. This document replaces all previous versions relating to this subject.
 Copyright © DSM 2020. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of DSM.

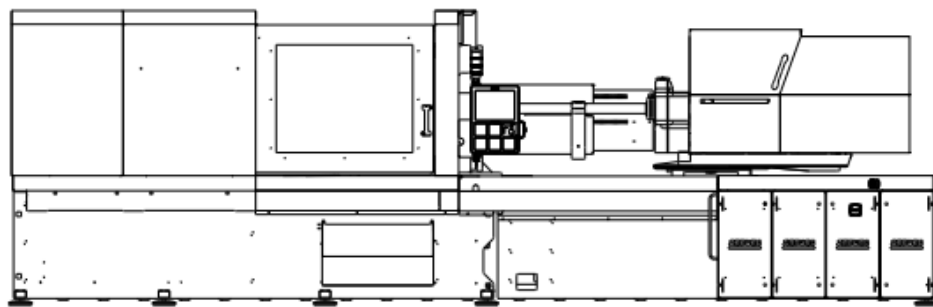
PŘÍLOHA P II: ZPRACOVATELSKÉ ÚDAJE PRO AKULON S223-HG6

Family name	POLYAMIDES (NYLONS, PPA, ...)
Trade name	Akulon S223-HG6
Manufacturer	DSM
Link	
Family abbreviation	PA66
Material structure	Crystalline
Data source	Manufacturer (DSM) : pvT-Supplemental : mech-Supplemental
Date last modified	26-JAN-06
Date tested	
Data status	Non-Confidential
Material ID	6469
Grade code	CM6469
Supplier code	DSM
Fibers/fillers	30% Glass Fiber Filled

Mold surface temperature	65	C
Melt temperature	259	C
Mold temperature range (recommended)		
Minimum	50	C
Maximum	80	C
Melt temperature range (recommended)		
Minimum	248	C
Maximum	270	C
Absolute maximum melt temperature	310	C
Ejection temperature	229	C
Maximum shear stress	0.31	MPa
Maximum shear rate	100000	1/s



PŘÍLOHA P III: PARAMETRY ZVOLENÉHO VSTŘIKOVACÍHO STROJE



ALLROUNDER 630 S

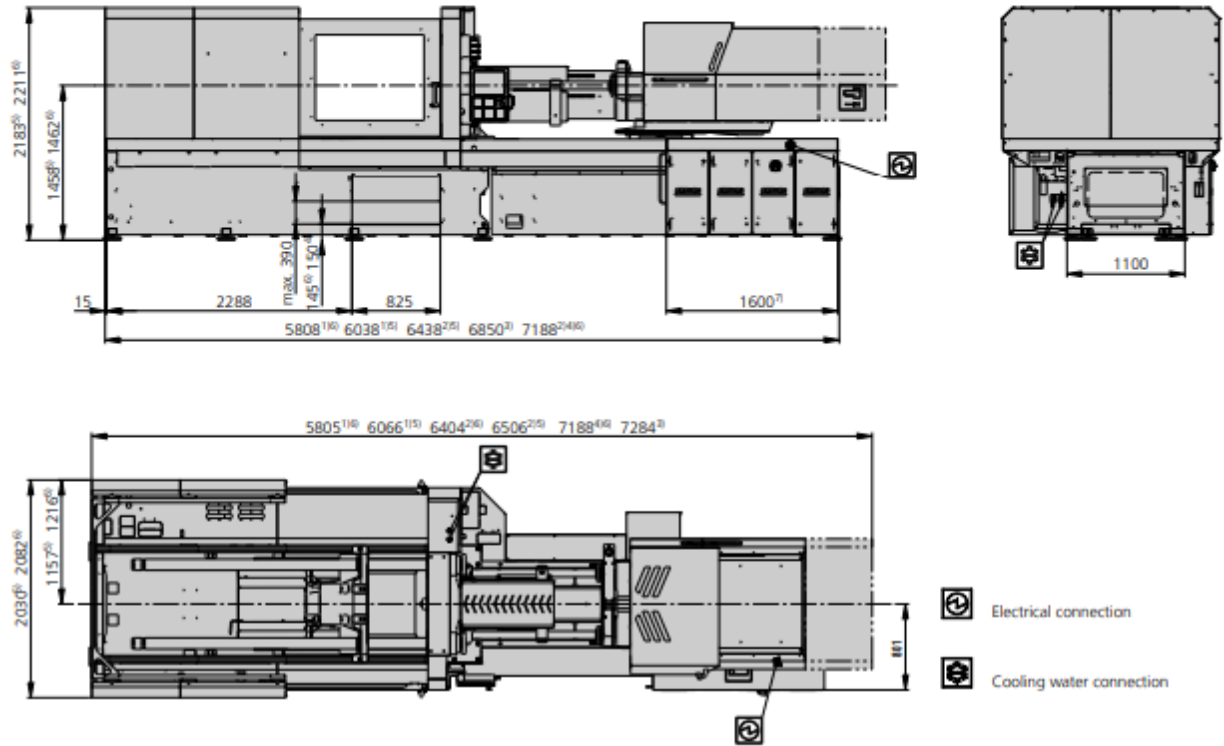
Distance between tie bars: 630 x 630 mm

Clamping force: 2500 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 800, 1300, 2100

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 630 S



- 1) Injection unit 800
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100 + 2 pumps
- 4) Injection unit 2100
- 5) Machine model with 1 pump or 2 pumps
- 6) Machine model with hydraulic accumulator
- 7) Subject to performance variant and injection unit size

TECHNICAL DATA | 630 S

Clamping unit			630 S		
with clamping force	max. kN		2500		
Opening force stroke	max. kN mm		725 600		
Mould height, fixed variable	min. mm		550 300		
Platen daylight fixed variable	max. mm		1150 900-1300		
Distance between tie bars (w x h)	mm		630 x 630		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		900 x 900		
Weight of movable mould half	max. kg		2500		
Ejector force stroke	max. kN mm		90 225		
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	min. s - mm	3,8 - 441		
	2 pumps	min. s - mm	2,3 - 441		
	Accum.	min. s - mm	1,7 - 441		

Injection unit			800			1300			2100		
with screw diameter	mm		45	50	55	55	60	70	60	70	80
Effective screw length	L/D		22	20	18	22	20	17	23	20	17,5
Screw stroke	max. mm		200			235			280		
Calculated stroke volume	max. cm ³		318	392	474	558	664	904	792	1078	1407
Shot weight	max. g PS		291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Material throughput	max. kg/h PS		46	53	59	86	96	115	125	145	175
	max. kg/h PA6.6		23	27	30	43	48	58	62	74	88
Injection pressure	max. bar		2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530
Holding pressure	max. bar		2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	242	300	364	238	284	388	---		
	2 pumps	max. cm ³ /s	242	300	364	238	284	388	224	306	400
	Accum.	max. cm ³ /s	530	656	792	714	848	1156	1132	1540	2012
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	54	60	66	40	43	51	---		
	2 pumps	max. m/min	54	60	66	40	43	51	43	51	58
	Accum.	max. m/min	15	17	19	19	21	25	21	25	28
Screw torque	max. Nm		880			1510	1640	1920	2140	2500	2550
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm		70 400			90 550			110 600		
Heating capacity zones	kW		19,9 8			22,9 8			31,4 8		

Drive and connection			1 pump (servo)		2 pumps			Accum.		
with injection unit			800	1300	800	1300	2100	800	1300	2100
Net weight of machine	kg		12200	12500	12200	12500	13200	---		
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)		< 65		73 3			< 70		
Oil filling	l		360		250	300	380	460		
Drive power ²	max. kW		45	45	45	45	55	30	37	45
Electrical connection ³	kW		68	74	68	71	89	53	63	70
	Total	A	---		---			---		
	Machine	A	125	125	100	100	125	80	100	125
Cooling water connection	max. °C		30		30			30		
	min. Δp bar		1,5 DN 25		1,5 G 2*			1,5 G 2*		

Machine type	
with EUROMAP size designation ¹	Drive
630 S 2500-800	1 2 Accum.
630 S 2500-1300	1 2 Accum.
630 S 2500-2100	- 2 Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

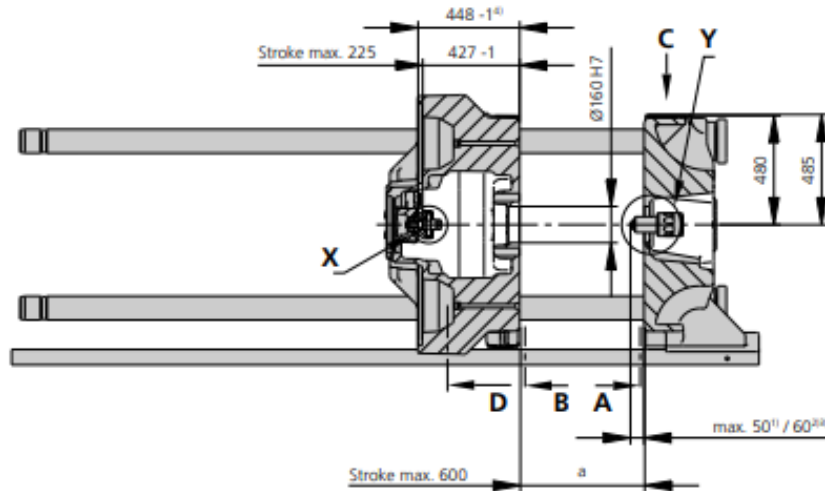
2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

[] Specifications apply to alternative equipment.

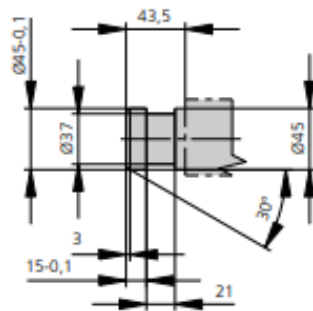
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S



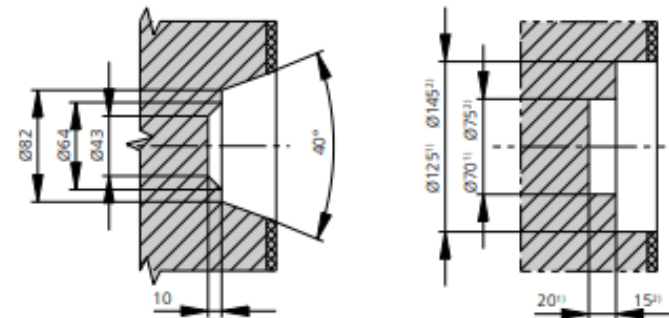
a min.	Mould installation height	
	1 pump	2 pumps
Fixed	550 (350)	(400, 500, 600, 700)
Variable	(300-700)	300-700

Value in brackets: option

Ejector bolt | X

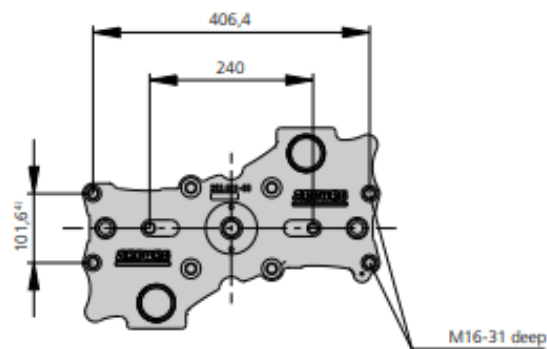


Bore in mould (if required) | Y

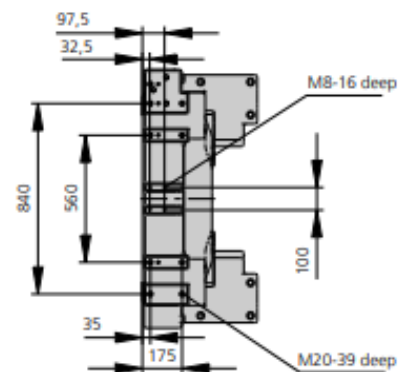


Thermaset execution -
2100 injection unit on request

Ejector plate | D



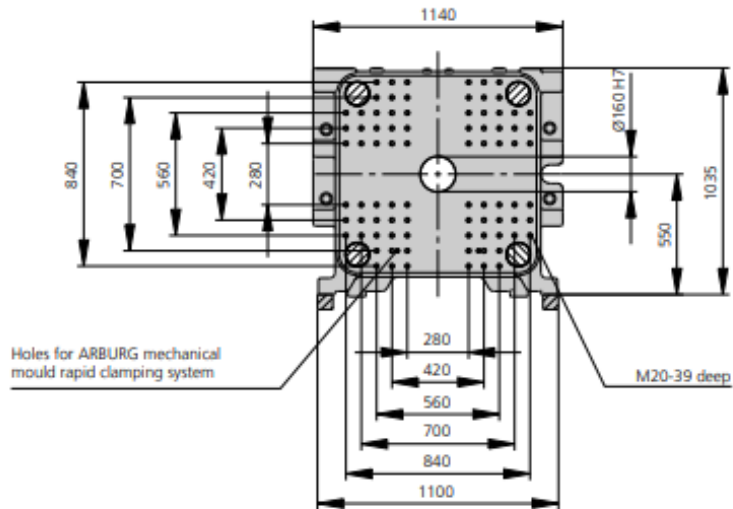
Robotic system mounting | C



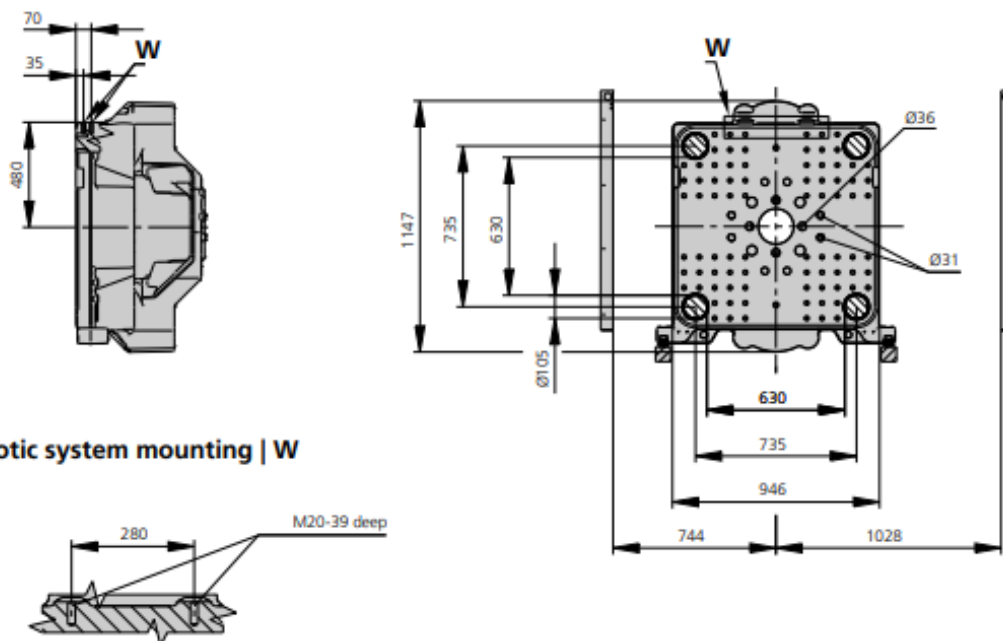
- 1) injection unit 800
- 2) injection unit 1300
- 3) injection unit 2100
- 4) Positions of ejector plate

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



1) Guide Ø27

SHOT WEIGHTS | 630 S

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		800			1300			2100		
Screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80
Polystyrene	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	284	350	424	498	593	807	707	962	1256
	max. g SAN, ABS ¹⁾	278	344	416	488	581	791	693	943	1231
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	327	404	488	574	683	930	814	1108	1447
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	304	375	454	534	635	865	757	1030	1346
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	300	371	449	527	627	854	747	1017	1329
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polycarbonate	max. g PC	305	377	456	536	638	868	760	1034	1351
Polysulphone	max. g PSU	316	390	471	554	659	897	785	1069	1396
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	289	357	431	507	603	821	719	978	1278
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	359	443	536	630	749	1020	893	1215	1588
Polyethylene terephthalate	max. g PET	346	427	517	607	723	984	861	1172	1531
Polyethylene	max. g PE-LD	219	271	328	385	458	624	546	744	971
	max. g PE-HD	227	280	339	398	473	644	564	768	1003
Polypropylene	max. g PP	232	286	346	406	484	658	576	784	1025
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	465	574	695	816	971	1322	1157	1575	2058
	max. g ETFE	408	504	609	716	852	1160	1015	1382	1805
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	351	434	525	616	734	998	874	1190	1554
	max. g PVC-P ¹⁾	324	401	485	569	678	922	808	1099	1436

1) average value

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