

# Konstrukce vstřikovací formy pro kryt motoru

Bc. Jan Bureš

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Bureš**  
Osobní číslo: **T16246**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro kryt motoru**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Vyhotovte 3D model vstřikovaného výrobku.
3. Proveďte simulaci vstřikovacího procesu.
4. Vypracujte konstrukční návrh vstřikovací formy.
5. Vyhotovte výrobní výkres výrobku a výkres sestavení vstřikovací formy.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **BOBČÍK a kolektiv, Formy pro zpracování plastů I. Díl-Vstřikování termoplast, Uniplast Brno, 2. opravné vydání 1999**
2. **Ducháček. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2011. ISBN 978-80-7080-788-0 (3. vydání)**
3. **ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Adam Škrobák, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

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

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevyjádřeně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví unitární předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, apisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> 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, § 35 odst. 3:

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní díla).*

<sup>41</sup> 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, § 60 Školní díla:

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy a užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením vstřikovací formy pro plastový kryt motoru automobilu a tokovou simulací taveniny. Práce je rozdělena do dvou polovin a to sice na teoretickou a praktickou část.

V první polovině jsou popsány materiály a jejich vlastnosti, dále pak technologie vstřikování a principy konstrukce vstřikovací formy.

V druhé polovině této práce byl zhotoven 3D model krytu motoru automobilu, návrh řešení celkové konstrukce vstřikovací formy a analýza toku taveniny. Ke zhotovení 3D modelu krytu motoru automobilu a konstrukci vstřikovací formy byl použit software Catia V5R19. Jednotlivé normalizované součásti byly vkládány ze softwaru HASCO DAKO Modul. Toková analýza byla provedena v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

**Klíčová slova:** vstřikovací forma, vstřikování, konstrukce, analýza

## **ABSTRACT**

This diploma thesis focuses on design solution of injection mould for car's plastic engine cover as well as for flow simulation of melt. Thesis is divided into two parts: theoretical and practical.

Theoretical part defines materials and their attributes, injection technologies and principles of constructing an injection mould. In the practical part of this diploma thesis the 3D model of car's plastic engine cover was made and so was the design of the general construction of injection mould. Analysis of melt flow is also included in the practical part. Software Catia V5R19 was used in order to create the 3D model of an engine cover and construction of an injection mould. Specific standardized components were inputted using HASCO DAKO Modul software. Flow simulation of melt was done in the Autodesk Moldflow Synergy 2016.

**Keywords:** injection mold, injection, construction, analysis

Poděkování:

Chtěl bych velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Adamovi Škrobákovi Ph.D. za jeho rady, konzultace a čas, který mi věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat všem vyučujícím, kteří se mnou měli trpělivost a kteří mi předali svoje znalosti, bez kterých by nebylo možné dokončit tuto práci.

Závěrem bych chtěl poděkovat i svoji rodině a přátelům za obrovskou podporu po celou dobu mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné a že na diplomové práci jsem pracoval sám a veškerou použitou literaturu jsem citoval.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 OBECNÉ VLASTNOSTI A TVAROVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>13</b>
1.1    DEFINICE A VLASTNOSTI .....	13
1.2    VLASTNOSTI.....	13
1.3    VÝVOJ.....	15
<b>2 KLASIFIKACE PLASTŮ</b> .....	<b>17</b>
2.1    ELASTOMERY .....	17
2.2    TERMOPLASTY .....	17
2.3    REAKTOPLASTY.....	19
<b>3 VÝBĚR PLASTOVÝCH MATERIÁLŮ A VLASTNOSTÍ</b> .....	<b>20</b>
3.1    VÝBĚR PLASTOVÝCH MATERIÁLŮ .....	20
3.2    MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	20
3.3    TEPELNÉ VLASTNOSTI .....	22
<b>4 ZÁKLADY KONSTRUKCE FORMY</b> .....	<b>23</b>
4.1    TVÁRNÍK A TVÁRNICE .....	23
4.2    DĚLÍČÍ ROVINA.....	24
4.3    VTOKOVÁ VLOŽKA.....	24
4.4    ROZVODNÉ KANÁLY .....	25
4.4.1    Klasifikace rozvodných kanálů .....	27
Horký systém kanálů .....	27
Studený vtokový systém .....	28
4.5    VTOKOVÉ ÚSTÍ .....	29
4.5.1    Konstrukce vtokového ústí.....	30
Umístění vtokového ústí vzhledem k toku chování taveniny .....	30
Velikost a pozice vtokových ústí .....	31
4.5.2    Klasifikace vtokového ústí.....	32
Vtoková brána.....	33
Okrajová brána.....	33
Fan brána.....	34
Disková brána .....	35
Kruhová brána.....	35
Tunelový vtok .....	36
4.6    ODVZDUŠNĚNÍ.....	37
4.6.1    Návrh odvzdušnění.....	37
4.6.2    Výhody odvzdušnění.....	39
4.7    SYSTÉM VÝMĚNY TEPLA.....	40
4.7.1    Chlazení formy.....	40
4.7.2    Doba chlazení.....	41
4.7.3    Konstrukce temperačního systému .....	41
Navrhování principů .....	42
4.7.4    Typy temperačních systémů.....	44
Sériové chladicí kanály .....	44



Paralelní chladicí kanály .....	45
Vážné paralelní chladicí kanály .....	45
4.7.5    Smrštění.....	45
Forma a smrštění materiálu.....	46
4.7.6    Vystředění .....	47
Vystředění formy ve stroji .....	47
Vystředění jednotlivých částí formy.....	48
4.8    VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	49
4.8.1    Vyhadzovač a pouzdro .....	49
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>50</b>
<b>5    CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>51</b>
<b>6    POPIS VÝROBKU .....</b>	<b>52</b>
6.1    ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU VE FORMĚ .....	53
6.2    MATERIÁL VÝROBKU .....	53
<b>7    SIMULACE VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>	<b>55</b>
7.1    SOFTWARE .....	55
7.2    VYTVOŘENÍ SÍTĚ (GENERATE MESH).....	55
7.3    PROCESNÍ PARAMETRY (PROCESS SETTINGS).....	57
7.4    VSTŘIKOVACÍ STROJ (INJECTION MACHINE).....	59
7.5    UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ (GATE LOCATION).....	61
7.6    TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	61
<b>8    VÝSLEDKY SIMULACE .....</b>	<b>63</b>
8.1    ČAS PLNĚNÍ A DOTLAK (FILLING TIME AND PACKING) .....	63
8.2    STUDENÉ SPOJE (WELD LINES).....	64
8.3    TEPLOTA NA ČELE TAVENINY (TEMPERATURE AT FLOW FRONT).....	64
8.4    VZDUCHOVÉ KAPSY (AIR TRAPS).....	65
8.5    UZAVÍRACÍ SÍLA (CLAMP FORCE).....	67
8.6    TLAK PŘI PŘEPNUTÍ NA DOTLAK (PRESSURE AT V/P SWITCHOVER) .....	67
8.7    TEPLOTA MÉDIA V TEMPERAČNÍM OBVODU (CIRCUIT COOLANT TEMPERATURE) .....	68
8.7.1    Temperační médium.....	69
8.8    TLAK V TEMPERAČNÍM OBVODU (CIRCUIT PRESSURE).....	69
8.9    OBJEMOVÝ PRŮTOK (CIRCUIT FLOW RATE) .....	70
8.10    ČAS POTŘEBNÝ NA OCHLAZENÍ DÍLU NA VYHAZOVACÍ TEPLITU (TIME TO REACH EJECTION TEMPERATURE, PART).....	71
8.11    CELKOVÁ DEFORMACE (DEFLECTION ALL EFFECTS) .....	71
<b>9    KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>73</b>

9.1	PRAVÁ STRANA FORMY .....	74
9.2	LEVÁ STRANA FORMY .....	75
9.3	VYTOKOVÝ SYSTÉM .....	76
9.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	77
9.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	78
9.6	TVAROVÉ VLOŽKY .....	80
9.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	81
9.8	TRANSPORTNÍ A JISTÍCI SYSTÉM .....	82
<b>10</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>95</b>

## ÚVOD

V současné době hrají výrobky z plastu důležitou roli v našem každodenním životě v různých podobách, jako jsou například domácí spotřebiče, elektrické zařízení, automobilový průmysl, zemědělství, nábytek atd.

Pro vznik celé řady výrobků z plastu, byly vyvinuty různé metody výroby. Nejčastěji tyto plastové výrobky vznikají za použití vstřikování, tepelného tvarování, vyfukování a vytlačování. Avšak procentuálně největší podíl na tvorbě plastových výrobků má technologie vstřikování, je to nejběžnější a ekonomicky nejvýhodnější metoda pro výrobu plastových výrobků.

Při procesu vstřikování je nejdůležitějším prvkem forma, která zaujímá tvar negativu výsledného výrobku. V minulosti po druhé světové válce, kdy se začínaly rozvíjet výrobní technologie, se s postupem času objevil požadavek na zvýšenou přesnost, výrobky s různými parametry a vysokou specializací.

V dnešní době je téměř nemožné si představit každodenní život bez použití plastů, které jsou součástí od běžných domácích spotřebičů až po sofistikované vědecké nástroje. To je dělá důležitými pro běžný život. Proto plasty stojí za to je zkoumat také kvůli tomu, že jejich vlastnosti nejsou k dispozici v žádném jiném materiálu. Vlastnosti jako jsou např. lehkost, odolnost, stálost, různá škála barev, transparentnost a snadné zpracování.

Po zvážení všech těchto skutečností jsou plasty zpracovány různými způsoby, jako je především vstřikování, hlavně v průmyslových odvětvích. Proto před zpracováním plastů stojí za zvážení jejich konkrétní vlastnosti.

Po vzniku odvětví konstrukce forem, bylo toto odvětví posunuto na další úroveň, která pokrývá velkou část výroby plastových výrobků.

V dnešní době navrhování forem a výrobků zahrnuje použití různých počítačových softwarů pro konstrukci, pro FEM analýzy a pro tokové analýzy, jako jsou AutoCAD, Solid Edge, SolidWorks, Catia, Cadmould nebo Autodesk Moldflow díky kterým je forma přesná a ulehčuje celý výrobní proces vstřikování plastů. Tímto se zabývá i tato práce.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OBECNÉ VLASTNOSTI A TVAROVÁNÍ PLASTŮ

## 1.1 Definice a vlastnosti

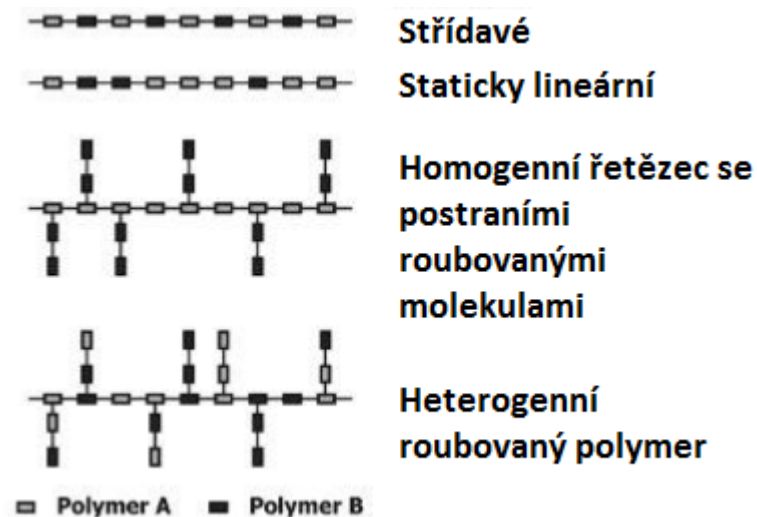
Samotný vznik plastu se datuje kolem roku 1860, jako pokus o náhražku přírodní slonoviny. Doslovný překlad slova plast pochází z řeckého slova „Plasticos“, což znamená možné tvarovat nebo tvarovat teplem. Plasty jsou obecně definovány jako jakýkoli materiál sestávající z velmi malých molekul, které jsou charakterizovány nízkou hmotností, vysokou odolností proti korozi, vysokým poměrem pevnosti k hmotnosti a nízkou teplotou tání. [1]

Plasty jsou vyráběny z různých organických materiálů, jako jsou fosilní paliva, ropa, zemní plyn, uhlí a některé rostlinné materiály, které jsou navrženy v různých kompozicích a jsou převážně kategorizovány jako termoplasty a termosetové plastické hmoty. Plasty jsou charakterizovány svou schopností jako materiál, který lze přeměnit a změnit na požadovaný výrobek s použitím různých průmyslových postupů výroby plastů, jako jsou například tvarování, protlačování, vstřikování, vytlačování a vyfukování. Tyto plasty jsou vytvořeny polymerizačním procesem a skládají se hlavně ze syntetických pryskyřic, což je polymer, který tvoří ve svojí struktuře řetězové monomery. [2]

## 1.2 Vlastnosti

Organické vlastnosti polymeru obecně definují vlastnosti plastu, jelikož polymer je základní složkou v plastické hmotě. Většina plastových materiálů vykazuje v porovnání s jinými materiály unikátní vlastnosti vzhledem k chemické struktuře polymeru, která je výsledkem lepených monomerů. Při dalším zpracování polymerních struktur je to složení dvou různých základních struktur jako fyzikálních nebo chemických směsí a blokových kopolymerů. Mohou být amorfní nebo semikrystalické v důsledku molekulární struktury dané termoplastickou složkou. [3]

Takže tyto struktury, které jsou uvedeny jako studie a ilustrace plastové strukturní vazby pod základním principem, spolu všechny další látky spojené s atomem uhlíku monomeru odpovídají obecným principům výsledných vlastností plastů. V důsledku uvedených skutečností má plast obecně různé fyzikální a chemické vlastnosti. [3]



*Obr. 1 Schématické sestavení kopolymerů*

Některé nejběžnější fyzikální vlastnosti plastů:

- transparentnost,
- flexibilita,
- pružnost,
- propustnost,
- vodní rezistivita,
- elektrický odpor,
- měrná hmotnost,
- měkkost při zahřátí.

Zatímco některé z chemických plastů zahrnují:

- rozpustnost,
- chemická odolnost,
- tepelná stabilita,
- reaktivita s vodou,
- hořlavost,
- teplo spalování. [3]

### 1.3 Vývoj

Polymery jsou základní složkou rostlin a zvířat, jejichž chemická struktura se sestává z molekul s velmi dlouhým řetězcem. Na druhé straně se polymer skládá ze skupiny monomerů; monomery jsou malé molekuly složené z uhlíku a dalších látek a nacházejí se hlavně v rostlinách, olejích a zemním plynu. Při zmínce některých přírodních materiálů s touto strukturou k nim patří hedvábí, asfalt, kaučuk nebo celulóza. Před inovacemi plastů byl poprvé vytvořen kolem 19. století polymerní materiál nazvaný Parkesine. Poté se uskutečnil významný průlom ve vývoji celulozoidu. Během vývoje syntetických materiálů začal na začátku 20. století velký posun při vývoji fenolformaldehydu a následně po druhé světové válce se objevily materiály jako nylon, polyethylen a akrylát, které vedly k plastickým novinkám. [4]

Předtím než bude popsána tvorba plastů, základy spočívají na polymerním materiálu a na jeho zpracování. Vznik se skládá ze spojení tisíců malých molekulárních jednotek, známých jako monomery, procesem polymerace. Polymer je čistý materiál a vzhledem k tomu, že čistý polymerní materiál není sám o sobě použitelný, inovování plastů přineslo přidání chemikálií do polymeru, nazývaných jako aditiva, která poskytují různé vlastnosti pro aplikaci. Při zpracování se plasty vyrábějí spojením dvou nebo více monomerů za vzniku polymeru během tohoto chemického reakčního procesu nebo kondenzačního procesu, který se provádí pro tvorbu plastů. [1] [5]

Existuje mnoho chemických látek, které se nazývají aditiva. Tyto se přidávají, aby poskytly specifické chemické a fyzikální vlastnosti pro konkrétní použití, které poskytují výhody oproti čistému polymeru. Například aditiva, antistatická činidla mají zvláštní prvek přitahování vlhkosti ze vzduchu, což umožňuje zlepšit povrchovou vodivost plastů a podobně existuje mnoho přísad, které se přidávají k plastům, jako jsou spojovací činidla, plnidla, mazadla, pigmenty, změkčovadla, výstuže a stabilizátory. [5]

Tab. 1. Aditiva a jejich vliv na vlastnosti plastů [5]

<b>Přísady</b>	<b>Účel hlavních přísad v plastech</b>
Antistatické činidlo	Povrchová vodivost plastů
Spojovací činidlo	Spojení plastů s anorganickými materiály
Plniva	Mechanické vlastnosti plastů
Nehořlavé látky	Snižují spalování
Maziva	Snižují viskozitu a zlepšuje tvářecí vlastnosti
Pigmenty	Barevnost plastů
Plastifikátory	Vlastnosti a tvarové charakteristiky plastů
Výztuž	Pevnost a tuhost
Stabilizátory	Zabraňují poškození plastů v důsledku vlivu prostředí a UV záření



## 2 KLASIFIKACE PLASTŮ

Na základě makromolekulární struktury a zpracovatelské teploty jsou plasty klasifikovány do širokých kategorií jako termoplasty, termosety a elastomery. Tato kategorizace je také založena na chemické struktuře a reakci na tvorbu vlastností výsledné polymerní molekuly

### 2.1 Elastomery

Tento typ plastů je charakterizován molekulárními řetězci, které jsou zesíleny. Tyto charakteristiky umožňují vysokou stabilitu materiálu, ale přesto jsou pružné a tvárné a po tavení mohou být změněny. Navíc jejich chemické struktury umožňují, aby při přenášení zátěže byly řetězce rozvinuté a po odstranění zátěže se obnovily a uvolnily se do původních poloh. Velkým zástupcem této skupiny jsou především kaučuky. [6]

### 2.2 Termoplasty

Termoplasty jsou plasty vzniklé reakcí, která uspořádala molekuly do podobných dlouhých řetězců. Na rozdíl od elastomerů a reaktoplastů má tento typ plastů molekulární řetězce, které nejsou zesíťovány. Kvůli tomu a skutečnosti, že jejich molekulární řetězce jsou drženy slabou van der Waalsovou silou, jsou tepelně tvarovatelné, což znamená, že jsou svařitelné a hlavně tvarovatelné do různých tvarů účinkem tepla. Pokud jde o molekulární strukturu termoplastů, které hrají roli ve způsobech tvorby a zpracování, mají další kategorie řetězovou strukturu, a proto by tato struktura mohla být více pravidelná a krystalická nebo volně orientovaná amorfní struktura. Je dobré pamatovat na to, že úplná krystalická struktura není možná z důvodu tepelné historie, nicméně některé plasty vykazují vyšší stupeň krystalického limitu. Proto se krystalická struktura rozděluje na částečnou a polykrystalickou strukturu. Stručně řečeno, tyto široké kategorie krystalických a amorfních struktur mají vlastní fyzikální a chemickou povahu. Na základě toho může designer zvolit, který typ vlastností plastů je pro produkt předem požadován.

Tab. 2 Amorfnní a krystalické kategorie termoplastů [5]

<b>Amorfnní struktura</b>	<b>Krystalická struktura</b>
Rozsah měkčení: kvůli slabým sekundárním vazbám dosahuje široké míry	Ostrý bod tání: kvůli rozbití pravidelných uzavřených obalů struktury obalů současně
Průhledná: uvolněná struktura přenáší světlo	Neprůhledná / průhledná: kvůli rozdílu indexů lomu mezi jednotlivými fázemi
Nízké smrštění: při solidifikaci způsobuje náhodné uspořádání molekul malé změny objemu	Vysoké smrštění: při ztuhnutí polymer přijme těsně uzavřenou vysoko vyrovnanou strukturu, významnou změnou objemu
Nízká chemická odolnost: otevřená a náhodná chemická struktura umožňuje hlubokou penetraci chemikálií a brzdění sekundárních vazeb	Vysoká chemická odolnost: vysoce zabalené a uspořádané chemické struktury brání vnější chemické reakci uvnitř vazeb
Špatná únava a odolnost proti opotřebení: náhodná struktura je výsledkem špatných vlastností	Dobrá odolnost proti únavě a opotřebení: díky uzavřenému balení a jednotné odolnosti umožňují dobré vlastnosti

Jak bylo shrnuto ve výše uvedené tabulce, termoplasty mají své vlastní amorfnní a krystalické kategorie s uvedenými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Na základě toho musí designer specifikovat typ plastické povahy. Navíc tyto široké kategorie zahrnují různé druhy, které se nejčastěji používají při zpracování plastů. Proto je vhodné zmínit tyto typy plastů v jejich příslušných kategoriích a jsou shrnuty v následující tabulce na příkladech příslušných kategorií. [5]

Tab. 3 Příklady amorfnních a krystalických termoplastů [5]

<b>Amorfnní</b>	<b>Krystalické</b>
Polyvinylchlorid PVC	Polyethylen PE
Polystyren PS	Polypropylen PP
Polykarbonát PC	Polyamid PA
Polymethylmetakrylát PMMA	Polyester PETP, PBTP
Acrylonitril-butadien-styren ABS	Fluorocarbony PTFE, PFA, FEP, ETFE

### 2.3 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou plasty, které vykazují odlišnou strukturu ohraničující chemické vlastnosti než termoplasty. Zejména jejich molekulární struktura s dlouhým řetězcem prochází sekundární reakcí, která může být závislá na teplotě nebo tlaku, takže jejich struktura vykazuje zesíťování s provázaným spojením za vzniku silné vazby. Kvůli tvorbě této vazby nemůže být molekulární struktura změkčena zpět při chlazení, a proto při vystavení nadměrnému teplu a tlaku dochází ke zhoršení stavu struktury, než tomu bylo u původní formy. [5]

## 3 VÝBĚR PLASTOVÝCH MATERIÁLŮ A VLASTNOSTÍ

### 3.1 Výběr plastových materiálů

Na začátku navrhování formy existuje bod, který musí konstruktér zvážit před zahájením výroby formy a výrobku, což znamená, že je nejdůležitějším bodem rozhodnout, který materiál je nejlepší pro konkrétní aplikaci výrobku. Je zapotřebí úplné pochopení a znalosti vlastností plastových materiálů, chování, vlastností toku atd.

Vzhledem k tomu, že jsou plasty v našem každodenním životě zásadní a nahrazují většinu materiálů vzhledem k tomu, že mají dobré tepelné, mechanické a elektrické vlastnosti, musí být výběr proveden co nejvhodněji.

Po obecném rozhodnutí a definování účelu a funkce výrobku z plastu, který je potřeba, následuje volba materiálu pro tento výrobek, který splňuje požadované vlastnosti z nabídky dostupného plastického materiálu. Proto je velice důležité pro výběr materiálu pochopení nejdůležitějších vlastností plastu. Na základě toho se

### 3.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti plastu zahrnují zejména pevnost, tuhost, specifickou pevnost a tuhost, houževnatost a zabývá se analýzou vlivu teplot na tyto vlastnosti.

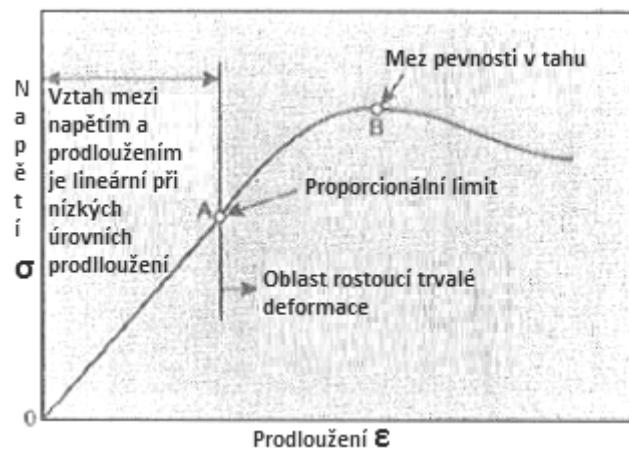
Tuhost a pevnost jsou hlavními mechanickými vlastnostmi plastů a tato mechanická vlastnost označuje vlastnosti jak pro viskózní kapalinu, tak pro elastické pevné látky. To znamená, že pro viskoelastické materiály, tj. termoplasty. Vzhledem k tomu, že termoplasty jsou viskoelastické, jejich vlastnosti viskoelastických materiálů závisí na některých specifických vlastnostech, kterými se zde zabýváme v části výběru, zejména:

- čas,
- teplota,
- míra napětí.

Při popisu těchto mechanických vlastností se nejčastěji používá zkouška napětí - deformace, která poskytne vlastnosti pro počáteční výběr při návrhu. Tyto vlastnosti pozorované z výsledného grafu napětí a deformace a vlastností jsou analyzovány pozorováním grafu. Zde je třeba mít na paměti, že je vliv teploty na vztah napětí – stres a oba jsou uvedeny níže v grafu.

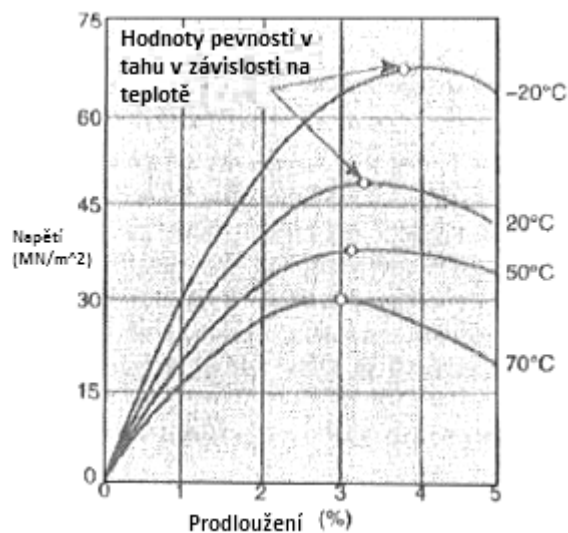
Při pozorování napěťového namáhání grafů plastů, které jsou docela podobné kovu, existuje pružná oblast s nízkým napětím a lineární vztah se stresem, ale když se napětí zvýší, získá se oblast trvalé deformace. Deformace má nelineární vztah se stresem na vyšší hranici, zvyšuje mez průtažnosti v tahu.

Při navrhování materiálu a při výběru vhodných vlastností je obvykle považováno za 1 % limitu deformace a nižší hodnoty asi 0,5 % u křehkých termoplastů a při uvážení termosetových plastů by byl vhodný limit deformace 0,2 až 0,3 %. [5]



Obr. 2 Graf stresového napětí pro plasty

Dalším důležitým faktorem, který je nutno vzít v úvahu, je vliv teploty na vztah napětí namáhání materiálu. Vzhledem k tomu, že teplota vzrostla v daném namáhání, materiál se více deformuje a materiál se stává pružnějším. [5]



Obr. 3 Vliv teploty materiálu na chování napětí a deformace plastů

A dokončování faktorů ovlivňujících mechanické chování plastů, jak bylo zmíněno výše, existuje jeden bod, který má vliv na vztah napětí a deformace, kterým je rychlost deformace. Funguje ve vztahu, že pokud je termoplast vystaven rychlému deformačnímu namáhání tak je materiál tužší než stejný materiál, kde je napětí rovno, ale je aplikováno s nižší rychlostí. [8]

Z druhého hlediska je při navrhování materiálu a při výběru jeho vlastností, výběr tuhosti a síly položí základ pro jakékoliv výběrové kritérium. Youngův modul pružnosti určuje tuhost a je to hlavní kritérium, které lze pozorovat ze sklonu stresové křivky. A také při výběru materiálu pro pevnost, jejich faktor síly, který lze vypočítat z údajů o strukturální účinnosti rozsahu materiálů. [5]

### 3.3 Tepelné vlastnosti

Plastové materiály musí být zvoleny s ohledem na jejich materiálovou aplikaci, především výše popsané, pokud jde o jejich vlastnosti a účely výběru, existují některé významné speciální vlastnosti materiálu, které mají a stojí za to o nich diskutovat. Při zvažování některých zvláštních vlastností plastů, jako jsou tepelné vlastnosti, optické vlastnosti a elektrické vlastnosti patří mezi hlavní, ale tepelné a mechanické vlastnosti se týkají hlavně návrhu plastových výrobků a návrhu forem.

Tepelné vlastnosti jsou hlavní materiálové vlastnosti plastů, které mají vliv na mechanickou vlastnost plastu. V důsledku své molekulární struktury jsou plasty závislé na teplotě, a proto jejich molekulární struktura vede k tomu, že molekula plastů v molekulárním pohybu vzrůstá při ohřátí, což způsobuje, že jsou pružnější a při chlazení mají omezený molekulární pohyb, což vede k tomu, že jsou zvednuté a křehké.

Teplota je tedy hlavním faktorem při navrhování jakéhokoliv plastového materiálu a určuje jeho vlastnosti. Obecně je teplota, při níž všechny plasty vykazují změnu fyzikálních a mechanických vlastností, tj. Teplotu skelného přechodu  $T_g$ . Tato teplota slouží jako hranice mezi těmito změnami vlastností, většina plastů nad nimi je skleněná a měkká, ale když se ochlazují pod teplotu skelného přechodu, stávají se tužšími a křehčími. Je také důležité si uvědomit, že některé krystalické plastové materiály vykazují vlastnosti tuhosti a tuhosti nad teplotu skelného přechodu díky silné molekulární síle, kterou mají. [9]

## 4 ZÁKLADY KONSTRUKCE FORMY

Tato práce se zabývá konstrukcí formy a simulací toku taveniny a tato kapitola se zaměřuje na základní konstrukci formy pro vstřikování plastů. Nejprve je důležité popsat, z jakých částí se forma jako taková skládá. Forma je běžným pojmem v procesu vstřikování; jedná se o agregát různých komponentů v sestavě a skládá se primárně ze dvou částí, které se nazývají vstřikovací část a pohyblivá část. V podstatě je forma navržena takovým způsobem, že tvarovaná část zůstává na straně pohyblivé části formy, když se otevírá a tím je vtokový systém společně s výrobkem odebrán ze vstřikovací části formy.

Ve skutečnosti jde ve formě a jeho principu fungování během procesu vstřikování o to, že roztavený plast vstupuje do dutiny formy přes trysku připojenou na rozvodný systém až k dutině formy. [13]

### 4.1 Tvárník a tvárnice

Tvárník a tvárnice jsou nejdůležitější částí formy. Dutina formy je obvykle konkávní dutá tvarová část, která tvoří vnější část výrobků, který má být tvarován a tudíž je to záporná část tvaru požadovaného výrobku.

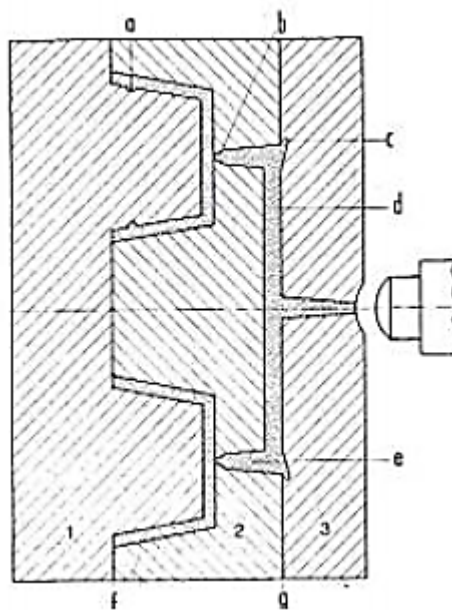
Obvykle pro velké výrobky je navržena pouze jedna dutina, ale pro ekonomické podmínky a drobné součásti, může být dutina navrhnutá tak, aby počet dutin zvýšil a zefektivnil produkci. Při současném zvyšování násobnosti se však zvyšuje doba plnění, protože je vyžadováno více času na vyplnění všech dutin. Na druhou stranu se také vyžaduje větší stroj s větší upínací kapacitou. Dutiny jsou obvykle umístěny na vstřikovací straně formy, která má přímý kontakt s injekčním bodem. Při zvažování výroby dutin mohou být použity různé metody. Tento tvar obvykle vznikl použitím obráběcích strojů pro třískové obrábění a nejčastěji se používají moderní obráběcí techniky, jako je obrábění elektrickým výbojem zvaným EDM a moderním způsobem CNC. Vzhledem k tomu, že dutina je v kontaktu s bodem vstřikování, dochází v tomto bodě k vysokému vstřikovacímu tlaku, a proto musí dutinová forma odolávat. V tomto důsledku a s ohledem na další faktory je dutina vyrobena z tvrdých a velice odolných materiálů, nejčastěji oceli, hliníku nebo kovových slitin. [14]

Na druhou stranu má dutina odpovídající tvar, který má konvexní tvar jádra. Jádro je upevněno polovině formy, která je spojena s pohyblivou deskou stroje kvůli vyhazovacímu mechanismu. [14]

## 4.2 Dělicí rovina

V každé formě jsou dvě oddělené poloviny, konkrétně dutina na jedné straně a jádro na straně druhé. Prakticky jsou tyto dvě části odděleny dělicí rovinou, která se také nazývá dělicí čára (Parting line – PL). Jedná se o základní část formy, která zajišťuje při uzavření formy, úplné dovření formy a zabraňuje vytečení taveniny mimo dutinu formy.

Výroba je snadná pro formu s dělicí čarou v jedné rovině a v zásadě je dělicí linka vždy v nejširším obvodu výrobku. U některých konstrukcí forem nemusí být oddělovací čára v jedné linii, v některých případech může být posunuta nebo nakloněná pod úhlem.



Obr. 4 Schéma tvárniku, tvárnice a dělicí roviny

1 – tvárník, 2 – tvárnice, 3 – statická deska formy

a – řez tvárníkem, b – ústí vtoku, c – řez vtokovým systémem,  
d – rozvodný kanál, e – vtokový kanál, f – dělicí rovina

## 4.3 Vtoková vložka

Je to mechanismus, pomocí kterého přichází tavenina ze vstřikovací hlavy přes trysku do rozvodných kanálů, kde dále na kontaktním místě trysky a dutiny výrobku je uspořádán mechanismus vtokové vložky, který umožňuje průchod k rozvodným kanálům a vstup do vtokového ústí, kde následně zaplní dutinu. [15]

Tavenina vstupující do formy prostřednictvím systému spirálových pouzder, který uzavírá válcovou hlavu, tento systém umožňuje průchod z injekční trysky k rozvodnému kanálu. Jelikož při vstřikování dochází ke kumulaci vysokého tlaku, když tavenina vstupuje



do rozvodného systému, tak právě tento systém musí mít vysokou mechanickou pevnost. Obvykle ve většině aplikací se používá systém vtokové vložky, který je vyměnitelný a musí mít následující vlastnosti pro lepší použití. [16]

Požadavky kladené na vtokovou vložku:

- musí být vyrobena z kalené oceli pro účely vysokého mechanického zatížení, tudíž je schopna odolat opotřebení,
- musí mít přírubu a zaoblenou hranu pro ohybovou únavnost a pevnost,
- co možná nejmenší možný průměr, jelikož vtokový kanál zanechává stopu pro vstříkování na výrobku,
- průměr trysky musí být o 1,5 mm menší než vtoková vložka,
- v místě dotyku mezi hrotem trysky a vtokovým systémem ve vodorovné rovině musí být průměr kontaktu špičky pouzdra o 1 mm větší než průměr trysky a vtoková vložka je zkosená pod úhlem 1 až 4°. [16]

#### 4.4 Rozvodné kanály

Rozvodné kanály jsou kanály, kterými je tavenina přiváděna od vtokové vložky během vstříkování, kde dále prochází ke vtoku a zaplňuje dutinu. Stručně řečeno připojují vtokovou vložku přes bránu k dutině formy. Jako základní schopnost by měli mít rozvodné kanály schopnost tavit plasty a stejný plnicí tlak s rovnoměrnou dobou plnění všech dutin. Rozvodné kanály mohou být navrženy pro dvě nebo více dutin, ale ve všech případech musí být zachován výše uvedený stav. Základním procesem probíhajícím v rozvodných kanálech je ten, že při vstříkování plastu vstoupí plastifikovaný materiál do kanálů s vysokou rychlostí a teplo se rychle odvádí z materiálu stěnami kanálů. Materiál při chladnutí vytváří na stěnách kanálů jemnou vrstvu, právě vlivem odvodu tepla. Výsledkem je, že horké jádro ve středu teče a vrstva na stěnách slouží jako izolační vrstva pro průchod taveniny horkým jádrem, které nakonec vyplňuje dutinu formy.

Tato tavenina se udržuje v kanálech, dokud nedojde k částečnému ztuhnutí materiálu a kdy se bude zohledňovat kompenzace objemového srážení během tuhnutí.

Při navrhování kanálů je potřeba vzít v úvahu maximální úsporu materiálu a minimální tlakovou ztrátu. Dalším krokem je navržení snížení a optimalizace kanálů, což závisí na typu zpracovávaného materiálu. Obecně platí, že průřez kanálu je obvykle o 1 mm větší

než maximální tloušťka vstřikovaného materiálu v dutině. Větší průřez je však vhodný pro optimální plnění a udržení přiměřeného udržovacího tlaku, na druhé straně by to mohlo mít nějaký vedlejší účinek na úsporu materiálu a zvýšení doby chlazení. Kanály hrají velkou roli při formování, mají mnoho funkcí a bez ohledů na typ a klasifikaci. Některé z funkcí a požadavků kanálů jsou uvedeny níže. [16]

Funkce a požadavky:

- s minimálním a tlakovou ztrátou vede plastovou taveninu do dutiny přes vtokové ústí,
- vyplňuje dutinu přes vtokové ústí při stejném tlaku a teplotě,
- přestože větší průřezy jsou výhodné pro optimální plnění dutin a přiměřený přídržný tlak, protože s velkým průřezem je nevýhoda plýtvání materiálu a větší doba ochlazení, je třeba, aby kanál byl navržen s malými průřezy,
- poměr plošného objemu musí být co nejmenší a použitelný pro proces lisování.

Kromě toho musí být rozvodné kanály navrženy a optimalizovány tak, aby se dosáhlo ekonomického a efektivního procesu vstřikování. Zde jsou důsledky v konstrukci formy velmi důležité a jsou ovlivněny mnoha faktory.

Konstrukční faktory:

- geometrie dílce formy, procesní a materiálové charakteristiky:
  - o objem dílu,
  - o tloušťka stěny,
  - o plastový materiál,
  - o délka cesty průtoku,
  - o odpor vůči toku.
- proces tváření a vlastnosti materiálu:
  - o tepelné ztráty,
  - o ztráty ze tření,
  - o doba chlazení,
  - o množství odpadu,
  - o náklady na výrobu,
  - o typ formy. [16]

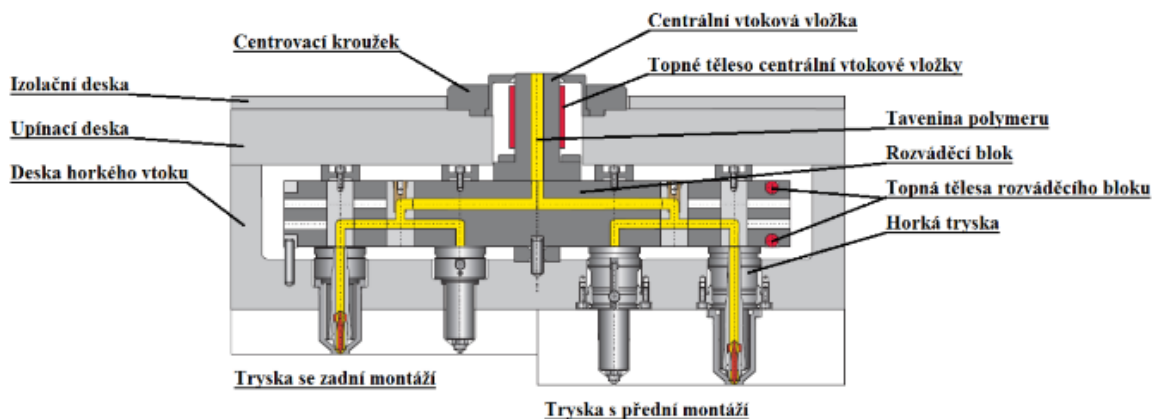
#### 4.4.1 Klasifikace rozvodných kanálů

Jakmile jsou výše zmíněné charakteristiky a cíle pro konkrétní použití kanálů pochopeny, může být druh kanálů vybrán z dostupných typů. Při fázi návrhu je důležité zvolit kanály pro ekonomickou a optimální kvalitu výstupu procesu, jakmile je známo, že konstrukce vyhovuje. Na základě kontroly teploty jsou k dispozici tři typy kanálů a každý má svou kvalitu, výhodu a nevýhodu.

- Standartní systém kanálů,
- horký rozvodný systém kanálů,
- studený rozvodný systém kanálů.

#### *Horký systém kanálů*

Systém horkých vtoků je jedním z nejdokonalejších součástí vstřikovací formy; skládá se ze systému vtokové vložky, rozvodného kanálu a brány nebo trysky. Tento systém využívá horké kanály a skvělou technologii procesu vstřikování, což vede k přesné, kvalitní a nákladově ziskovosti. Horké kanály v tomto systému mají komplikovaný systém, jsou postaveny tak, že udržují teplotu, aby horká tekutina proudila a tavenina zůstala uvnitř horká, zatímco se forma ochlazuje a ztuhne. Tepelná bariéra ji tak izoluje od formy, aby se dosáhlo této kvality, což také umožňuje, že teplota horkého rozvodného kanálu leží v rozmezí tavení termoplastické taveniny. Výsledkem je, že vnější hranice během ztuhnutí a ochlazení, zatímco tavenina proudí pouze v blízkosti běžících úseků a vyplňuje dutiny. [18]



Obr. 5 Externě vyhřívaná horká vtoková soustava

K dispozici jsou dva typy horkých systémů, externě vyhřívaný systém horkých vtoků a vnitřně vyhřívaný systém horkých vtoků. U prvního taveniny proudí tavenina v pevném potrubí a tryskách, zatímco na pozdější tavenině tekutina přímo proudí uvnitř běhounu s vnitřními ohříváči. Vzhledem k tomu, že nabízejí efektivnější způsoby tváření, použití pro horké vtoky se v dnešní době zvyšuje v procesu vstřikování. Pokud jde o sofistikovanost dnešního vstřikování, jsou průlomem a téměř nemožné dosáhnout detailu a přesného formování výrobku. Vykazují několik výhod oproti ostatním běžným systémům; některé výhody jsou uvedeny níže. [18]

Výhody horkého vtokového systému:

- rovnoměrná tloušťka stěny,
- žádná ztráta taveniny, méně energie a práce,
- jednoduchý a plně automatický provoz,
- vzhledem k tomu, že se tavenina dopravuje do dutiny optimálně, výsledkem jsou výborné vlastnosti,
- snížení nebo odstranění nití po vstřikování,
- použitelné pro mnohonásobné formy,
- možnost použití pro mikroformy.

Kromě shora uvedených výhod horké vtoky velmi pomáhají a dělají výhodu jejich systému takovým způsobem, že dochází k menšímu plýtvání tavným materiálem a vzhledem k tomu, že tavenina nezmrazuje v toku, snižuje se doba chlazení a tím je i menší doba cyklu. Jsou však ekonomicky méně výhodné na použití ve vtokovém systému, jelikož mají nevýhodu vysoké ceny. Navíc hrozí nebezpečí rozkladu a zastavení plastových materiálů s nízkým tepelným odporem a obvykle se vyskytují obtíže s tepelnou izolací z rozdělovače horkých žlabů. [19]

### ***Studený vtokový systém***

Systémy studených vtoků jsou kanály ve formě a slouží pro tok taveniny z injekční trysky skrze kanály při nižší teplotě do dutiny formy přes ústí vtoku. Jelikož pro termoplastické vstřikování jsou spíše vhodné horké vtoky, tak pro reaktoplasty a elastomery, které jsou různými reaktivními plastovými materiály, jsou používány studené vtokové systémy. V systému se studeným vtokovým systémem jsou kanály udržovány na nižší teplotě asi

80-120 stupňů Celsia za tím účelem, aby materiál předčasně nereagoval na rozvodný kanál. V tomto typu rozvodných systémů se pokaždé, když se materiál vyhodí z formy, je materiál v kanálech také odstraněn, což má za následek ztrátu materiálu a prodloužení doby cyklu, protože materiál potřebuje čas na zmrazení v rozvodném kanálu před vyhozením.

Systémy studeného vtoku se používají hlavně pro elastomery a kaučuky, vzhledem k různým aspektům, jak je uvedeno níže.

Omezení studených vtokových systémů:

- mají velmi vysokou spotřebu tlaku a díky tomu je konstrukce drahá,
- nejmenší teplotní rozdíl způsobuje velmi velký rozdíl viskozity a tudíž nerovnoměrnou taveninu,
- obtížné vyplňování dutin současně,
- větší doba cyklu a nepravidelná doba plnění. [19]

#### 4.5 Vtokové ústí

Předtím, než plast zchladne a ochladí se tak, aby nemohl téct po plastifikaci, musí vyplňovat všechny dutiny stejným tlakem a časem naplnění, tyto malé otvory a obvykle ten nejtenčí body celého systému, který spojuje kanály s dutinami formy a umožňuje vstup taveniny, se nazývají vtokové ústí. [15]

Vtokové ústí je přechodová zóna mezi systémem kanálů a dutinami, musí zajistit plnění dutin stejným průtokem a musí zabezpečit to, aby se do dutin dostala tavenina. Na základě této charakteristiky jsou brány nejlépe spojeny s kanály ve dvou hlavních formách jako centrální brána a excentrická brána. První z nich má polokruhové a obdélníkové průřezy s definovanými charakteristikami středového polohování a malým poměrem povrchu k objemu pro kruhové polohování, které snižují tepelné ztráty a tření, ale oddělení této brány je obtížnější a může podporovat tryskání. Zatímco pozdější, excentrické vřeteno má kruhový nebo obdélníkový průřez, s excentrickým polohováním, které usnadňuje odstranění formy. Obecně mají brány kruhový, polokruhový a obdélníkový průřez. Zatímco nejobvyklejší je pravoúhlá brána a polokruhová zajišťuje snadné odstranění z forem. Proto ve všech druzích bránícího systému má pečlivý výběr, poloha a umístění vrata do tvarované části a systému během výsledkem čistého dokončení části formy a optimalizace polohy je nutná před výběrem polohy brány. [16]

#### 4.5.1 Konstrukce vtokového ústí

Design brány je velmi důležitý a dává základ pro návrh forem mimo kanálu a pouzdrového systému, umístění brány by mělo být pečlivě navrženo a musí umožňovat tok taveniny rovnoměrně a stejný čas naplnění ve všech dutinách formy. Při navrhování vtokového ústí je třeba zvážit a použít následující obecné body:

- Vtokové ústí musí být umístěno v nejtlustší části
- Musí mít co nejmenší, aby se materiál při průchodu zahříval, ale zároveň nebyl poškozen smykovou deformací
- Rovnoměrné plnění vyrovnáním vtokového ústí a optimalizací
- Místo pro snadnou konstrukci a odformování
- Minimalizovat zachycený vzduch uvnitř formy, aby nedošlo ke spáleným místům
- Vyvarování se oblastem zatížené mechanickým namáháním [20]

Výše uvedené body jsou obecné informace, které je třeba zvážit při navrhování vtokového ústí. Dále je zapotřebí podrobnější analýza, charakteristiky a zohlednění různých problémů, aby bylo dosaženo profesionálnějšího návrhu konečného výsledku. [20]

#### *Umístění vtokového ústí vzhledem k toku chování taveniny*

Pro správný tok taveniny by mělo být umístění vtokového ústí zváženo z třech hlavních hledisek: tlak, orientace a svařovací vedení. Jedná se o některé z hlavních faktorů, které jsou brány v úvahu pro správné umístění toku taveniny:

- Tlak,
- orientace,
- svařovací linka.

#### **Tlak:**

Potřebný je dostatečný tlak pro úplné naplnění dílu; s dostatkem tlaku by byl perfektní a lepší výsledek. Dostatečný tlak také zabrání značkám po vstřikování na výrobku, vyvaruje se tvorby dutin a zajistí správný tok taveniny. Proto správné umístění vtokového ústí, aby byla zajištěna tato kvalita z hlediska tlaku, bude na místě, kde se nachází nejsilnější část výrobku.

**Orientace:**

Vtokové ústí by mělo být umístěno tak, aby se minimalizovala molekulární orientace. Molekulární orientace je významný účinek zejména v tenkých řezech, kde se molekuly vyrovnávají v jednom směru, což je tok taveniny. Tento vysoký stupeň orientace má za následek jednoosou pevnost, tzn. jednosměrný odpor zatížení a napětí. Aby se tomu zabránilo, toto vtokové ústí by mělo být umístěno tak, že tavenina vstoupila do dutiny nárazem na odkloněné stěny dutiny nebo jiných povrchů, jako jsou vyhazovací kolíky apod. Proto vykazuje správný tok taveniny ten, který zabraňuje pouze jednoosému zatížení a vede k lepší nosnosti.

**Svařovací linka:**

Při zvážení svařovací linky by se hadice měla nacházet v poloze poblíž svařovací linky, což znamená, že konstrukce je samozřejmostí pro udržení vysoké teploty tavení, která je požadována pro silnou svařovací linku. Kromě toho je rozumné lokalizovat vtokové ústí tak, aby se minimalizovalo množství a délka svařovacího vedení; to vše zajišťuje správnou funkci a perfektní vzhled. [21]

***Velikost a pozice vtokových ústí***

Vtokové ústí může být navrženo v různých velikostech a konfiguracích, ve všech případech je vtokové ústí nejužším bodem vtokového systému. Je třeba poznamenat, že když tavenina proudí v tokovém ústí, setká se se značným odporem proti průtoku a v důsledku toho klesá vstřikovací tlak na malou hodnotu a teplota taveniny stoupá. Tento jev je vlastností taveniny v jakémkoli vtokovém systému. V důsledku toho jsou splněny základní parametry pro správný tok taveniny a uniformity, které jsou:

- tavenina vstupující do dutiny se stává tekutější a vyplňuje dutinovou část lépe,
- vtokové ústí se otevírá delší dobu, aby se udržel tlak, a okolní kov se pak zahřeje, aby se zlepšil tok taveniny.

Kromě toho, po základních předpokladech, že výše uvedené parametry jsou splněny, můžeme zvážit návrh velikosti vtokového ústí a určení jeho umístění. Proto konstrukční faktor závisí na vlastnostech části formy, tvarovaném materiálu a dalších obecných faktorech, které jsou podrobně uvedeny níže: [16]

Faktory ovlivňující návrh vtokového ústí a umístění:

- Tvarovací část:
  - geometrie a tloušťka stěny,
  - směr mechanického zatížení,
  - poměr délky průtoku k tloušťce stěny.
  
- Formovací materiál:
  - viskozita a teplota,
  - průtokové charakteristiky,
  - plniva,
  - smršťování.
  
- Obecné faktory:
  - deformace,
  - snadná odformovatelnost,
  - oddělení od výrobku,
  - cena. [16]

#### 4.5.2 Klasifikace vtokového ústí

Vtokové ústí je zařazeno do různých typů kategorií založených na různých variantách, vlastnostech a vlastnostech s aplikačními specifikacemi. Hlavně charakteristiky části formy, která má být vyrobena, jako velikost a průměr s tloušťkou stěny, ovlivňuje typ vtokového ústí, které je třeba použít. Parametry plnění, ve kterých vtokové ústí splňuje danou část, bočně, ve středu nebo okraji výplně klasifikuje typ vtoku a tvar s velikostí brány a způsobu, který se podle toho mění. Kromě toho se proces plnění a tuhnutí taveniny v dutinách liší také v různých typech vtoků, konečně jako hlavní faktor, tvar tvarované části jako kruhového, válcového nebo rovinného dává možnost zvolit typ vtoku a odstranění po zpracování, například ručně nebo automaticky klasifikuje typ brány.

Na základě výše uvedených vlastností a charakteristik jsou klasifikovány vtoky. Hlavním typem vtoků je: vtoková brána, okrajová brána, fan brána, disková brána, kruhová brána a tunelová brána. [20]



### ***Vtoková brána***

Tento typ vtokového systému je běžný a doporučuje se pro součástky se symetrickou výplní jednostranné dutiny s tlustým průřezem. Jedná se o nejjednodušší a nejstarší druh vtoku s kruhovým průřezem a zužující se, nastavenou o větší průměr směrem k husté části formy.

Tento typ vtoku je účinnější u dílů s tlustým průřezem, protože udržovací tlak je účinnější a umožňuje rychlé plnění plísní při nízkých tlakových ztrátách. Kromě toho by mělo být přízpůsobení systému vtoku umístěno do části s hustou částí formy tak, aby udržovací tlak mohl zůstat účinný po celou dobu, kdy forma formy ztuhne, a to také tímto uspořádáním je kompenzace objemu během chlazení kompenzována dodatečným materiálem nuceným do dutiny. Tento proces také přispívá k zamezení tvorby dutin nebo značek na výrobku.

Když zvážíme dimenzování vtokové brány, je řízena zmenšením tloušťky části formy v místě kontaktu, který je zkosený směrem k části a průměru trysky v bodě výstupu. Vtoková plocha v kontaktním bodě má tedy průměr od 1 mm do dvojnásobku tloušťky dílu a na trysce má průměr o 1,5 mm větší než průměr trysky. Pro snadné odformování a optimální plnění, je kanál zúžen směrem k dílu pod úhlem 1 až 4 stupně, což je 2,5 stupně standardního a malého poloměru zakřivení v bodě dotyku součásti. [16]

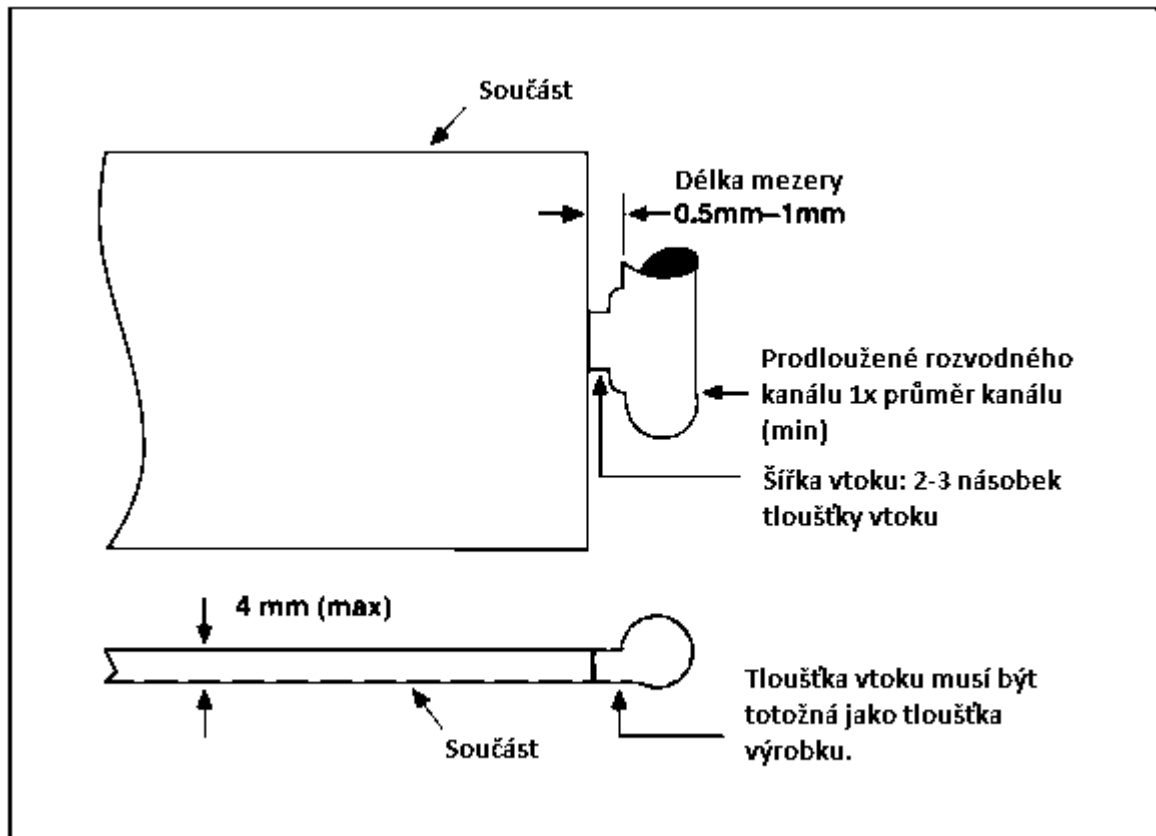
Nevýhodou je, že vtoková brána zanechává viditelnou značku místa po zpracování, aby se zabránilo tomu, že vtoková brána může být opatřena otočením nazývaným překrývajícím se vstupem, který dosáhne tvarované části zevnitř v bodě, který není viditelný, vtoková brána má také další variantu nazývanou „curved sprue“, která dovoluje boční uzavírání dílu k dosažení vyvážené polohy tvarované části, která je běžně použitelná pro termoplastické elastomery. [16]

### ***Okrajová brána***

Tento typ vtoku je určen pro formovací desky s velkými plochami a tenkými stěnami. Brána je umístěna na oddělovacím potrubí a je vyplněna z horní nebo spodní části. Tento typ vtoku má další rozdělovací profilový kanál, který tavenina po vtoku vstupuje do tohoto rozšířeného rozdělovacího kanálu, který spojuje dutinu úzkou pevnou plochou se systémem kanálu. Takže kanál je naplněn taveninou dříve, než materiál vstupuje do dutiny. Okrajový vtok díky své struktuře a uspořádání s cestou plnění má svou vlastní zvláštnost a výhody pro konkrétní část formy:

- paralelní orientace po celé šířce,
- rovnoměrné smrštění ve směru průtoku,
- žádná nevhodná značka po vtoku.

Pokud jde o zmenšení a nastavení okrajový vtok, je to především závislé na tloušťce dílu.



Obr. 6 Okrajový vtok [21]

Typický okrajový vtok je tudíž 80 % až 100 % tloušťky dílu až 4 nebo 3,5 mm a má šířku 1 až 12 mm a je konečný požadavek, aby brána nebyla větší než 1 mm. [21]

### **Fan brána**

Tento typ brány je podobný s okrajovým vtokem; je to prakticky širší okrajový vtok se zvláštností pro aplikaci pro tvarování s nízkým napětím a výhody v detailní dokonalosti pro rozměrové detaily a stabilitu. Tyto vlastnosti jsou získány díky vlastnosti a způsobu provozu, který umožňuje pomalé vstřikování bez zatuhnutí.

Při přehledu jejího zmenšování a struktury, která je téměř podobná okrajovému vtoku, avšak s dalšími zužujícími se prvky v šířce i tloušťce zajišťuje konstantní plochu průřezu, v důsledku těchto konstrukčních prvků má tato brána následující výhodu a vlastnosti:

- konstantní tavná rychlost,
- stejný tlak po celé šířce,
- celá šířka platí pro průtok. [16]

### ***Disková brána***

Disková brána je jako tvarová rovina kruhového nebo kuželového tvaru, obvykle s kuželovitým úhlem 90 stupňů. Tato brána má zvláštní rys a použití pro rovnoměrné plnění průřezu válcovitého tvarování. Pracuje tak, že rozděluje taveninu rovnoměrně na větší průměr tvarované části.

Díky své struktuře a způsobu provozu má disková brána následující výhody:

- umožňuje tvarování válcovitých dílů s výřezy v jednoduché formě bez klouzání nebo dělených dutin,
- tímto typem lze odstranit pletené linie.

Disková brána může být uspořádána ve dvou různých podobách jako kuželová disková brána a horní nosič disku. První z nich má další otvor pro podporu jádra a druhý může být uspořádán ve dvou různých systémech buď přímo, nebo s připojením k dutině.

Dimenzování disku je kalibrováno a navrženo tak, aby poměr mezi délkou otvoru a jeho průměrem byl menší než 5/1. [22]

### ***Kruhová brána***

Kruhová brána je systém se speciálním znakem, který je použitelný, jestliže je nutné jádro podepřít na obou koncích a použít pro válcové části pro formy s více dutinami.

Jeho provozní režim spočívá v tom, že tavenina prochází nejprve do prstencovitého kanálu, který je spojen s částí povrchem; nejprve se kanál naplní taveninou a projde do dutiny země.

Jeho struktura a provoz má následující výhody:

- možnost podpory jádra na obou koncích,
- používá se pro válcové části ve formě více dutin.

Pokud jde o rozměry a nastavení kroužku, závisí na rozměru tvarované části, hmotnosti a druhu plastové formy a délce průtoku. Obecně platí pro části s rovnou tloušťkou stěny a poměr délky přes průměr jádra větší než 5/1.

Návrhová variace kroužkové brány lze uvést jako vnitřní a vnější prstencovou branku, kde vnitřní kruhový otvor má charakteristiku dvou svarových linií a podporu jádra na obou koncích. Zatímco vnější kruhový vstupní otvor vstupuje z jedné strany, vytvářející svarovou linku na protilehlé straně kanálu, kde se svařovací linka nepřenáší na výrobek. [16]

### ***Tunelový vtok***

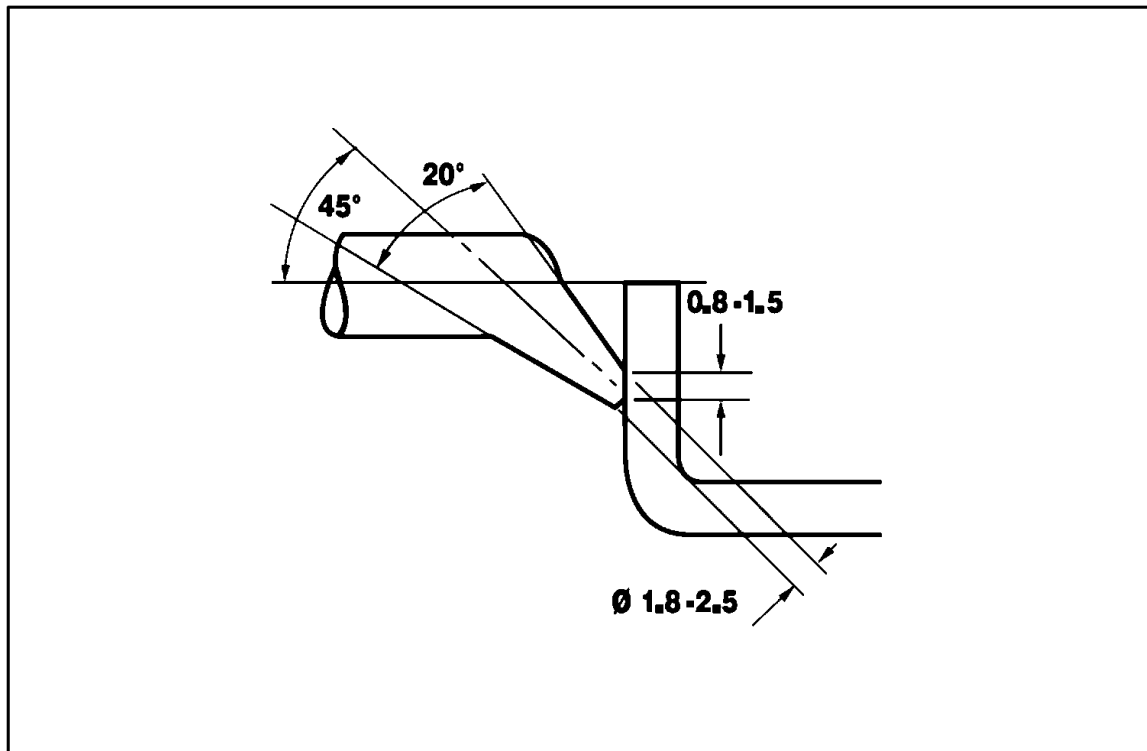
Tento typ vtokového systému je samočinný, který může být provozován automaticky; může být použit pro formy s více dutinami pro výrobu malých dílů. V tomto případě je opracovaný kuželový tunel spojující konec kanálu a dutinu pod dělicí čarou. Tudiž tunel jako díra je frézován do otvoru dutiny v šikmém úhlu.

Uspořádání ve formě je takovým způsobem, že součást a kanál jsou umístěny v pohyblivé polovině formy, kde jako tunel může být umístěna buď pevná, nebo pohyblivá polovina formy, kde je brána snadno odpojena.

V závislosti na tvaru tunelového otvoru je tunelová brána rozdělena do dvou typů; první je opatřena špičkou a pracuje tak, že taveninu přenáší do dutiny formy v teče. [21]

Druhý je tvarován jako zkrácený kužel s elipsovým kuželem, který je nejvýhodnější a tavenina vstupuje do dutiny pomaleji elipsovým koncem, což má za následek, že tavenina pomalu zmrzne a umožňuje delší držení tlaku.

Nakonec je uspořádání tunelu brány znázorněno na obrázku níže a zmenšení se mění v závislosti na druhu plastové taveniny se standardní a průměrnou velikostí brány 0,8 mm až 1,5 mm. [21]



Obr. 7 Tunelový vtok [21]

## 4.6 Odvzdušnění

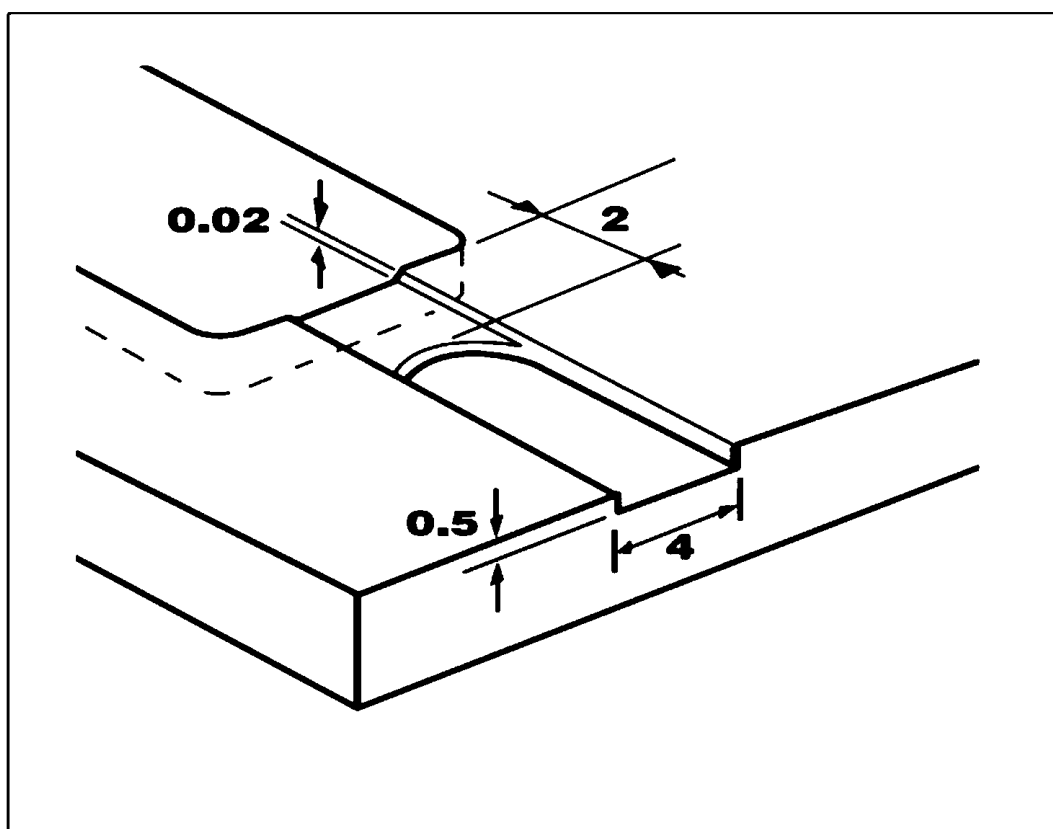
Tato kapitola se týká odvzdušnění, které je zapotřebí pro většinu procedur navrhování forem. Tento bod spočívá v jevovém vstřikování plnění dutiny formy. Když se dutina naplní taveninou, stlačí vzduch před nimi na obvod stěny dutiny, vzduch stlačuje okolní tlak, teplota se zvedne a může spálit polymerní taveninu v blízkosti nebo vytváří odpor, že vzduchem uchycené části u koncových stěn nejsou zcela vyplněny. Na druhou stranu, když dvě uzavřené systémové dutiny nebo kde tavenina proudí nějakým způsobem, se rozdělí na dvě, kde tavenina splňuje vzduchovou mezeru, která může vzniknout jako díra v dílu. Při tomto zdůraznění musí být toto bráno v úvahu při jakémkoliv postupu navrhování forem a tento vzduch musí uniknout, aby se předešlo výše uvedeným nežádoucím jevům. [16]

### 4.6.1 Návrh odvzdušnění

Odvzdušnění je navrženo na principu, který dovoluje unikání vzduchu z dutiny zabraňující unikání taveniny z formy. Na základě odvzdušňovacího faktoru se klasifikuje na dvě jako

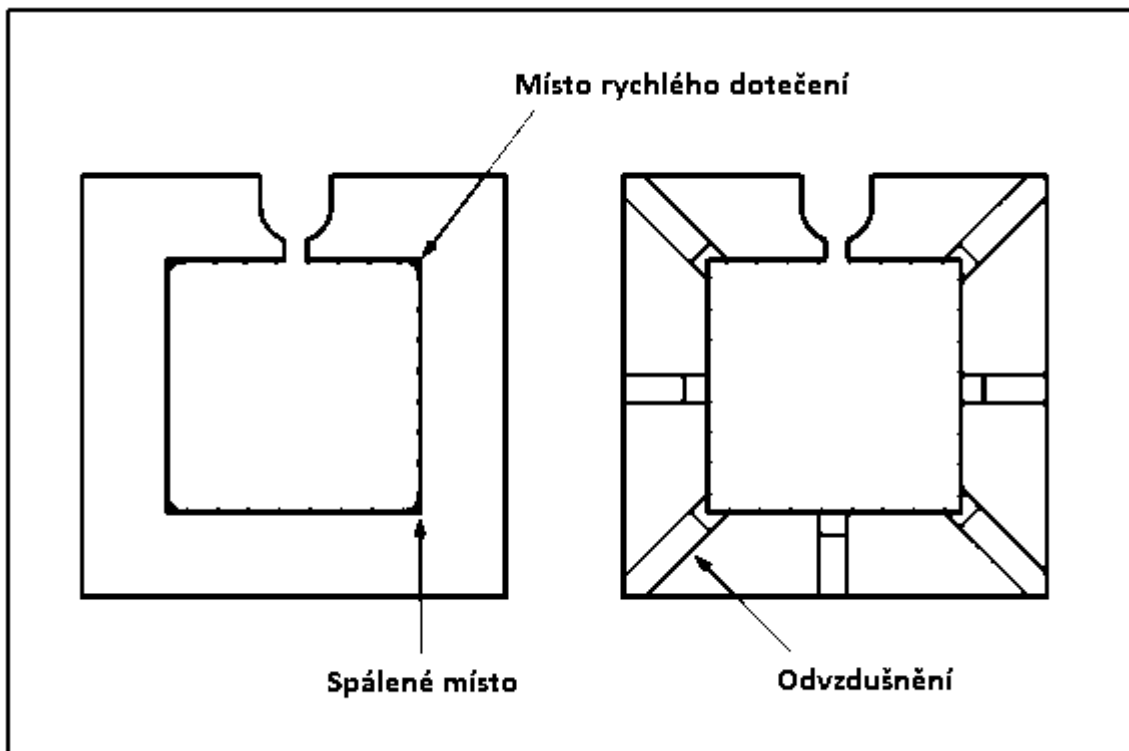
na pasivní odvzdušnění a aktivní odvzdušnění. Aktivní odvzdušnění je tam, kde je jiný tlakový gradient uměle vytvořen, aby umožnil vytápění tam, kde je pasivní odvzdušnění běžnou metodou navrhování, že tlak taveniny sám odvádí vzduch z dutiny.

Navrhování odvzdušnění je volitelnou součástí návrhu forem, což znamená; obvykle při uzavření formy může uzavřený vzduch unikat dělicí částí a rozestupem vymežovacího kolíku, avšak pokud jde o navržení odvzdušňovacího otvoru v případě potřeby nebo pokud neexistuje žádný způsob, jak by vzduch mohl uniknout, mělo by být provedeno na dělicí rovině. Rozměry odvzdušnění jsou přímo spojeny s reologií taveniny, tj. typem plastu a jeho viskozitou, čím je jeho viskozita vyšší, tím větší je rozměr odvzdušnění. Je dobré mít na paměti, že velikost nesmí být příliš malá, aby se zabránilo vytlačování vzduchu a příliš velké, aby se tavenina rozptýlila. Na níže uvedeném obrázku je demonstrován společný standardní rozměr určitého odvzdušňovacího systému. [20]



Obr. 8 Konstrukční rozměry odvzdušňovacího kanálu

Když zvážíme umístění ventilačního systému do formy, měly by být umístěny v dělicí rovině, kdekoli vhodné pro výstup vzduchu o průměrné vzdálenosti přibližně 25 mm. V podstatě během plnění je vyplněna část formy, která je tlustší, a tenčí část se naplní později, že vzduch je zachycen a může způsobit neúplné vyplnění. Odvzdušnění by tedy mělo být umístěno v oblastech, které se zaplní jako poslední.



Obr. 9 Pozice odvzdušnění ve formě

Jiný způsob odvzdušnění, kde výše uvedený postup není použitelný nebo je třeba další vylepšení, je použití slinutých kovových vložek. Tento postup se používá jako poslední možnost na neviditelných površích a umožňuje unikání plynů procházet přes ně bez zanesení polymeru. [21]

#### 4.6.2 Výhody odvzdušnění

Ve výše uvedených bodech by mělo být odvzdušnění použito ve většině navrhování forem. Zvyšuje kvalitu tvarové části mnoha způsoby a vede k lepší povrchové úpravě, kvalitě a rozměrové dokonalosti s konzistencí.

Celkově má ventilace pro kvalitu plnění následující výhody a zabraňuje:

- spálená místa,
- neúplné plnění,

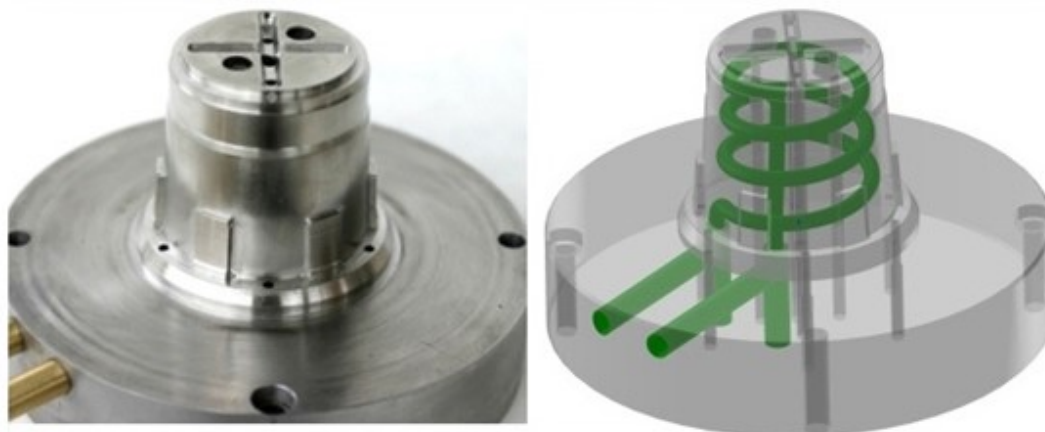
- slabé a viditelné svary,
- špatná povrchová úprava,
- špatná mechanická vlastnost,
- místní koroze povrchu dutiny formy,
- nepravidelné dimenzování. [16]

## 4.7 Systém výměny tepla

Termín výměna tepla se významným způsobem podílí na konstrukci forem, kdy se vstříkovaný plastový tavný materiál během vytvrzování zahřívá a po vstříkování do dutiny, dochází ke konstantní výměně tepla s formou. To je rozhodující faktor pro jakoukoliv výrobu a kvalitu vstříkovacích forem. Tudiž v závislosti na teplotě taveniny, specifickému teplu z plastického materiálu a ve vztahu k teplotě vnějšího povrchu a okolního prostředí se forma ošetřuje jako výměník tepla. Jelikož je žádoucí udržovat konstantní teplotu ve formě a chlazení pro tuhnutí části výrobku, je forma opatřena chladicím systémem pro optimální chladicí dobu, účinnost a kvalitu výroby. [23]

### 4.7.1 Chlazení formy

Tavenina, zahřátá otáčením šroubu ve vstříkovacím stroji, má značný obsah tepla a po vstříkování do dutiny se toto teplo musí odvádět z formy, a tím ochladit část formy, aby se byla připravena součást k vyhození. Rozptyl tepla je chlazení formy. Zajišťuje odpovídající regulaci teploty formy a musí být jednotná pro konzistentní tvarování. Tato teplota formy musí být optimální a opatrně regulována, jelikož správné vlastnosti technických plastů dosahují při této teplotě, která má podstatný výsledek na mechanické, smršťovací, průtokové a cyklické době.



Obr. 10 Temperace tvarových vložek [7]



Chlazení formy je nejvýznamnějším procesem tváření; trvá to asi 2/3 doby výrobního cyklu, proto musí být efektivně navrženo s vhodným chladicím kanálem, aby se zkrátila doba cyklu a zvýšila se rychlost výroby a kvalita. Má dalekosáhlé důsledky v kvalitě dílu, protože se zamezuje horkému místu, spáleným místům, smršťování a tepelnému zbytkovému napětí. [20]

#### 4.7.2 Doba chlazení

Doba chlazení je doba, po kterou se součást ve formě ochlazuje a tuhne po vstříkování taveniny do dutiny. Jedná se obvykle o 2/3 celkové doby cyklu potřebné pro celý proces. V praxi se vztahuje k nejtěžší tloušťce stěny části a zdvojnásobení tloušťky stěny čtyřnásobně zkracuje dobu ochlazování, je také nepřímě spojeno s tepelnou difuzivitou taveniny. Tepelná difuzivita taveniny je charakterizována tepelnou vodivostí, hustotou a specifickým teplem taveniny. Níže uvedená tabulka přezkoumává praktické vztahy týkající se doby chlazení a vzorce uvedené níže. [21]

$$\text{Čas chlazení} = \frac{(\text{Největší tloušťka stěny})^2}{\text{Tepelná difuzivita polymerní směsi}}$$

$$\text{Čas chlazení} = \frac{(\text{Největší průměr kanálu})^{1,6}}{\text{Tepelná difuzivita polymerní směsi}}$$

kde je tepelná difuzivita polymerní směsi definována jako:

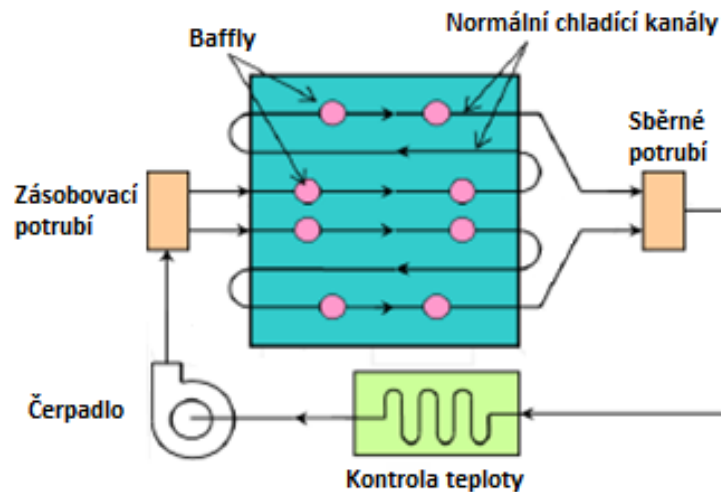
$$\text{Tepelná difuzivita} = \frac{(\text{Tepelná vodivost})^{1,6}}{(\text{Hustota})(\text{Specifické teplo})}$$

Obr. 11 Rovnice času chlazení

#### 4.7.3 Konstrukce temperačního systému

Navrhování temperačního systému je životně důležité pro konstrukci formy tak, aby byla zajištěna kvalita a produktivita tím, že se přímo změní doba cyklu; není to však nutně pravda pro všechny formy, v případě malosériových výrob se teplo z plastové taveniny prostě roztýlí do formy a okolního prostředí bez chladicího systému, avšak chladicí systém je přísně důležitý pro výrobu ve velkém měřítku, kde je kvalita a přesnost detailů je problém. Co se týče tohoto návrhu, může být provedeno přímo počítačovými programy pro určení vzorku chlazení formy, v tomto případě je počítačový program použitelný

po provedení konstrukce formy a zohledňuje tvar výrobku, samotný design formy a další parametry, jako je teplota a vlastností taveniny, chladicí kapaliny, ale pro potřebu návrhu chladicího systému před konečným stupněm formy by měla být navržena chladicí soustava v alternativních praktických postupech návrhu a pochopení uspořádání a funkce chlazení. [23]



Obr. 12 Typické uspořádání chladicího systému [23]

V tomto typickém uspořádání chlazení, jak je znázorněno na obrázku výše, může být forma považována za výměník tepla a chladicí kapalina cirkuluje navrženým vzorem, aby odváděla teplo, které pochází z polymerní taveniny vstříkované do dutiny. S ohledem na celkový souhrn chladicích soustav sestává z této části studie vypracování projektové techniky a návodů pro funkční chlazení, které se skládají z jednotky řízení teploty, čerpadla, zásobovacích a sběrných potrubí a chladicích kanálů. [23]

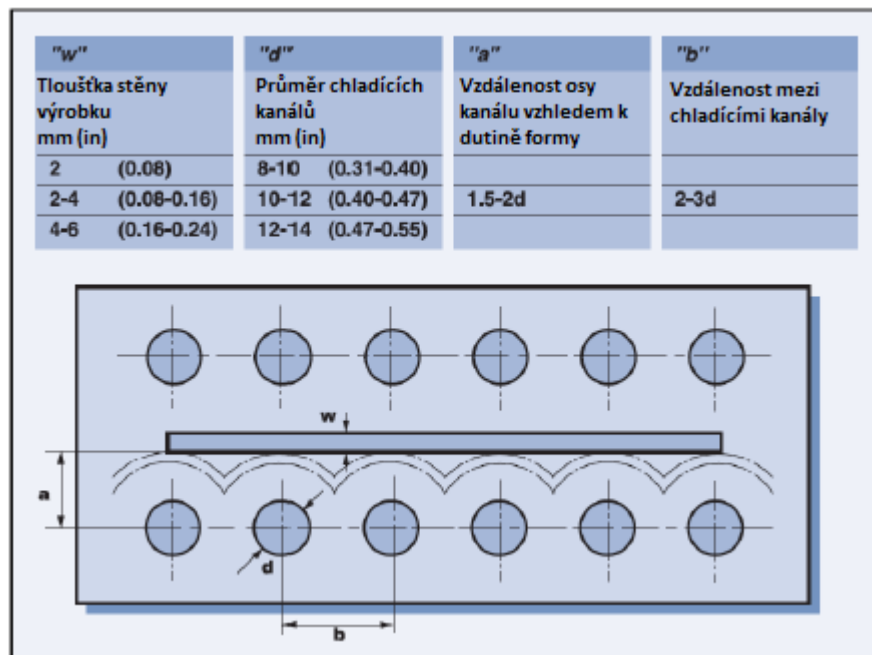
### Navrhování principů

Níže jsou navrženy principy chladicího systému a směrnice. Zhotovení systému se provádí frézováním nebo vrtáním kanálku pro chladicí médium těsněji k dutinám a jádru. Základním principem je to, že pohyblivá chladicí kapalina v kanálu cirkuluje a tímto pohybem reguluje teplo z vysoké teploty na nižší.

### Principy navrhování

- Prvotní princip, spočívá na koncepci, že chladicí kanály jsou umístěny na povrchu formy těsněji k dutinám a jádru v rovnoměrné vzdálenosti mezi nimi. Tyto kanály musí mít průměr průřezu vhodný pro účinné chlazení v závislosti na teplotě formy a teplota materiálu taveniny s podílem podle rozdělovače přívodu pod nebo

v okolních kanálech, kromě jejich vzdálenosti od odpovídajících dutin a jádra by měla být vhodně zvolena. Toto dimenzování a umístění kanálů chladicí kapaliny je plně shrnuto v následujícím obrázku. [21]



Obr. 13 Návrh a dimenzování chladicího kanálu [21]

Po zhotovení základního dimenzování a umístění kanálů, které musí být navrženo tak, aby tok chladicí kapaliny byl v turbulenčním průtokovém vzoru, což zajistí, že chladicí kapalina ochladí jednotlivé části formy. Tento tok charakteristik je definován Reynoldsovým číslem,  $Re$  a hodnotou větší než 4000 implikuje turbulentní tok.  $Re$  je definováno jako:

$$Re = (V * D) \div \nu \quad , \quad \nu = \mu \div \rho \quad (1)$$

Kde  $V$  je rychlost chladicího média v m/s,  $D$  je průměr kanálu v m;  $\nu$  je kinematická viskozita v  $m^2/s^2$ ,  $\mu$  absolutní viskozita a  $\rho$  hustota chladicí kapaliny. Proto na základě výše uvedené analýzy lze charakteristiky turbulence dosáhnout hodnoty vyšší než 4000. Ve většině případů pro rychlý a účinný systém chladicí kapaliny je  $Re$  hodnota kalibrována mezi 10 000 a 20 000. [21]

Vzhledem k tomu, že teplota chladicí kapaliny závisí na teplotě formy, je také zřejmé, že teplota chladicí kapaliny je nižší než jádro a dutina ve značném množství, takže tok účinně ovlivňuje teplo. Pokud jde o formy s více dutinami, změní se teplota chladicí kapaliny, jelikož proudí z dutiny do dutin, nesmí být velká, aby se zajistila účinnost a kvalita, obvykle se očekává změna teploty mezi 1 až 5 °C. Existují však i případy pro větší změnu teploty v

průtoku chladicí kapaliny u některých forem pro potřebu použití méně chladicího a levného požadavku chladicího systému. [15]

Následující jsou nejdůležitější optimální vodítka chladicího systému řízení teploty:

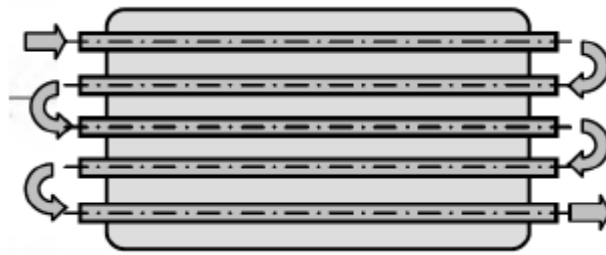
- symetrické chladicí kanály kolem dutin forem,
- krátké chladicí kanály, které zajistí vstupní a výstupní teplotní rozdíl, nesmí překročit 5 stupňů Celsia,
- vyhnout se mrtvým místům nebo vzduchovým bublinám v chladicím kanálu,
- vyhnout se rozdílu v průtokovém odporu chladicích kanálů způsobeném změnami průměru,
- výměna tepla mezi formou a strojem by měla být minimalizována. [21]

#### 4.7.4 Typy temperačních systémů

Když se blíží kapalina k průtokovému chladicímu kanálu, může tok vystupovat z dutiny do dutiny nebo jádra do jádra nebo v některých případech se tok rozdělí tak, aby mohl mít paralelní vzorec. U mnoha uspořádání pro chlazení formy může být tento vzor uspořádán v kombinaci tak, že má vážný paralelní vzorec, což může být vždy, pokud je splněn základní konstrukční princip, může být jakékoliv z chladicích zařízení účinné pro chladicí systém jedné nebo více dutin. Proto na základě tohoto vzoru lze systém chlazení klasifikovat jako:

##### *Sériové chladicí kanály*

Jedná se o nejběžnější typ uspořádání chladicích kanálů, kde proud chladicí kapaliny je v jediné smyčce připojený ze vstupního a výstupního rozdělovače, jak je znázorněno na obrázku. V tomto typu uspořádání se většinou praktikuje v chladicím systému formy udržováním rovnoměrného průřezu průměru, velikosti kanálu a umožňujícího turbulentní tok pro účinné a rovnoměrné chlazení formy. Mohou být uspořádány vážné sériové chladicí kanály, kde je potřeba udržovat rovnoměrné chlazení pro velké formy. [23]



Obr. 14 Sériové chladicí kanály [23]

### ***Paralelní chladicí kanály***

V tomto typu chladicích kanálů je proudění chladicí kapaliny z rozvodného potrubí do sběrného potrubí děleným způsobem, teče podél paralelně uspořádaných kanálů, uspořádání je znázorněno na obrázku níže. Jako charakteristiky tohoto typu uspořádání chladicích kanálů má měnící se průtokové rychlosti v důsledku uspořádání, což má za následek, že chladicí schopnost systému je nerovnoměrná, což vede k nehomogennímu chlazení formy.



Obr. 15 Paralelní chladicí kanály [23]

### ***Vážené paralelní chladicí kanály***

Tento systém chlazení forem může být uspořádán ve vážných paralelně uspořádaných kanálech. Uspořádání může být pro tok z dutiny do dutiny nebo jádra dodávané paralelním uspořádáním ze sběrného sacího potrubí a nakonec po sériovém proudění vzorku může být shromážděno rozděleným paralelním způsobem ke sběrnému výtokovému potrubí. [23]

#### **4.7.5 Smrštění**

Pod základními principy a metodami navrhování forem je nejasná část obvykle odkrytá a kontroverzní; je tak zásadní, že má velké důsledky v částečné přesnosti a obecné celkové produktivitě. Smršťování, doslovně řečeno, se týká skutečné změny objemu vzhledem

k originálu. Co se týče smrštění plastových materiálů, zahrnuje to charakteristiky stlačitelnosti než jakýkoli jiný materiál při zatížení, což je způsobeno expanzí vstřikovací teploty a stlačením kvůli příslušnému tlaku. Proto je v mnohdy obtížné, aby se dosáhlo přesného smršťovacího poměru kvůli tomu, že se proti tomuto faktu zabraňuje v procesu tváření, obecně plastové materiály vykazují smrštění formy přibližně 2 %. [15]

### ***Forma a smrštění materiálu***

Smrštění materiálu v dutině formy je důležitým bodem v procesu navrhování a mělo by být zvaženo ve vztahu k teplotní dynamice, která ovlivňuje především smrštění jako taveninu vstřikovanou vysokou teplotou a ochlazovanou ve formě, mimo jiné přispívá k velikosti smršťovacího poměru také vstřikovací tlak. Z tohoto důvodu vykazují různé plastové materiály smršťovací vlastnosti v závislosti na vlastních vlastnostech materiálu, což znamená, že jsou semikrystalické nebo amorfní. Při dalším zpracování mají amorfní materiály, jako je polykarbonát, polystyren a ABS, homogenní molekulární strukturu, takže během ochlazování a po snížení vstřikovacího tlaku vykazují rovnoměrné smrštění všech částí, zatímco semikrystalické např. polypropylen, se smršťuje jinou rychlostí, kdy se krystalická část smršťuje více než její amorfní část, protože se ochlazuje, což vede k nerovnoměrným smršťovacím vlastnostem. Obvykle je obtížné zjistit přesné smršťovací faktory, ale u navrhování forem v praxi je velikost faktorů smrštění v rozsahu od 0 do 5%.

Tab. 4. Srovnávací hodnota smrštění formy

<b><u>Materiál</u></b>	<b><u>Typ</u></b>	<b><u>Smrštění/in/in</u></b>
Polypropylen	Semi-krystalický	0,010 - 0,025
Polyetylen	Semi-krystalický	0,015 - 0,040
Nylon	Semi-krystalický	0,007 - 0,018
Acetal	Semi-krystalický	0,018 - 0,025
ABS	Amorfní	0,004 - 0,009
Polykarbonát	Amorfní	0,005 - 0,007
Polystyren	Amorfní	0,004 - 0,007
PPO	Amorfní	0,005 - 0,008

*Legenda: in/in, inch za inch smrštění*

Kromě toho je smršťování komplexním tématem při navrhování forem a plastové materiály vykazují různé hodnoty smrštění, které jsou založeny na jejich vlastních molekulových a chemických vlastnostech. Smršťování je ovlivněno především teplotní dynamikou a vstřikovacím tlakem, ale existuje také mnoho proměnných přímo spojených s plastickým materiálem, jako je zejména typ taveniny, teplota taveniny, vstřikovací tlak, vylučovací tlak, geometrie dílu a tloušťka konstrukce dílů, která patří mezi hlavní.

Abychom to shrnuli, mělo by se počítat se smrštěním u většiny konstrukcí, které vyžadují chlazení dílů uvnitř dutiny formy a zvážit, že smrštění součásti během vyhazování má správnou a přesnou velikost a kvalitu výroby. Smršťování by mělo zajištěno společně se vstřikovacím systémem tak, aby bylo dosaženo nejlepšího výsledku při konstrukci forem. [24]

#### 4.7.6 Vystředění

U konstrukce forem je veškerá přesnost díky vystředění. To je zapotřebí zhotovit tak, aby konstrukce formy a její obě poloviny byly navzájem shodné ve svých osách vodících čepů, které jsou jejich nedílnou součástí. Klade se velký důraz na tolerance otvorů pro ložiska, desky a vzhledové části formy. Průměry a délky čepů a středících pouzder musí být správně zvoleny, aby se zabezpečila přesná výroba dílu.

Mimo použití vystředění v sestavě formy, musí být vstřikovací forma také vystředěna s vstřikovacím strojem. Dále je nutno provést vyrovnání v podélné části stroje. Když se upínací jednotka stroje zavře, vede formu vyrovnanou v některých směrech. Bohužel to nestačí, protože během vstřikování vzniká vysoký tlak, který vede k posunu jádra a ostatních dutin. V důsledku toho se musí forma vystředit s deskami stroje a se svými vlastními vnitřními zarovnávacími prvky a musí být udržována vystředěná. [16]

Typy středění:

- Zarovnání s osou vstřikovací jednotky
- Vnitřní zarovnání a propojení
- Upínací pouzdro mezi tvárníkem a tvárnici

#### *Vystředění formy ve stroji*

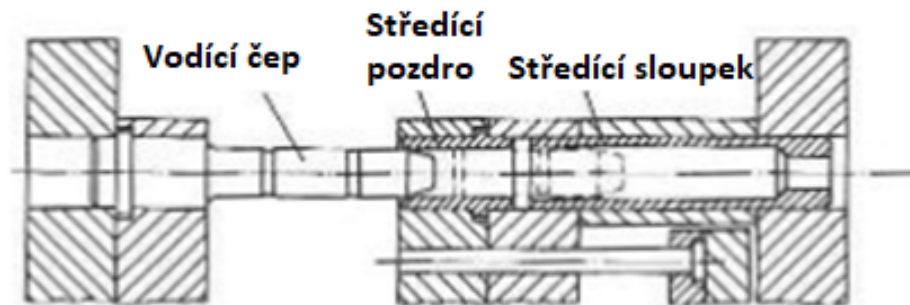
Vystředění s osou vstřikovací jednotky, která vede od špičky trysky, je nutné pro správné vstřikování taveniny a průchod do dutiny formy, a pro tento účel je provedeno vystředění mezi deskami stroje a deskami formy pomocí příruby. Jsou to otvory pro umístění kroužků

a umístění čepů. Toto uspořádání je navrženo tak, aby se hrot trysky vycentroval se zápusťkovou pouzdrou jednotkou a zabránil posunutí během vstřikování. Středící kroužek je důležitým pro tento typ zarovnání a má zkosené vnitřní a vnější plochy, které se připevňují k desce formy, jeho průměr a délka se liší podle typu vstřikovacího stroje. [25]

### *Vystředění jednotlivých částí formy*

Přestože spojovací tyče stroje slouží pro zavírání a otevírání upínací jednotky, která není dostatečně vystředěna k tomu, aby byla forma dokonale vyrovnána, musí být ve skutečnosti forma uvnitř zarovnána pomocí zarovnávacího mechanismu, který je tvořen především vodícím čepem a vodícím pouzdrem.

Vodící čep spojuje pohyblivou část formy s nepohyblivou a pohybuje se v dutině vodícího pouzdra dovnitř a ven během zavírání a otvírání formy tak, že je vodící systém a celkové vyrovnání formy dokonalé. Průměr a délka vodícího čepu závisí na tloušťce stěny dílčího výrobku a na hloubce dutiny a tolerancemi dostupných komerčních standardů. Nejběžnějším vodícím kolíkem je typ „shoulder“ a jeho zarovnání ve formě se svým pouzdrovým systémem a lokalizačním pouzdrem, jak je znázorněno na obrázku. [25]



Obr. 16 Vodící kolík typu „shoulder“ a jeho sestava



## 4.8 Vyhazovací systém

Poslední kapitola teoretické části se zabývá systémem vyhazování, což je závěrečná část procesu vstřikování, kde se výrobek z umělé hmoty v konečné fázi po ztuhnutí taveniny v dutině formy ochlazuje a tuhne, tudíž je připravena k vyhození z dutiny formy, i když některé formy nemají vyhazovací systém pro odstranění těchto plastových částí, nejčastější formy obsahují vyhazovací systém.

Jelikož se tato práce zabývá mimo jiné i vyhazovacím mechanismem, je vyhazovací systém spojený s pohyblivou částí formy, kde jsou vyhazovací desky, z nichž pochází vyhazovač. Existuje několik vyhazovacích mechanismů, jako je vzduchový ventil, stripovací zařízení, ale nejčastějším a nejpoužívanějším je metoda vyhazovačů. [26]

### 4.8.1 Vyhazovač a pouzdro

Během konstrukce forem je pro vizuální vzhled návrhu dílu povinné správné uspořádání, polohování a projektování vyhazovacího systému; nejdůležitější je správné fungování formy a zlepšení výroby je téměř nemožné.

Na konstrukci je namontován vyhazovací systém na pohyblivé polovině formy s použitím vyhazovacího čepu a pouzdra, přičemž vyhazovací čep prochází až k povrchu dílu, proto během pohybu pohyblivé části formy zůstává výrobek po ochlazení v kontaktu s těmito kolíky, které jsou vytlačeny a potom před začátkem druhého cyklu vstřikovacího stroje se vyhazovače zatahují zpět připravit se pro další cyklus. Vyhazovače jsou k dispozici s různými průměry, ale jejich velikost je volena převážně na základě velikosti tloušťky dílu a také se při vyhazovací teplotě určuje velikost a typ kolíků a pouzder, které se mají použít. [26]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dle vedoucího diplomové práce byly stanoveny tyto cíle:

- vypracujte literární studii na dané téma,
- vyhotovte 3D model vstříkovaného výrobku,
- proveďte simulaci vstříkovacího procesu,
- vypracujte konstrukční návrh vstříkovací formy,
- vyhotovte výrobní výkres výrobku a výkres sestavení vstříkovací formy.
- 

V první části se diplomová práce zabývá teorií potřebnou ke konstrukci vstříkovací formy. Druhá část je věnována konkrétnímu konstrukčnímu návrhu vstříkovací formy v softwaru CATIA V5R19 podpořeným tokovou analýzou v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Veškeré výstupy jsou popsány v následujících kapitolách. Výkresová dokumentace v podobě sestavy a kusovníku je uvedena v příloze práce.

## 6 POPIS VÝROBKU

Tento díl slouží jako kryt motoru automobilu, který má za úkol zamezit povrchovému znečištění motoru, částečnému prochlazení v zimě a také k tlumení hluku. Horní strana krytu je pohledová. Ke zhotovení 3D modelu krytu motoru byl použit program Catia V5R19. Díl je vymodelován ve třech provedeních a to sice v měřítku 1:1, dále je pak zbaven menších rádiusů a tvarů kvůli tokové analýze z důvodu lepší kvality sítě a ve třetí variantě je model zvětšen o hodnotu smrštění 0,3 % materiálu a následně je dle tohoto modelu konstruována vstřikovací forma.

Výrobek zaujímá 1021 cm<sup>3</sup>, hmotnost činí 1,643 kg a jeho rozměry jsou 170 x 530 x 710 mm (výška x šířka x délka)

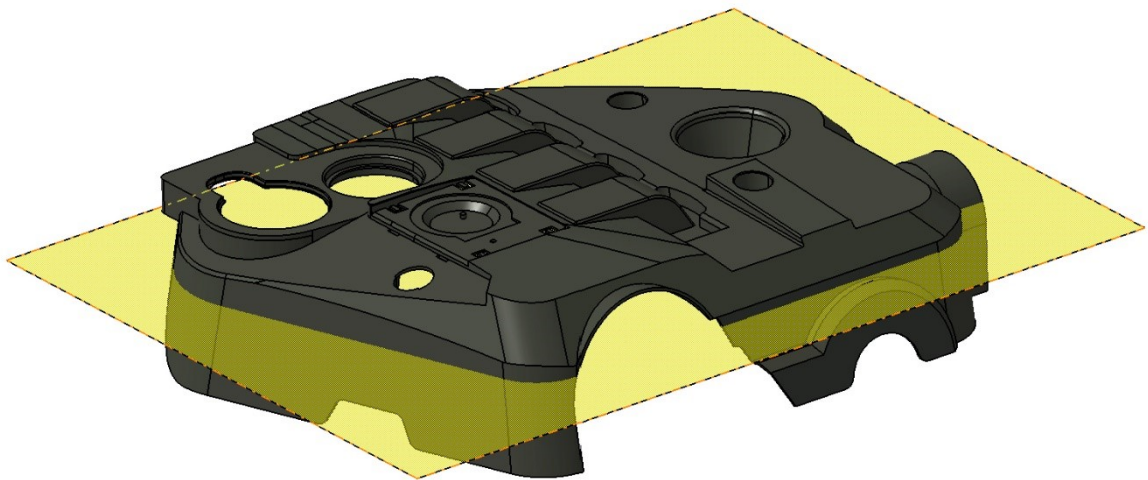


*Obr. 17 Kryt motoru automobilu*

## 6.1 Zaformování výrobku ve formě

Volbu dělicí roviny je velmi důležité zohlednit již na začátku samotné konstrukce vstřikovací formy. Od volby této dělicí roviny se potom odvíjejí další kroky návrhu formy. Mezi tyto patří zejména volba vtokového a vyhazovacího systému. Dále také návrh temperačních systémů jak pro tvárník tak i pro tvárnici.

Na obrázku níže je vidět umístění hlavní dělicí roviny, která je znázorněna žlutou barvou.



*Obr. 18 Volba dělicí roviny*

## 6.2 Materiál výrobku

Pro výrobu krytu motoru byl zvolen materiál polyamid PA6 30GF, který představuje kombinaci mechanické tuhosti, pevnosti, schopnosti tlumení a odolnosti vůči opotřebení. Vlastnosti, které jsou zde uvedené, zároveň s příznivými elektroizolačními vlastnostmi a dobrou odolností proti působení chemikálií, řadí polyamid PA6 do skupiny univerzálně použitelných materiálů v oblasti konstrukce i údržby.

Tento nylon, který je vyztužený 30 % skleněných vláken, má například ve srovnání s PA 66 zvýšenou tuhost, pevnost, odolnost proti tečení a rozměrovou stálost. Vyniká odolností proti opotřebení a disponuje tak vyššími maximálními provozními teplotami. Barva je černá.

Thermoplastics material

Microcellular Properties	Optical Properties	Environmental Impact	Quality Indicators	Crystallization Morphology	Stress - Strain	Mechanical Models	
Description	Recommended Processing	Rheological Properties	Thermal Properties	pvT Properties	Mechanical Properties	Shrinkage Properties	Filler Properties
Family name	POLYAMIDES (NYLONS, PPA, ...)						
Trade name	Ultradid BG50GM24						
Manufacturer	BASF Engineering Plastics						
Link	<a href="http://ultrasim.com/moldflow-datalink">http://ultrasim.com/moldflow-datalink</a>						
Family abbreviation	PA6						
Material structure	Crystalline						
Data source	Moldflow Corporation : pvT-Measured : mech-Supplemental						
Date last modified	25-JUL-06						
Date tested	01-AUG-99						
Data status	Non-Confidential						
Material ID	54431						
Grade code	AS127						
Supplier code	BASFCUST						
Fibers/fillers	10% Glass Fiber Filled, 20% Mineral Filled						

Obr. 19 Materiálový list

Thermoplastics material

Microcellular Properties	Optical Properties	Environmental Impact	Quality Indicators	Crystallization Morphology	Stress - Strain	Mechanical Models	
Description	Recommended Processing	Rheological Properties	Thermal Properties	pvT Properties	Mechanical Properties	Shrinkage Properties	Filler Properties
Mold surface temperature	85	C					
Melt temperature	280	C					
Mold temperature range (recommended)							
Minimum	70	C					
Maximum	100	C					
Melt temperature range (recommended)							
Minimum	270	C					
Maximum	290	C					
Absolute maximum melt temperature	350	C					
Ejection temperature	184	C					
	View test information for ejection temperature...						
Maximum shear stress	0.5	MPa					
Maximum shear rate	60000	1/s					

Obr. 20 Doporučené zpracovatelské parametry materiálu

## 7 SIMULACE VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Tato část diplomové práce se zabývá tokovou analýzou taveniny uvnitř dutiny formy, kdy je nahrán model krytu motoru automobilu ve formátu \*.stl do programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 a následně jsou optimalizovány procesní podmínky pro nejlepší výsledek CAE simulace.

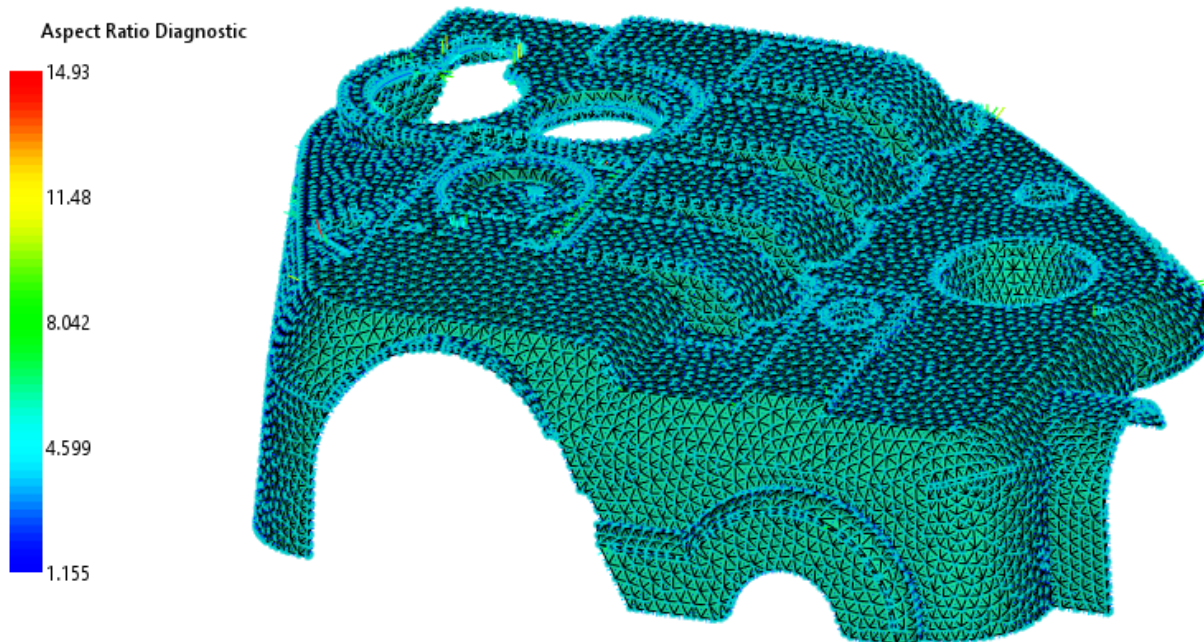
### 7.1 Software

Při výpočtu simulace vstřikovacího procesu pro plastový kryt motoru automobilu byl použit software Autodesk Moldflow Synergy 2016. Tento program slouží jako simulační software pro vstřikování plastů. Disponuje nástroji, které napomáhají predikovat, vyhodnotit a v neposlední řadě optimalizovat technologický design vstřikovacích forem a plastových dílů.

### 7.2 Vytvoření sítě (generate mesh)

Po vložení 3D modelu do programu, následuje tvorba sítě. V tomto případě byla vygenerována síť, jejíž elementy měly v prvotní verzi velikost 18 mm. Tato síť však nesplňovala potřebná kritéria pro kvalitní výpočet analýzy a byla proto změněna velikost elementů na 10 mm. Dále byla provedena diagnostika kvality sítě Aspect Ratio Diagnostic, která popisuje poměr stran elementů (trojúhelníků). Platí zde podmínka, že hodnota Aspect Ratio nesmí být větší než 15 a čím je hodnota menší, tím je vytvořená síť přesnější.

Na výrobku byla vygenerována síť s nejvyšší hodnotou 14,93. Vzhledem k rozměrům modelu, tato síť vyhovuje.



Obr. 21 Aspect Ratio Diagnostic

### Analýza statistiky sítě

Celkový čas výpočtu tokové analýzy se přímo odvíjí od kvality vygenerované sítě. Kvalitnější síť má za následek delší dobu výpočtu, ale přesnějších výsledků. Příkaz Mesh statistics zobrazí důležité parametry, a je nezbytné, aby byly dodrženy podmínky, že se následující parametry musí rovnat nule.

- Free edges – volné hrany
- Non – manifold edges – nepropojené hrany
- Elements not oriented – neorientované elementy
- Element intersections – protínající se elementy
- Fully overlapping elements: – překrývající se elementy

Na následujícím obrázku (Obr. 21) lze vidět, že jsou všechny tyto podmínky splněny a dále je splněna i podmínka Match percentage, která musí mít hodnotu v rozmezí 80 ÷ 97 %. V tomto případě se hodnota pohybuje v rozmezí 92 ÷ 94 %, tudíž naprosto vyhovuje.



Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
14.93	1.93	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		58131
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		92.3%
Reciprocal percentage		94.0%

Obr. 22 Mesh statistics

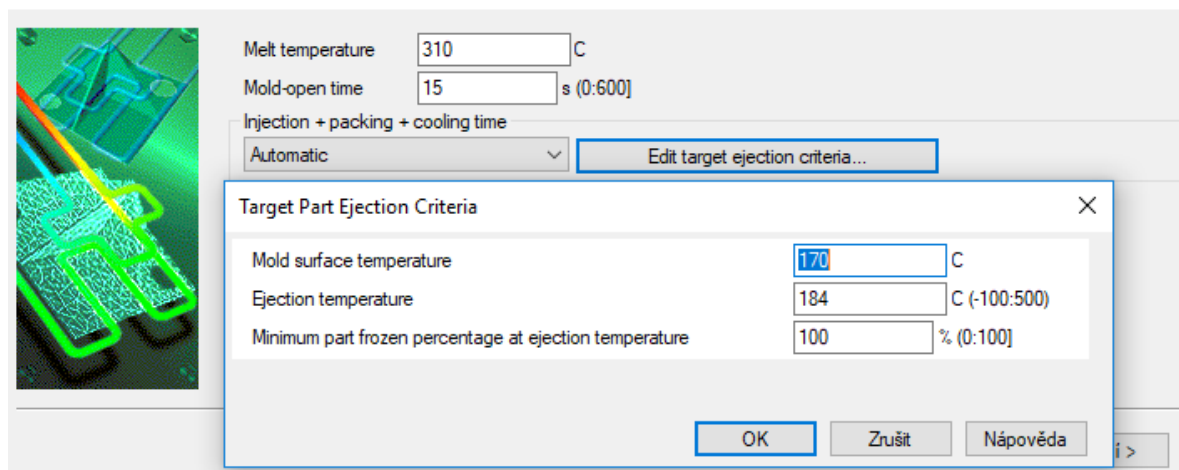
### 7.3 Procesní parametry (process settings)

Nastavení procesních podmínek je další důležitou součástí celé analýzy. Je důležité optimalizovat okrajové podmínky tak, aby byl zajištěn celý průběh vstřikovacího procesu.

V prvním kroku byly nastaveny tyto hodnoty:

- melt temperature (teplota teveniny): 310 °C
- mold-open time (doba otevření formy): 15 s
- injection + packing + cooling time (vstřík + dotlak + čas chlazení): Automatic
- mold surface temperature (teplota povrchu formy): 170 °C
- ejection temperature (vyhazovací teplota): 184 °C

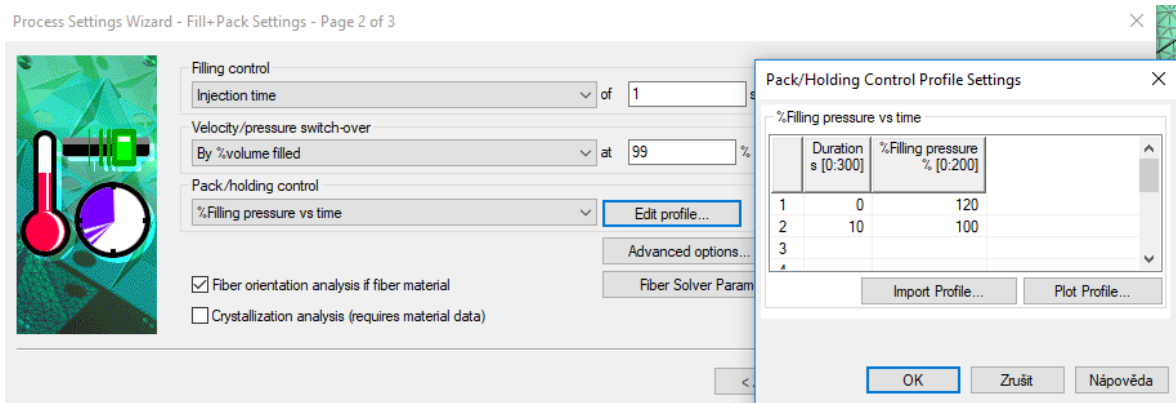
Process Settings Wizard - Cool Settings - Page 1 of 3



Obr. 23 Procesní podmínky 1

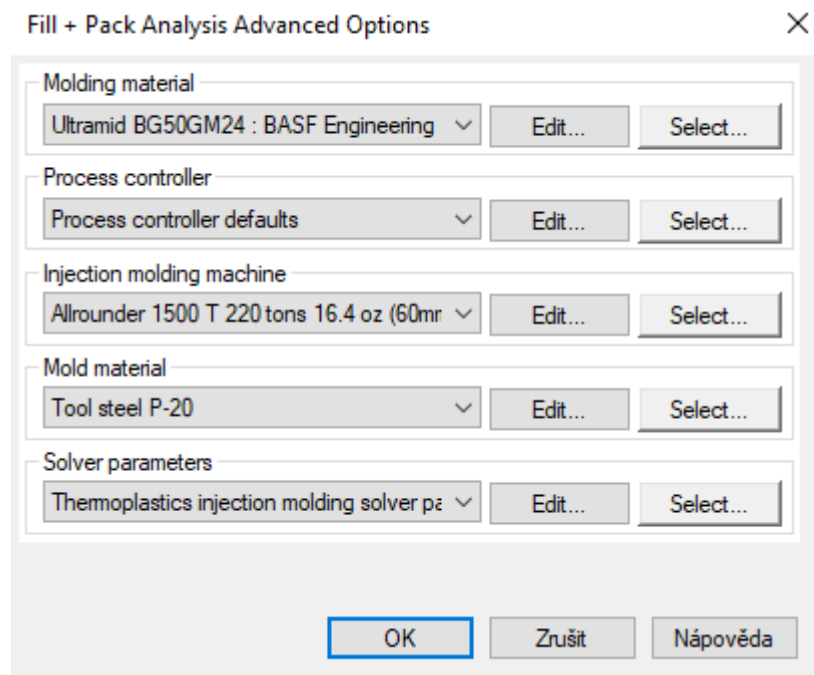
Ve druhém kroku se byly nastaveny parametry zahrnující plnění a dotlak taveniny do dutiny formy. Nastaveny byly tyto hodnoty:

- filling time (čas plnění): 1 s
- velocity pressure switch-over by % volume filled (přepnutí na dotlak při % zaplnění): 99%



Obr. 24 Procesní podmínky 2

V dalším kroku byl nastaven vstříkovací stroj, který je potřeba vhodně zvolit z hlediska rozměrů formy, dále také uzavírací síly a objemu vstříkované taveniny. V podrobnějším nastavení stroje je nutné nastavit, že stroj nesmí překročit svoji maximální uzavírací sílu.



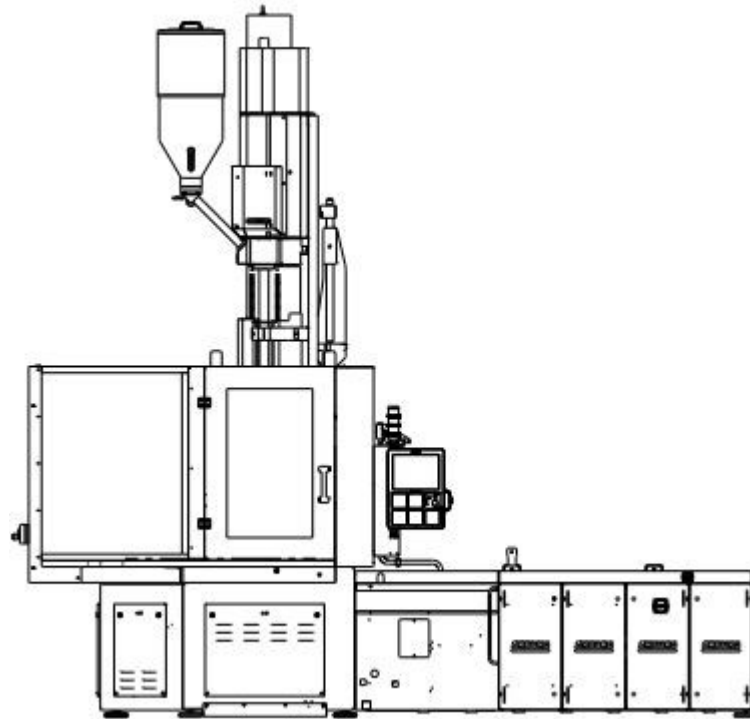
Obr. 25 Procesní podmínky 3

Na závěr nastavení všech podmínek byly zvoleny další parametry:

- consider mold thermal expansion (možnost sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy)
- isolate cause of warpage (možnost izolovat příčiny deformace)
- consider corner effects (zvážit rohové efekty)

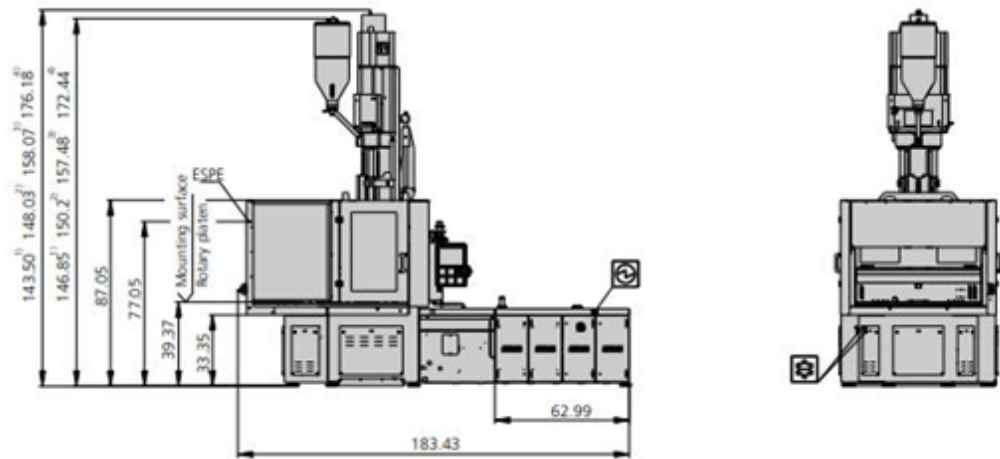
#### 7.4 Vstřikovací stroj (injection machine)

V tomto případě byl zvolen stroj Arburg Allrounder 1500 T na základě defaultní analýzy. Jelikož je forma pro kryt motoru automobilu příliš velká, musel být ze seznamu v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 vybrán vertikální vstřikovací stroj, protože by se svými rozměry tato forma do horizontálních strojů nedala upevnit. Tento vstřikovací stroj splňuje veškerá kritéria. Jak uzavírací sílu, rozměry i objem vstřikované dávky. Dále tento stroj disponuje možností nastavit vstřikovací jednotku jak vertikálně tak i horizontálně.



Obr. 26 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 1500 T

### Rozměry stroje Arburg Allrounder 220 TUN| 1500T



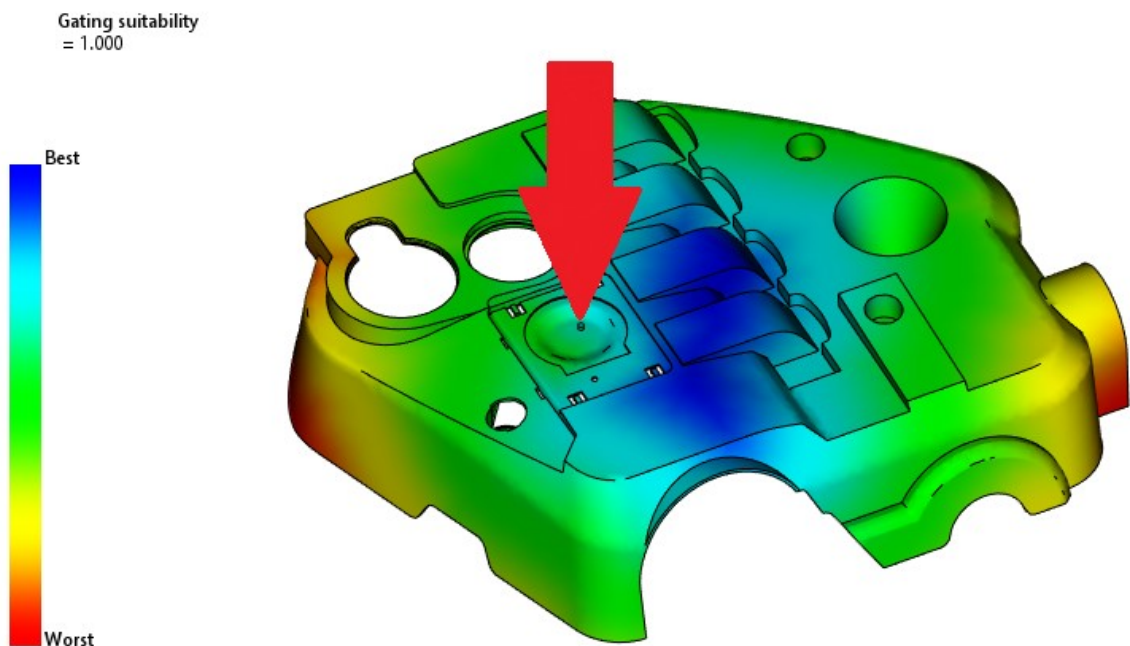
Obr. 27 Rozměry vstříkovacího stroje

Tab. 5. Parametry stroje

<b>Výrobce</b>	Arburg
<b>Název</b>	Arburg Allrounder 1500 T
<b>Uzavírací síla</b>	220 tun (2200 kN)
<b>Průměr šneku</b>	60 mm
<b>Vstříkovací tlak</b>	1650 bar

## 7.5 Umístění vtokového ústí (gate location)

Tato funkce umožňuje najít nejvhodnější místo na výrobku, kde by měl být teoreticky umístěn vtok taveniny. Modrá barva na obrázku vyznačuje nejvhodnější zónu pro vtok taveniny. Avšak z důvodu možného vtokového zbytku na pohledové straně, musel být vtok umístěn o pár centimetrů mimo tmavě modrou část na předem připravený výstupek. Celá tato část je pak zakryta logem koncernu, který vyrábí různé značky automobilů, kdy se plastové logo nacvakne na 4 západky a zakryje se tím tak zmiňovaný vtokový zbytek a pohledová strana tak nejeví žádné známky po vtok.

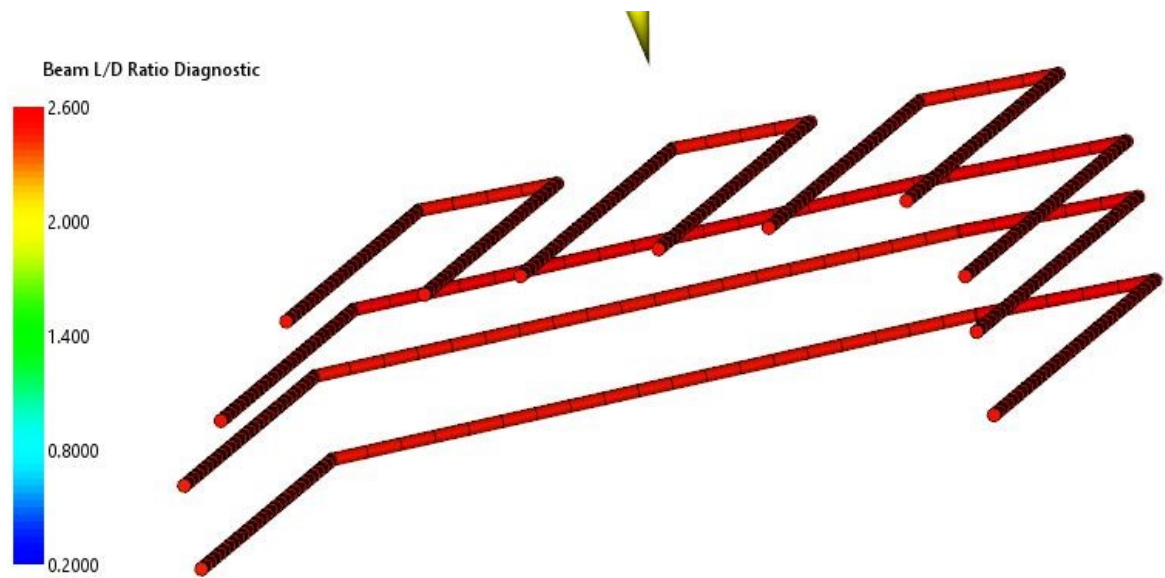


Obr. 28 Umístění vtoku

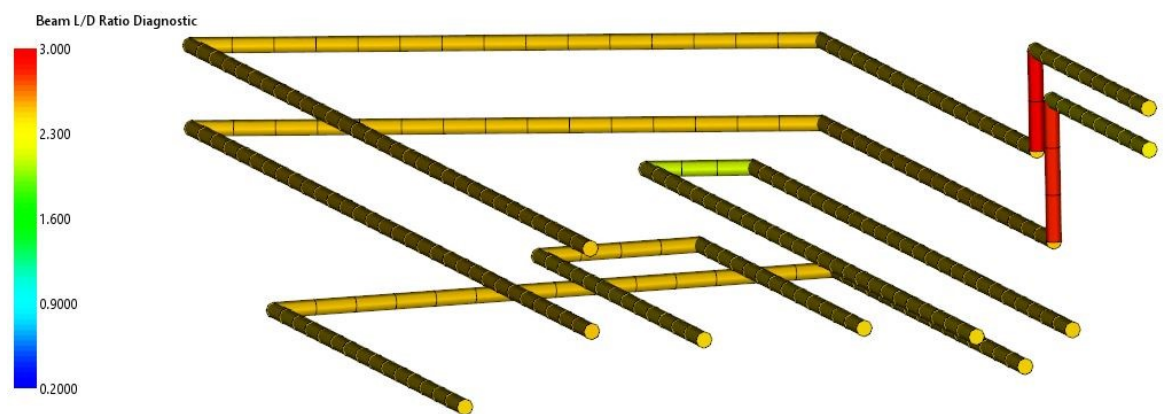
## 7.6 Temperační systém

Pro dotečení taveniny do všech částí dutiny formy bylo potřeba zhotovit temperační systém. Celý tento systém se dělí na 2 části a to část pro tvárník a část pro tvárnici.

Temperační systém pro tvárník disponuje pěti okruhy. Polovina tvárnice má tyto okruhy 4. Všechny temperační okruhy jsou vrtány s průměrem 10 mm. Před začátkem analýzy bylo potřeba zjistit správnost vysítování těchto kanálů pomocí příkazů „Beam L/D Ratio Diagnostic“. Tato hodnota by neměla být vyšší než 3. Na obrázcích níže je vidět, že temperační systém jak pro tvárník, tak i pro tvárnici vyhovuje této hodnotě.



*Obr. 29 Temperační systém tvárnice*



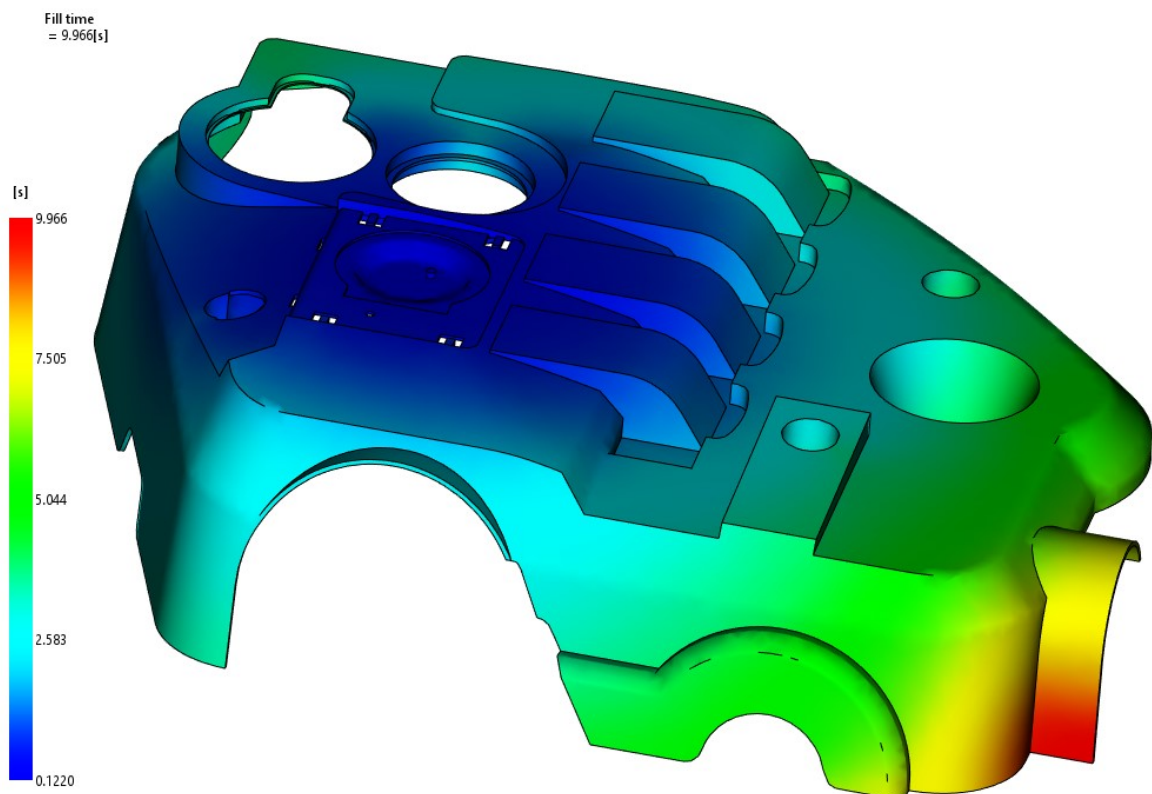
*Obr. 30 Temperační systém tvárniku*

## 8 VÝSLEDKY SIMULACE

Analýza popisuje chování taveniny uvnitř dutiny formy během plnění. Bere také ohled na nastavené temperační systémy a všechny nastavené procesní podmínky. Simulace byla provedena v Autodesk Moldflow Synergy 2016.

### 8.1 Čas plnění a dotlak (filling time and packing)

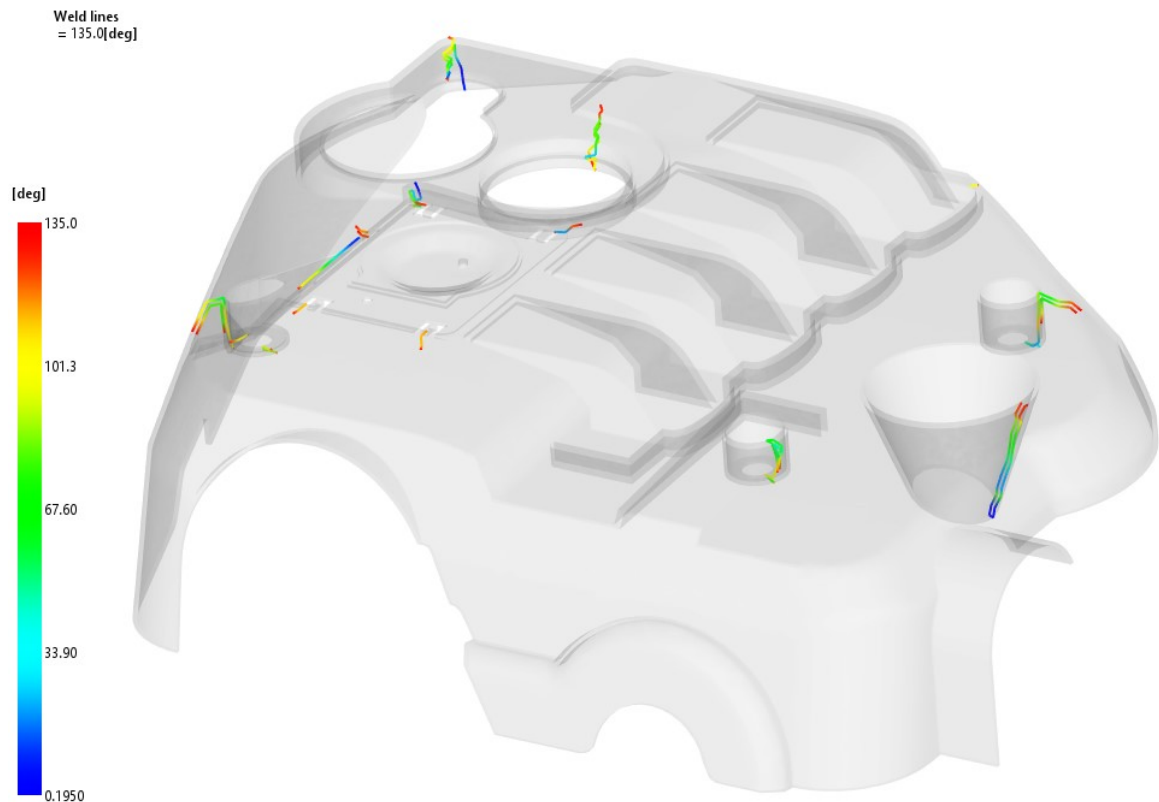
Čas plnění (filling time) zobrazuje čas, za který doteče tavenina do všech částí dutiny formy. V defaultní analýze nastal problém s nedotečením taveniny do nejvzdálenějšího místa výrobku. Proto muselo být změněno hned několik parametrů jako teplota povrchu formy, teplota taveniny, vyhazovací teplota, druh a teplota temperačního média a fáze dotlaku taveniny tak, aby se dosáhlo úplného zaplnění dutiny formy. U tohoto výrobku činí čas pro zaplnění dutiny 9,966 s.



Obr. 31 Čas plnění

## 8.2 Studené spoje (weld lines)

Tyto spoje vznikají setkáním dvou studených čel taveniny, která na sebe narazí v průběhu plnění dutiny formy. Je to nežádoucí jev, který může mít na svědomí např. dlouhá tečení taveniny, nízká teplota taveniny nebo formy. Tyto spoje mají negativní vliv na mechanické i optické vlastnosti celého výrobku.

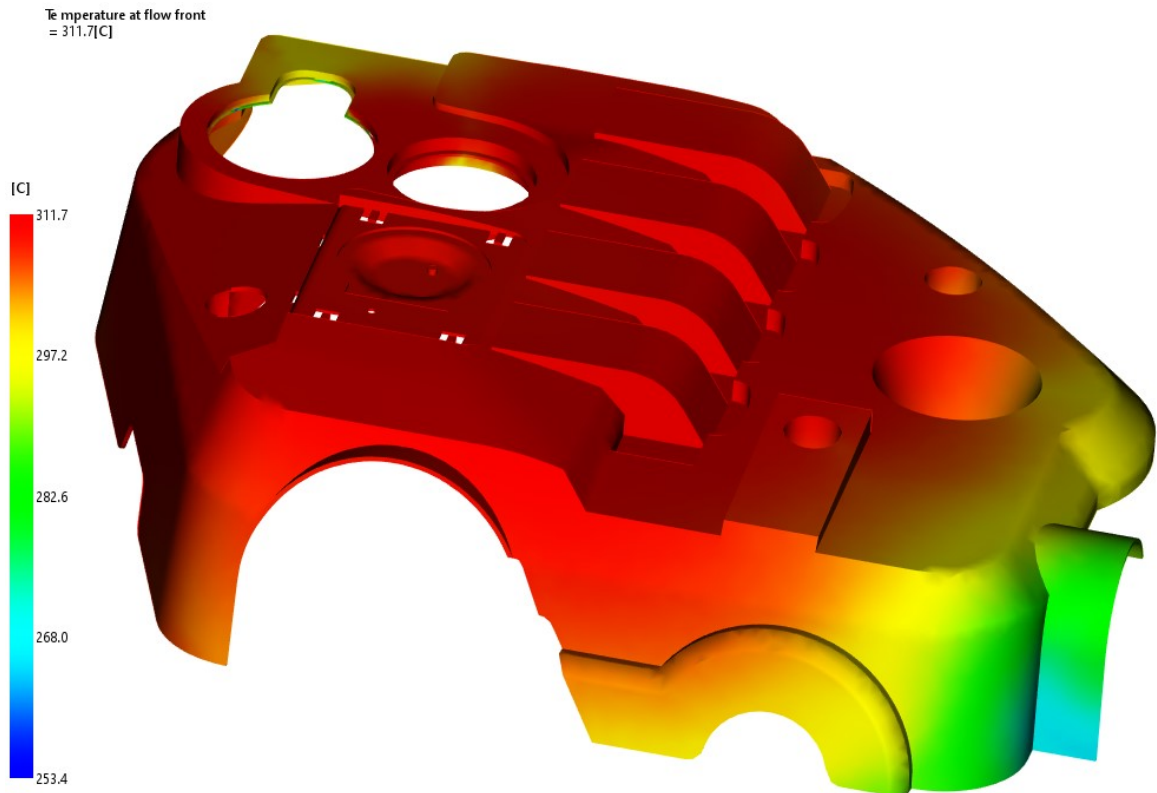


Obr. 32 Studené spoje

## 8.3 Teplota na čele taveniny (temperature at flow front)

Pokud by teplota na čele taveniny během procesu vstřikování razantně stoupla, mohlo by to mít negativní vliv na vlastnosti taveniny a hrozí degradace samotného polymeru, což by mohlo vést k nekvalitnímu výrobku. A pokud by byla tavenina příliš studená, hrozí riziko vzniku studených spojů, které jsou taktéž nežádoucí. Teplota čela taveniny daného výrobku pohybuje mezi 253,4 – 311,7 °C.



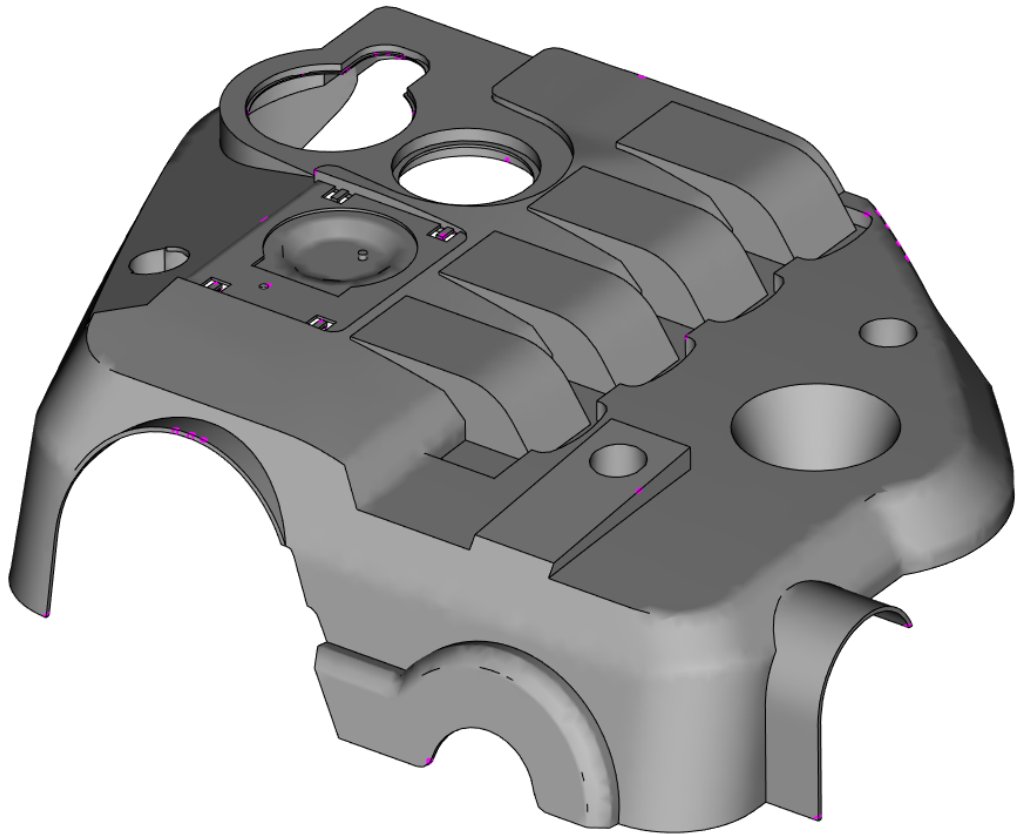


*Obr. 33 Teplota na čele taveniny*

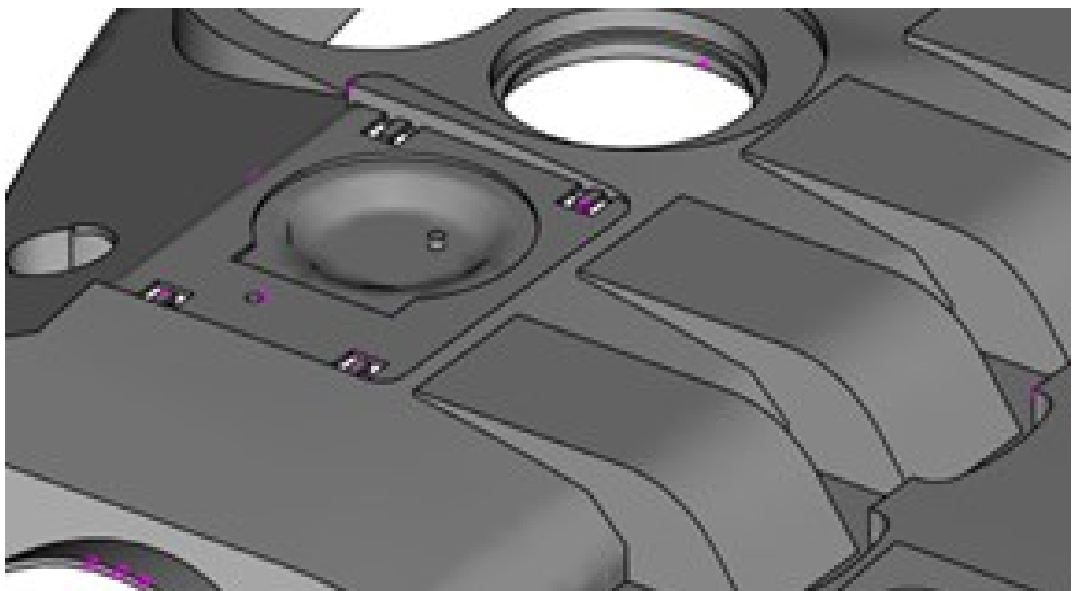
#### **8.4 Vzduchové kapsy (air traps)**

Vzduchové kapsy vznikají při prudkém stlačení vzduchu v dutině formy. Jsou častou příčinou vzniku Dieselova efektu, což může mít za následek spálená místa na výrobku. Pomocí této analýzy lze tedy zjistit, kde se hromadí vzduch v dutině formy a případně pak provést odvzdušnění formy. V tomto případě odvzdušnění formy nebylo řešeno, neboť se předpokládá únik vzduchu přes dělicí rovinu anebo přes vůli mezi vyhazovači a tvárníkem.

Air traps



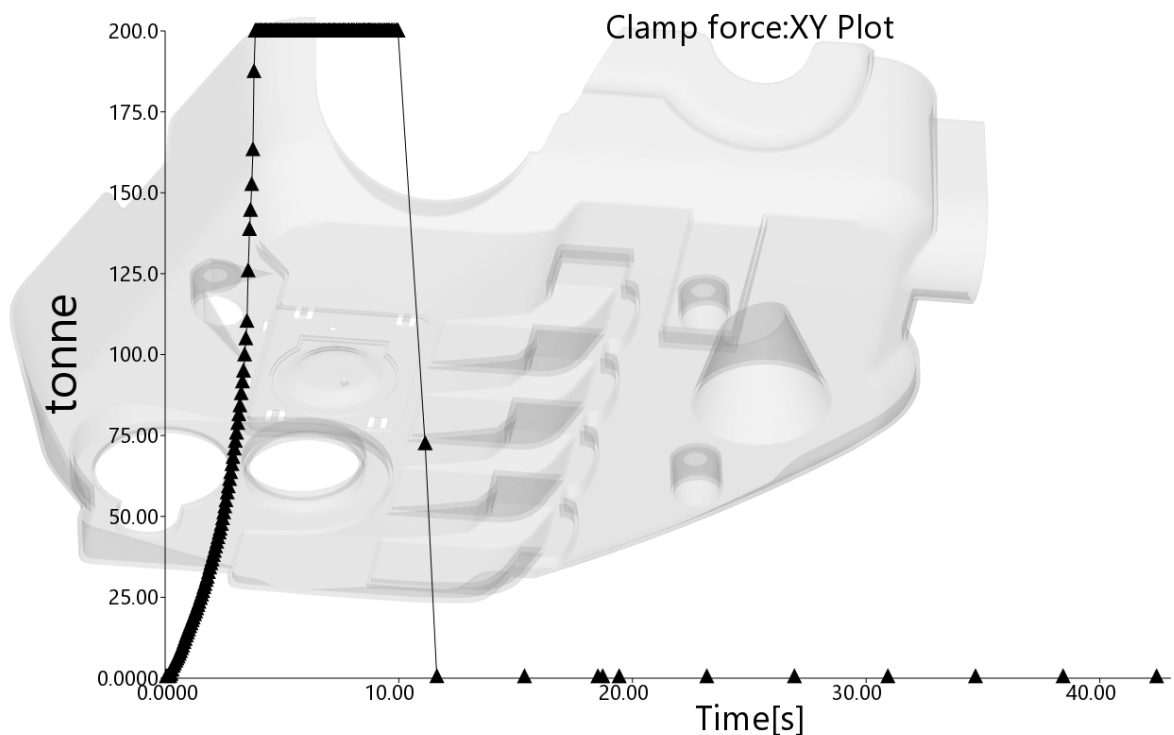
*Obr. 34 Vzduchové kapsy*



*Obr. 35 Vzduchové kapsy – detail*

### 8.5 Uzavírací síla (clamp force)

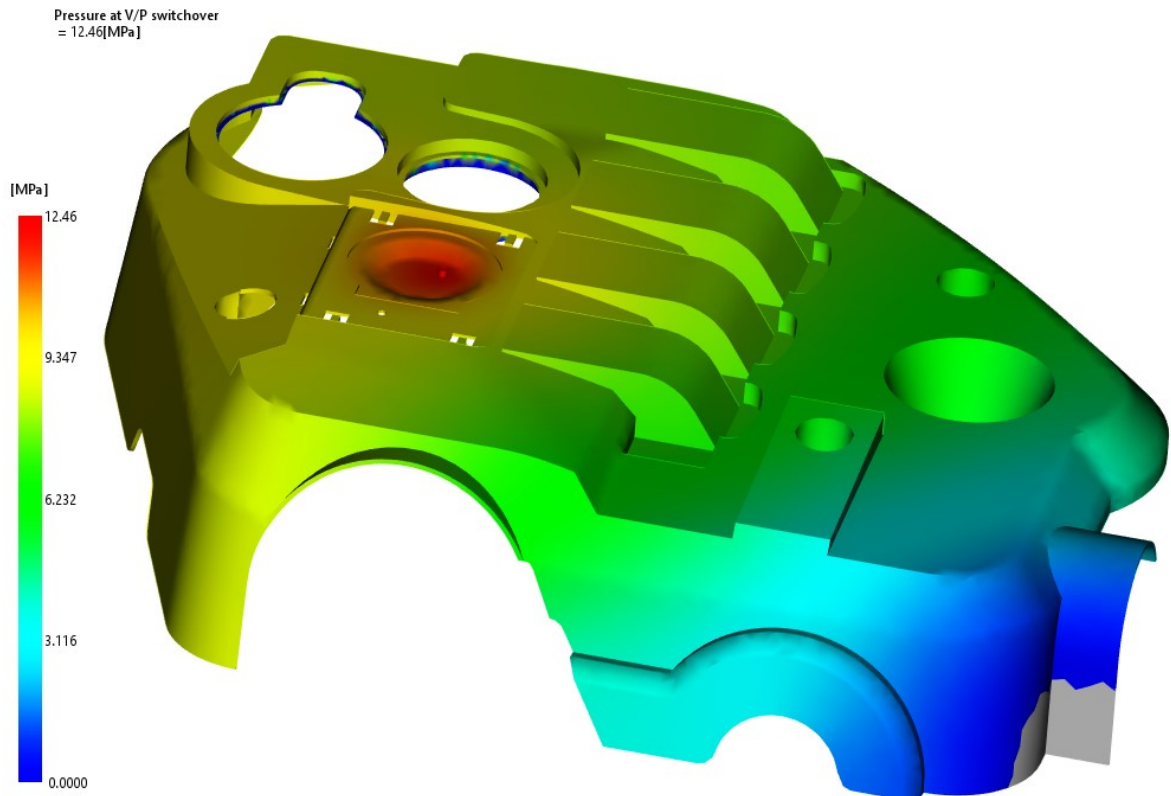
Uzavírací sílu je velmi důležité zohlednit hlavně při volbě vstřikovacího stroje. Zvolený stroj má uzavírací sílu 220 tun (2 200 kN) a z grafu níže vyplývá, že hodnota uzavírací síly je 200 tun (2 000 kN), čímž nedosahuje maximální hodnoty stroje. Zvolený vstřikovací stroj tedy splňuje podmínku.



Obr. 36 Uzavírací síla

### 8.6 Tlak při přepnutí na dotlak (pressure at V/P switchover)

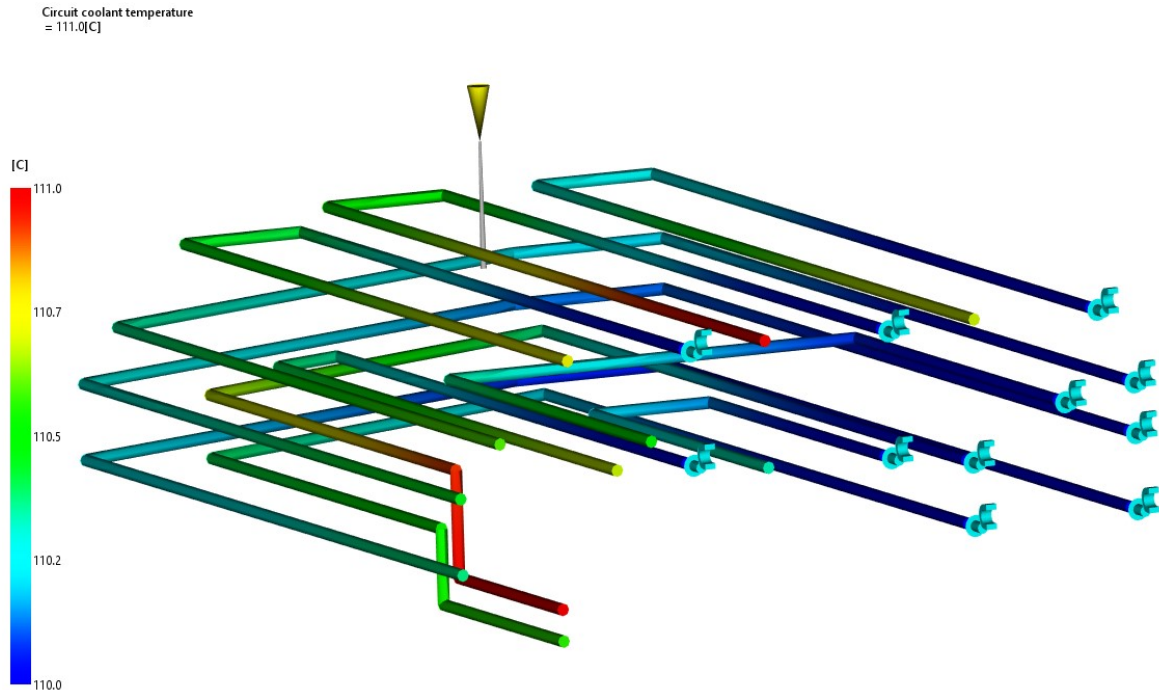
Po zaplnění dutiny formy na cca 99 % jejího objemu se automaticky přepíná na dotlak. Tato hodnota pro přepnutí na dotlak je 12,46 MPa. Na obrázku níže lze vidět, že bez dotlaku, by tavenina nezatekla do všech částí dutiny formy a vznikl by tak nedostříknutý výrobek.



*Obr. 37 Přepnutí na dotlak*

## 8.7 Teplota média v temperačním obvodu (Circuit coolant temperature)

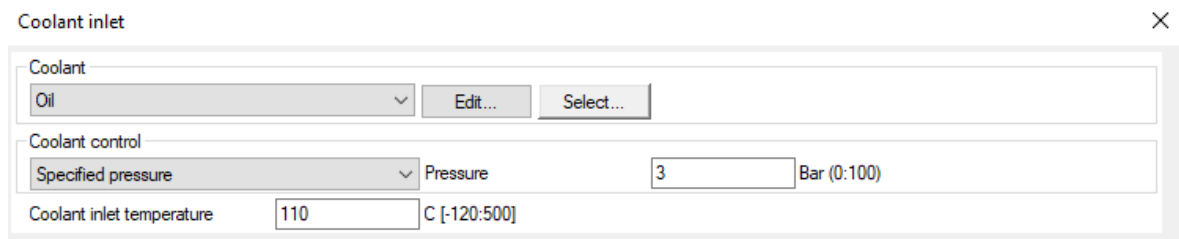
Teplota v temperačním okruhu by neměla přesáhnout teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem v jednom okruhu hodnotu 3 °C. Pokud by tomu tak nebylo, musela by následovat změna trajektorie jednotlivých kanálů temperačního systému nebo změna temperačního média či jeho vlastností. V tomto okruhu jde vidět, že teplotní spád teplot na vstupu a výstupu nepřesáhl hodnotu, protože rozdíl je jen 1 °C.



Obr. 38 Teplota média v temperačním okruhu

### 8.7.1 Temperační médium

Jako temperační médium byl v tomto návrhu zvolen olej, který měl na vstupu teplotu 110 °C a tlak 3 bar. Olej byl volen proto, že bylo potřeba dosáhnout v kanálech teploty větší, než je bod varu a proto nebylo možné použít vodu.

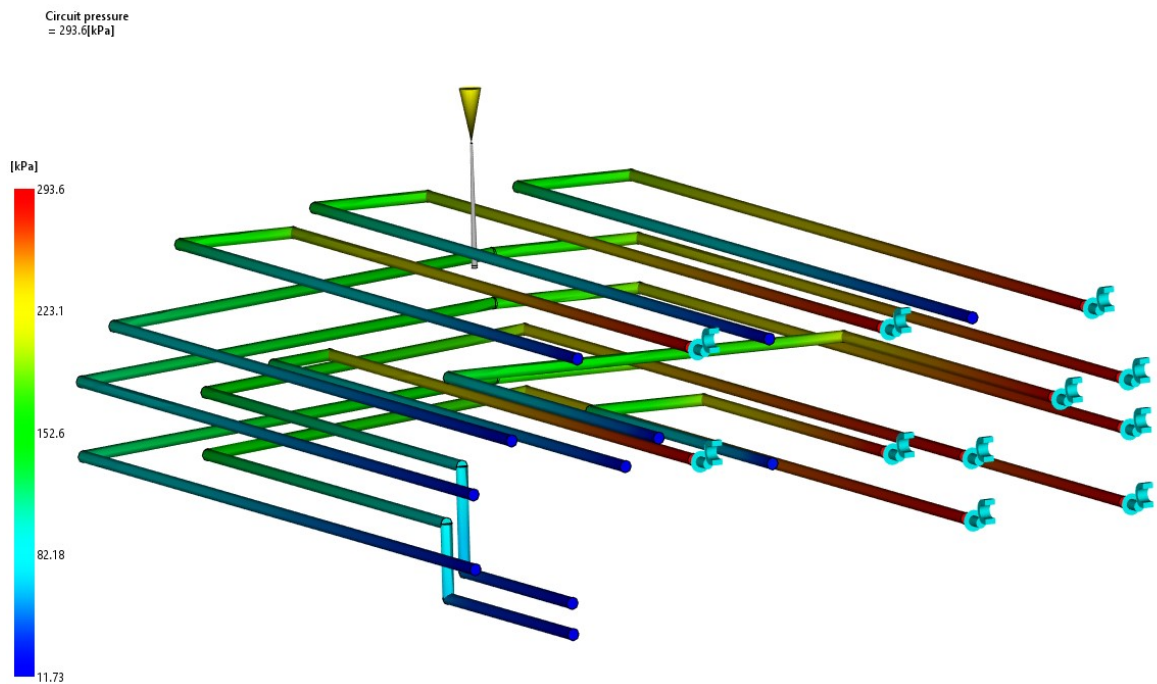


Obr. 39 Temperační médium

## 8.8 Tlak v temperačním obvodu (Circuit pressure)

Temperační médium ztrácí při průtoku v okruhu tlak. Čím delší je temperační okruh, tím je větší tlaková ztráta média. Nejvyšších hodnot tlaku dosahuje médium hned na vstupu do temperačního okruhu. Musí zde být dodržena podmínka, aby se tlak, v žádném místě temperačního okruhu nerovnal nule. Pokud by se tak stalo a v některém místě

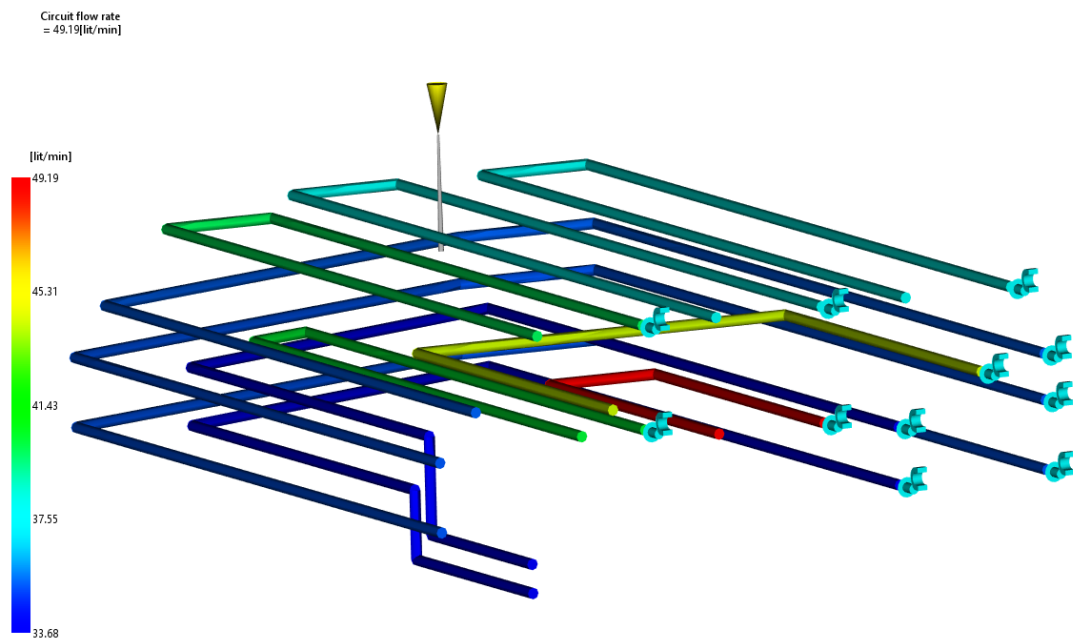
by se objevila nulová hodnota, tak temperační médium přestane proudit v tzv. mrtvých místech a temperace bude neúčinná.



Obr. 40 Tlak média v temperačním okruhu

## 8.9 Objemový průtok (Circuit flow rate)

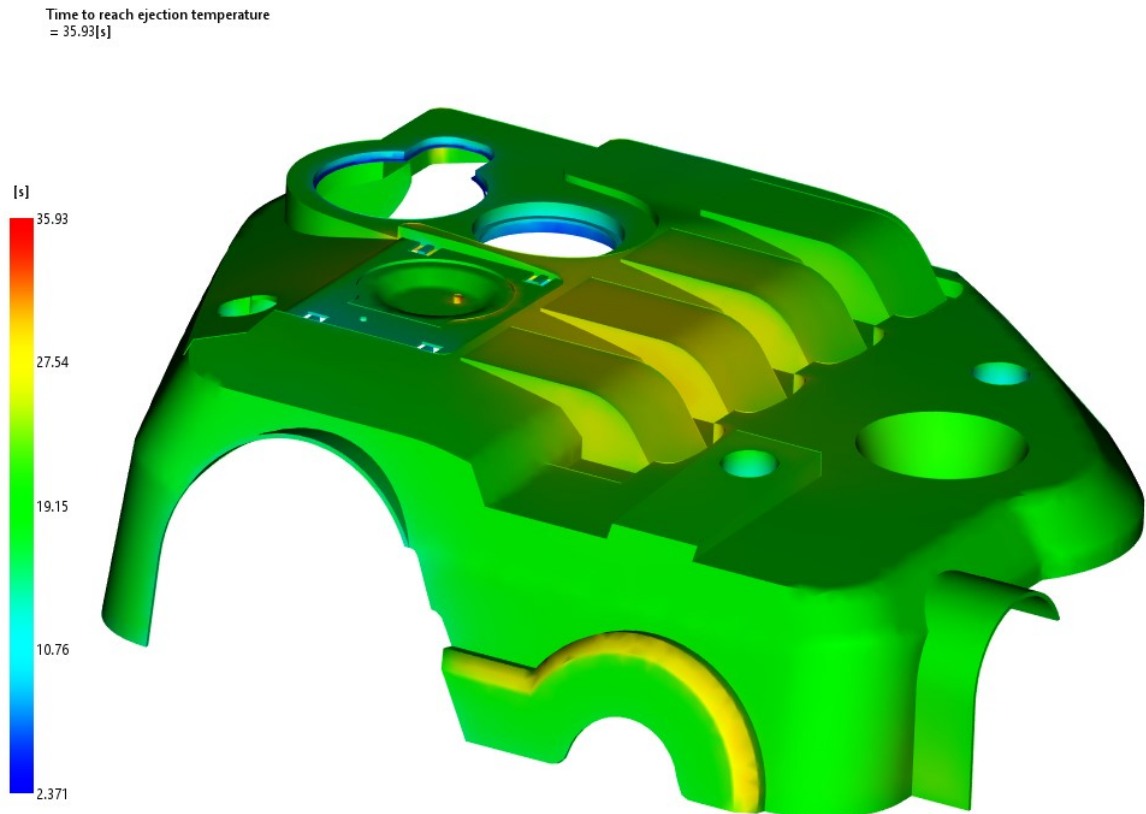
Celkový maximální objemový průtok navrženými temperačními kanály je 49,19 l/min.



Obr. 41 Objemový průtok

### 8.10 Čas potřebný na ochlazení dílu na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature, part)

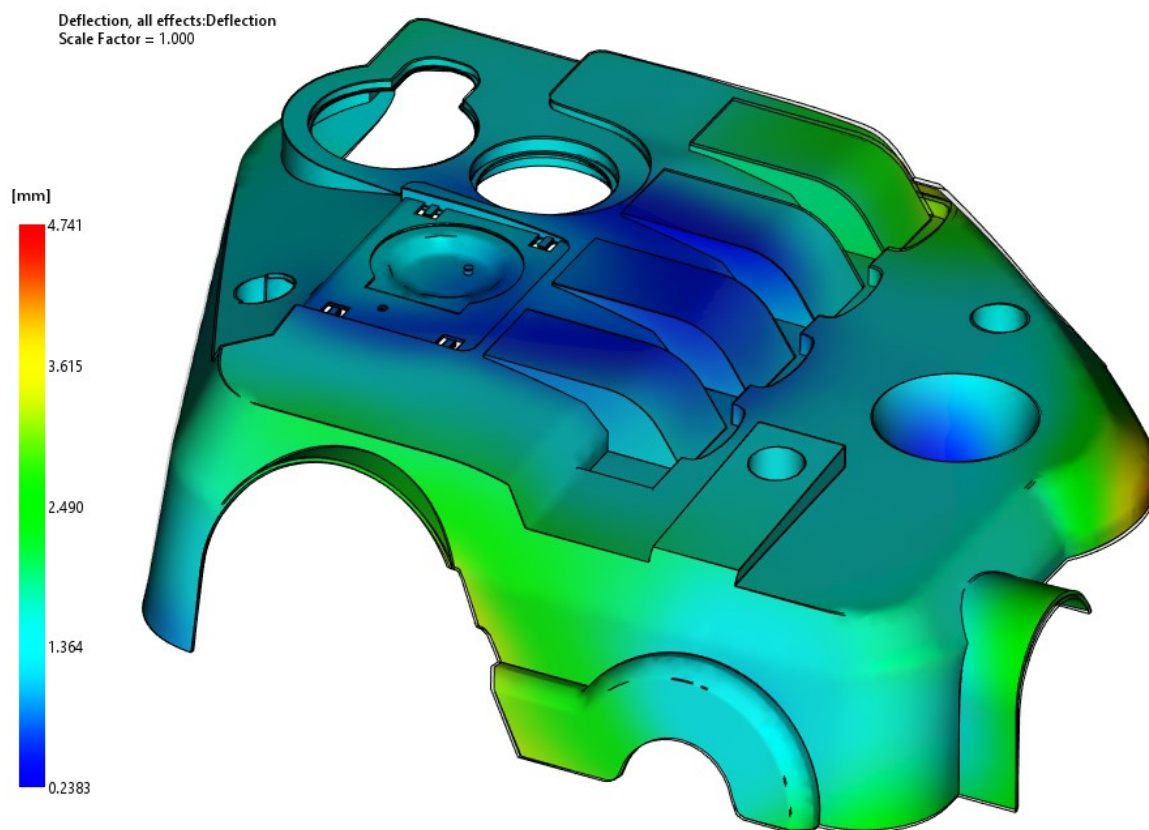
Aby mohl být výrobek vyhozen z formy bez poškození, je nutné počkat, než zchladne na vyhazovací teplotu, která se odvíjí od druhu materiálu. Nejdelší doba ochlazení je 35,93 s. V průměru lze výrobek vyhodit přibližně po 25 s.



Obr. 42 Čas potřebný k ochlazení na vyhazovací teplotu

### 8.11 Celková deformace (Deflection all effects)

Nejvyšší hodnota deformace činí 4,741 mm. Největší vliv na tuto hodnotu má smrštění materiálu. Dále pak velikost této hodnoty může ovlivnit např. špatně zvolená geometrie temperačních okruhů nebo chybně nastavené procesní podmínky (teplota formy, fáze dotlaku)



*Obr. 43 Celková deformace*

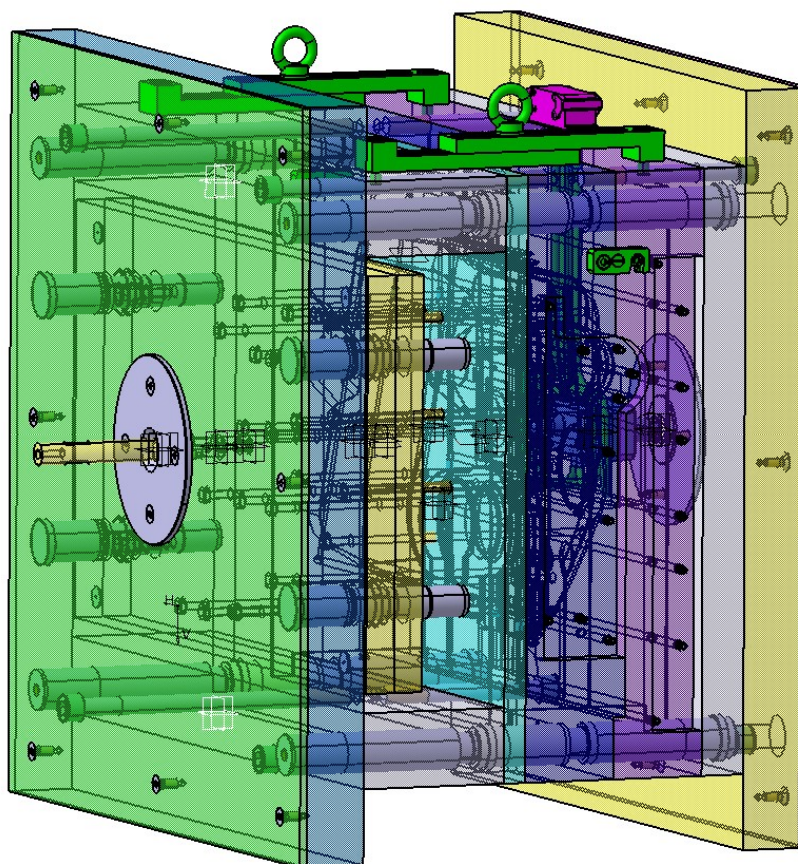


## 9 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Tato část druhé poloviny praktické části se zaměřuje na konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl krytu motoru automobilu. Vzhledem k rozměrům výrobku byla navržena jednonásobná forma. Vtokový systém byl koncipován jako kombinovaný a skládá se ze studeného a také horkého vtokového systému. Při konstrukci bylo použito i temperace obou polovin vstřikovací formy. Dále byly do formy vkládány komponenty a normálie z katalogu firmy Hasco.

Vstřikovací forma je tvořena levou pohyblivou stranou, pravou nepohyblivou stranou a vyhazovacím systémem, který má za úkol bezpečné odformování výrobku bez poškození. Celá forma a její strany jsou na sebe centrovány vodícími čepy a pouzdry. Každá strana je spojena šrouby. Forma je opatřena dvěma transportními můstky pro snadnou manipulaci. K zamezení otevření formy během transportu slouží dva bezpečnostní zámky na bocích formy.

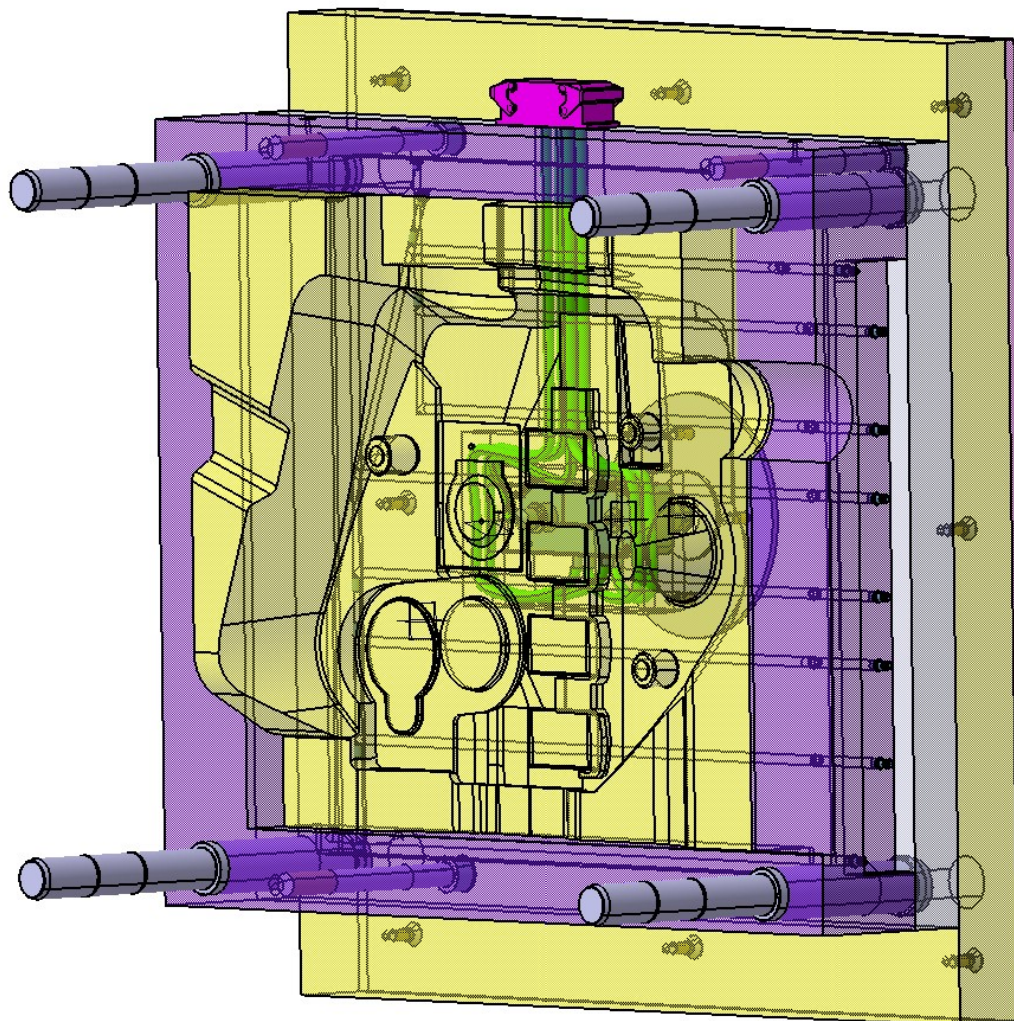
Forma má rozměry 1 000 x 1 000 x 721 mm (výška x šířka x délka).



Obr. 44 Vstřikovací forma

## 9.1 Pravá strana formy

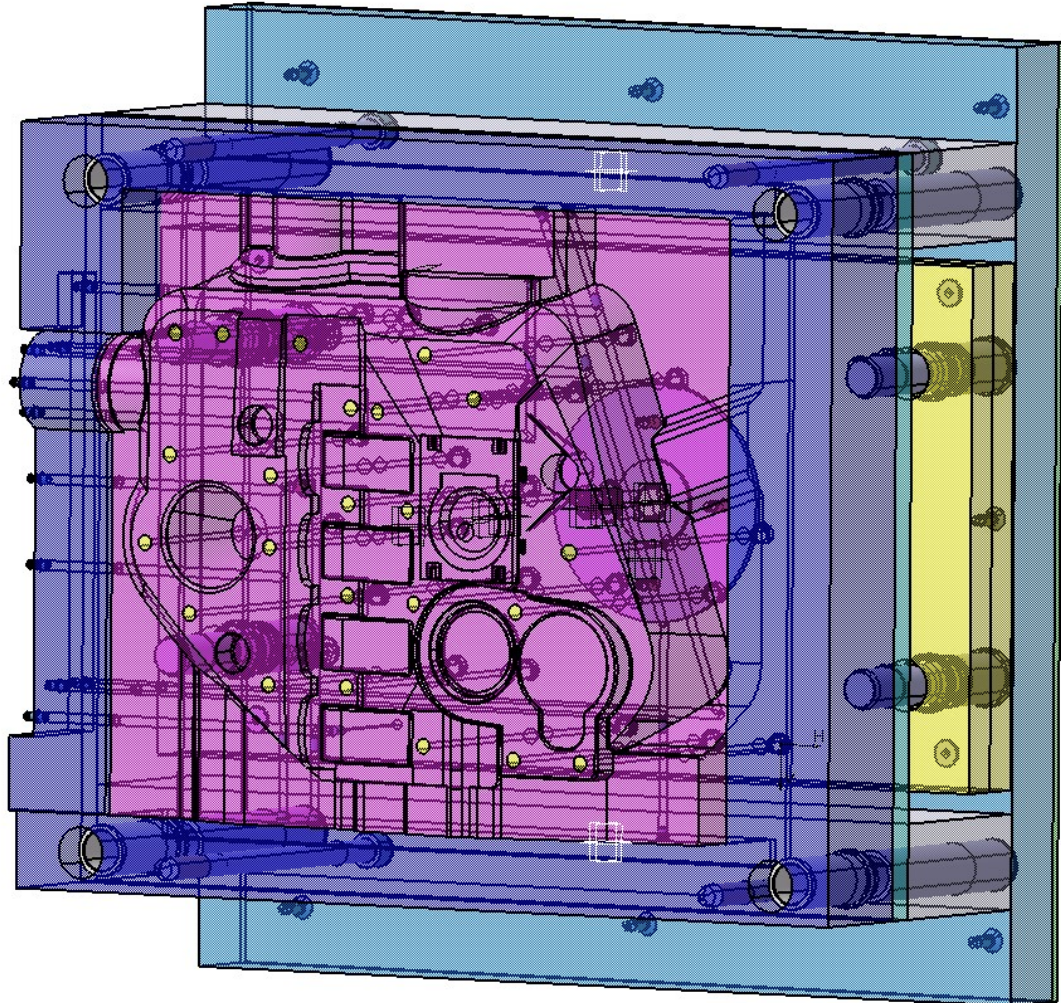
Pevná strana formy obsahuje čtyři desky a to (zleva) kotevní deska, do které je vložena tvárnice, opěrná deska s vyhřívaným horkým blokem a tryskou, upínací deska a deska izolační.



Obr. 45 Pravá strana formy

## 9.2 Levá strana formy

Pohyblivá strana formy se skládá z tvarové vložky, která je umístěna v kotevní desce, opěrné desky zamezující pohyb tvárníku v ose kolmé na dělicí rovinu, dvou rozpěrných desek, jež vymezují prostor pro pohyb vyhazovacího systému, upínací desky, deky izolační a také kompletního vyhazovacího systému.



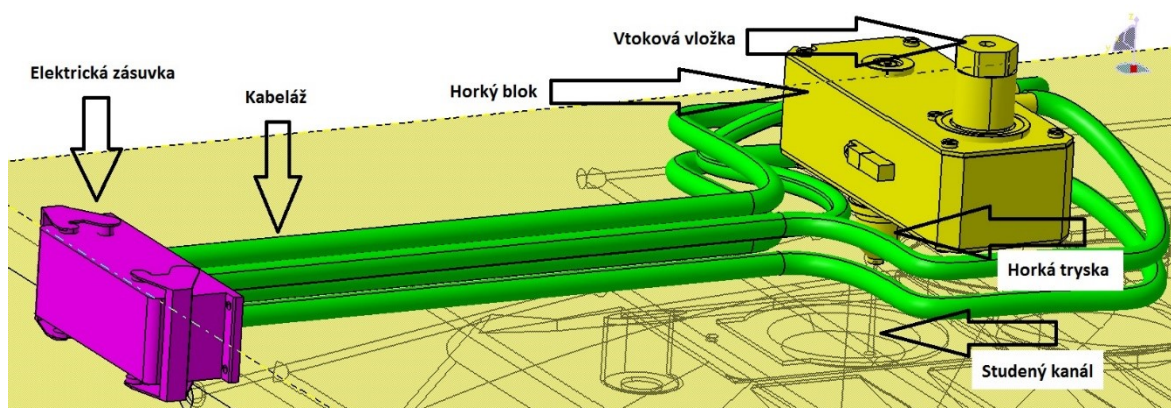
Obr. 46 Levá strana formy

### 9.3 Vtokový systém

Vstup taveniny do dutiny formy zajišťuje vtokový systém. U této formy byla zvolena kombinace horkého a studeného vtokového systému. A to proto, že umístění vtoku na součásti není vycentrováno na střed součásti, a tím pádem by bylo u jednotlivých desek formy příliš mnoho nevyužitého materiálu a tím pádem bylo ekonomicky výhodnější použít právě toto řešení.

Roztavený materiál vstupuje přes vtokovou vložku do horkého rozvodného bloku, kde následně vstupuje do horké vtokové trysky, která ústí do studeného rozvodného kanálu. Studený kanál je koncipován tak, aby nemuselo být použity vytrhávač vtoku, a zbytek po studeném vtokovém systému zůstane na součásti. Následně je zbytek odstraněn dokončovacími pracemi ve výrobě, což zahrnuje mimo jiné i nacvaknutí loga automobilky, které zakryje právě celou oblast kolem vtokového zbytku.

Trajektorie studeného vtokového systému je tvořena kuželem o vstupním průměru 2,6 mm, délce 46 mm a výstupním průměru 6 mm.



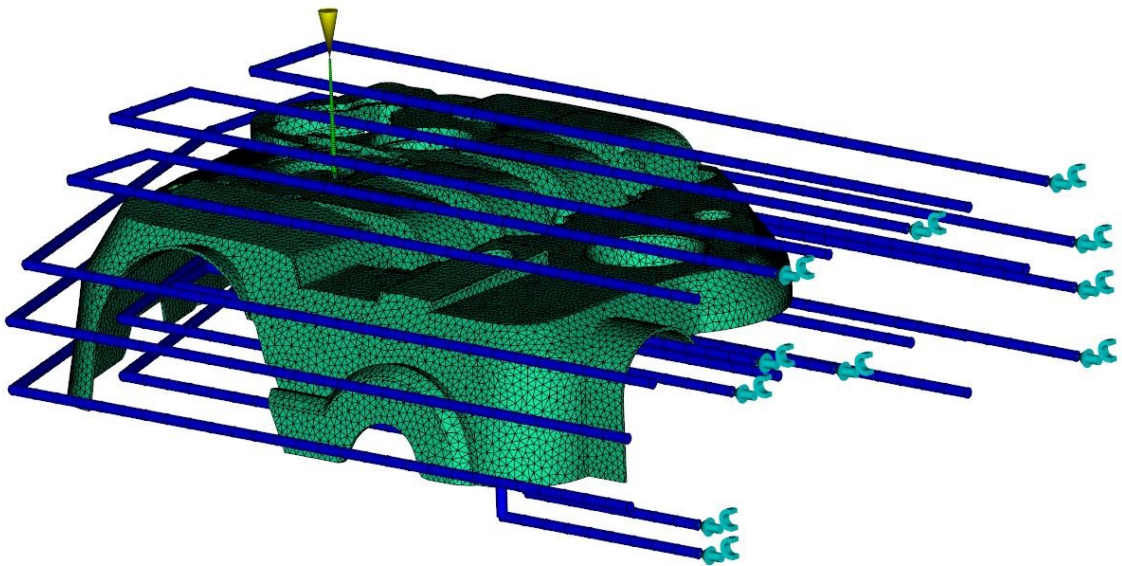
Obr. 47 Temperační systém tvárníku

## 9.4 Temperační systém

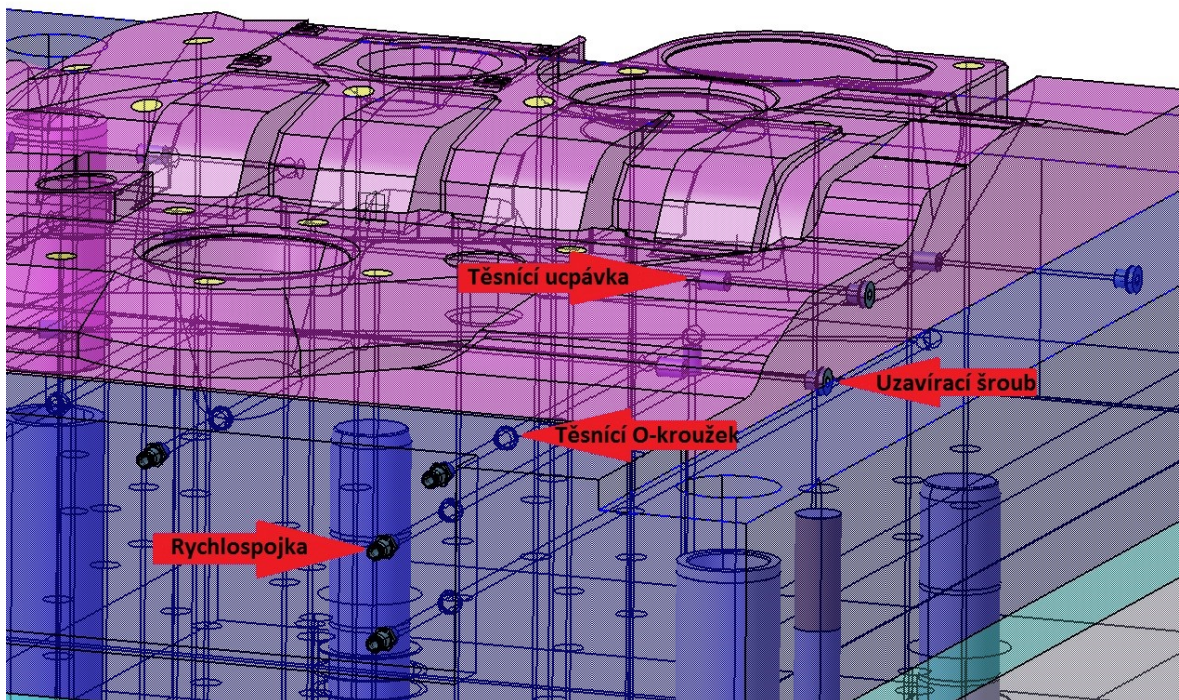
Temperační systém vstřikovací formy má za úkol vytvořit po celém povrchu dutiny formy stejnou teplotu.

Každá tvarová vložka disponuje svým vlastním temperačním systémem s několika temperačními okruhy. Tvárník má celkem 5 temperačních okruhů o průměru 10 mm a tvárnice disponuje čtyřmi kanály také o průměru 10 mm. V obou systémech je jako temperační médium použit olej, který je temperován na 110 °C.

Temperační médium je přiváděno z temperační jednotky, která se nachází mimo formu pomocí hadic. Tyto hadice jsou připevněny k formě pomocí rychlospojek. Kolem všech rychlospojek je na deskách vybrání, které zabraňuje jejich poškození, zejména při manipulaci a transportu. Při průchodu temperačního média z desky do tvarové vložky je potřeba použít těsnících elementů, aby nedošlo k úniku média pryč z formy a tím by došlo k neúplné temperaci dutiny formy. V tomto případě byly použity těsnící pryžové O-kroužky. Dále byly použity v temperačním systému těsnící ucpávky, jelikož jsou kanály vrtány a ucpávky zaručí co nejefektivnější průtok média okruhem.



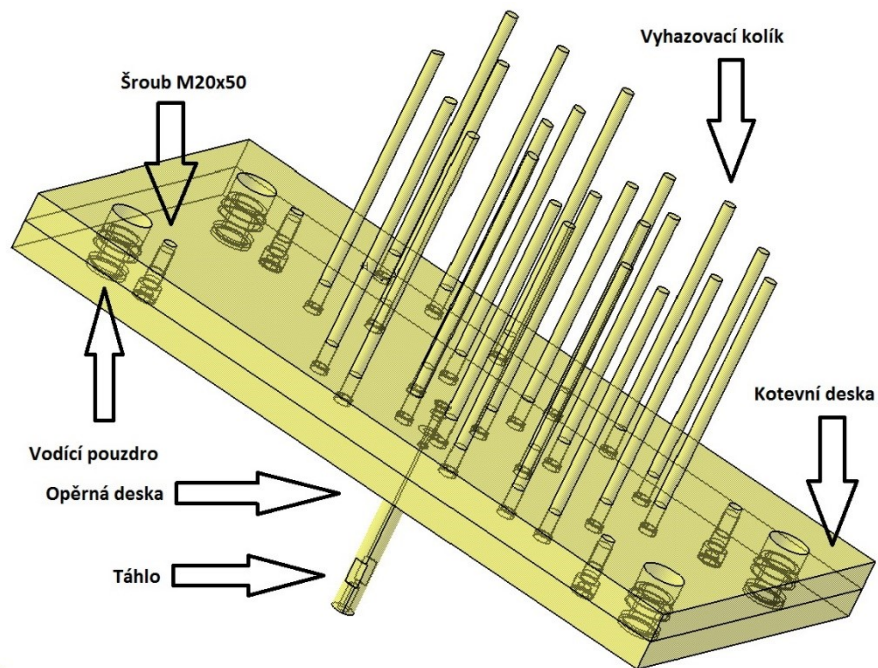
Obr. 48 Temperační systém s vyznačenými vstupy temperačního média a vtokem



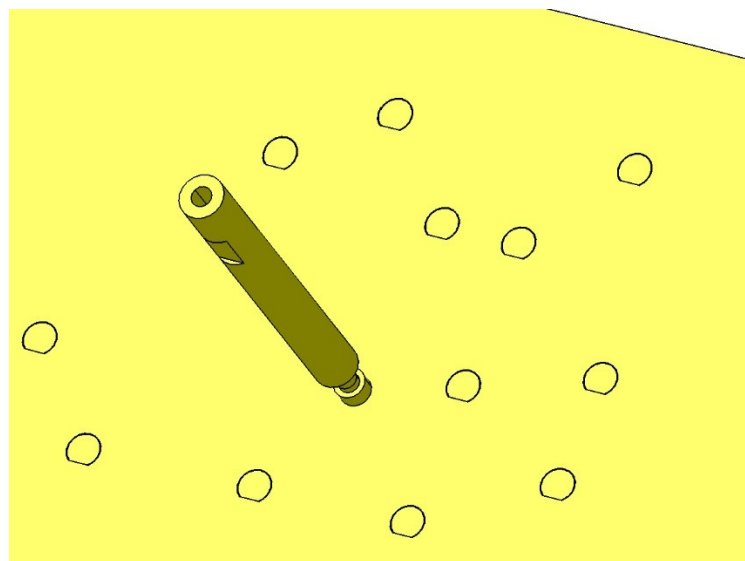
Obr. 49 Temperační systém tvárníku s normáliemi

## 9.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k odformování výrobku z dutiny formy po zchladnutí taveniny na vyhazovací teplotu. Je tvořen kotevní deskou, do které je umístěno 23 vyhazovacích kolíků o průměru 16 mm. Hlavy kolíků jsou upraveny proti pootočení. Dále tento systém obsahuje opěrnou desku, táhlo, pouzdra pro vodící čepy a 4 šrouby M20x50, které spojují kotevní a opěrnou desku systému.



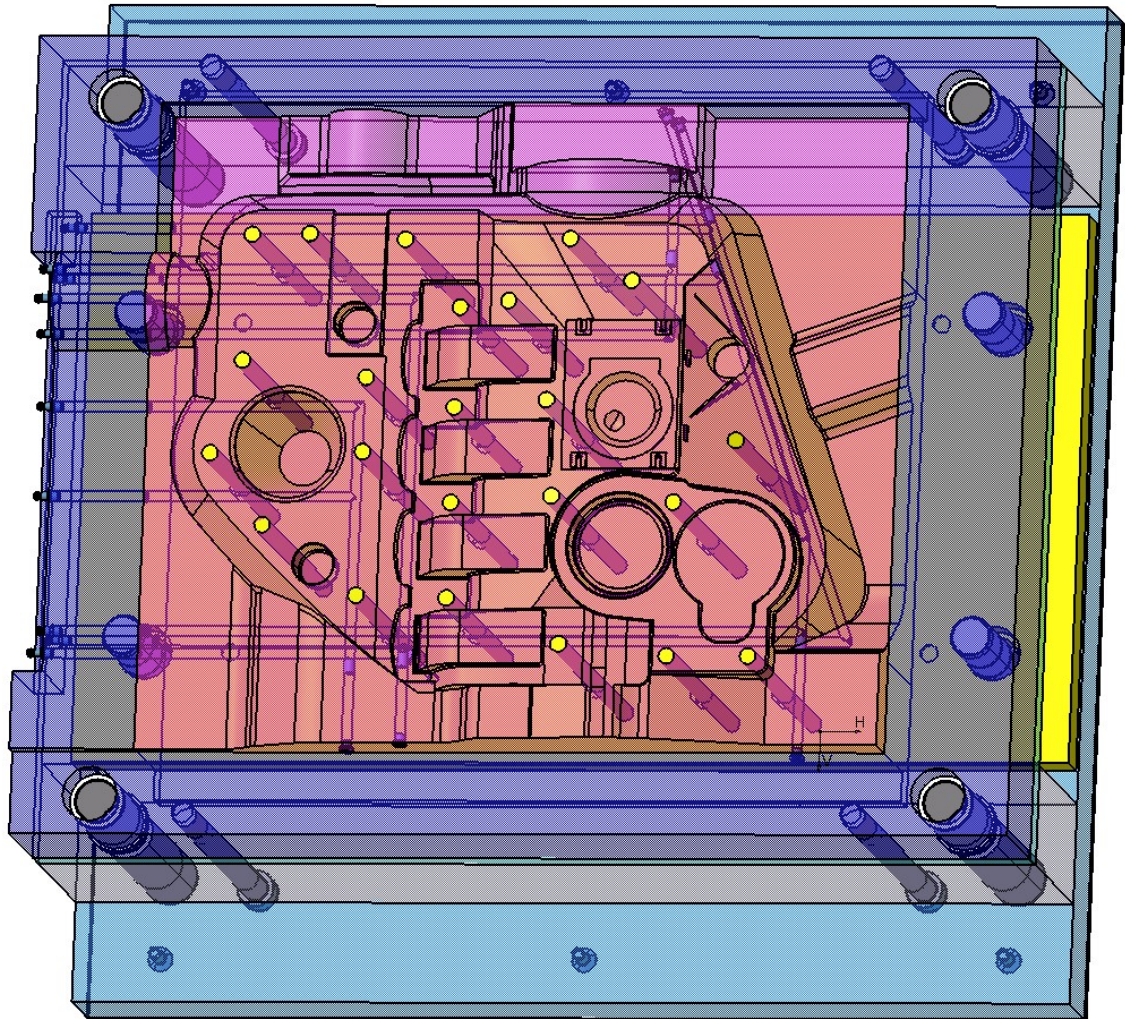
Obr. 50 Vyhozovací systém



Obr. 51 Aretace vyhozovačů

### Umístění vyhozovačů

Vyhozovací kolíky byly umístěny s ohledem na originální díl, na kterém byly z nepohledové strany stopy po vyhozovačích. Byly použity válcové vyhozovací kolíky o průměru 16 mm a základní délce 400 mm. Kolíky, které přesahovaly plochu tvárníku, byly seříznuty, aby kopírovaly tvárník a nebyl tak změněn tvar dutiny.



Obr. 52 Umístění vyhazovačů

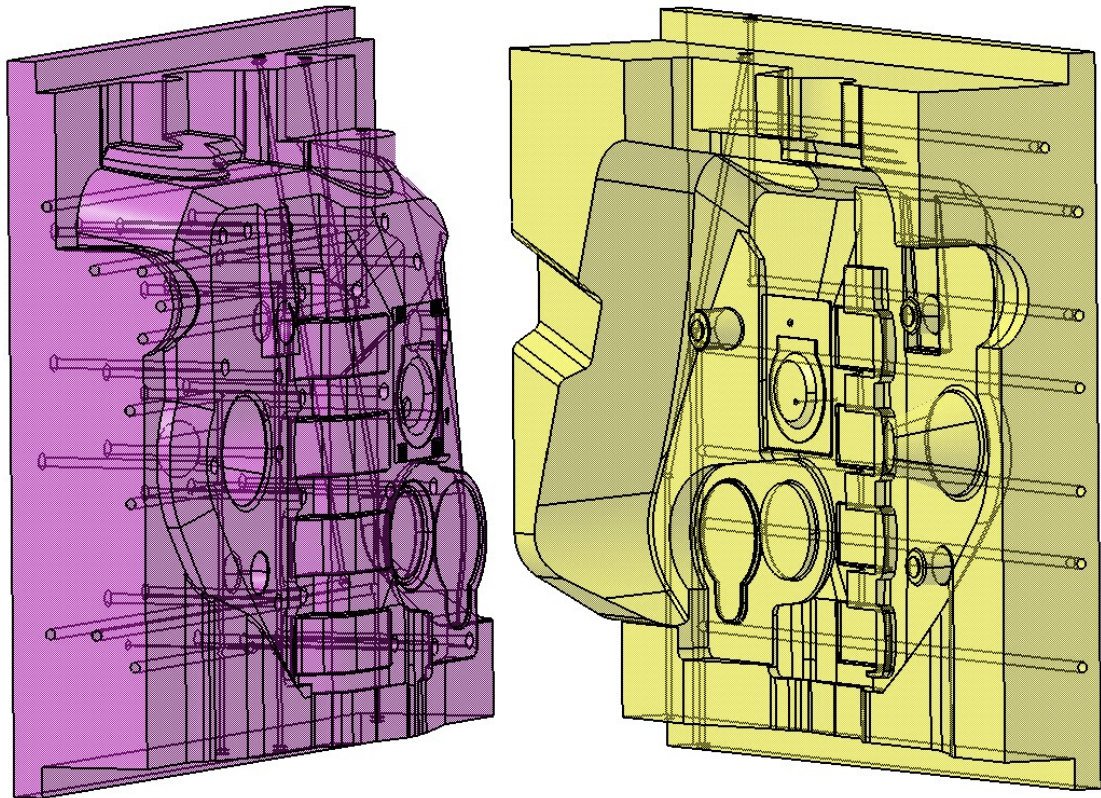
## 9.6 Tvarové vložky

Tvárník a tvárnice spolu tvoří dutinu formy a zaujímají tak negativ výsledného výrobku. Obě dvě tvarové vložky, jak tvárník tak i tvárnice, mají po stranách výstupky, aby mohly být zapuštěny do kotevních desek jednotlivých stran. Aby nevytáhly z těchto desek, je tvárník na levé straně podepřen deskou opěrnou a na straně pravé je tvárnice podepřena deskou, která přidržuje zároveň i vtokový systém.

Ve tvarových vložkách jsou vyvrtány temperační kanály o průměru 10mm a zabezpečují tak optimální temperaci dutiny formy.

Jako materiál tvárníku a tvárnice byla zvolena nástrojová ocel 19 552, která je kalena na hodnotu 55-60 HRC.





*Obr. 53 Tvárník a tvárnice*

## 9.7 Odvzdušnění formy

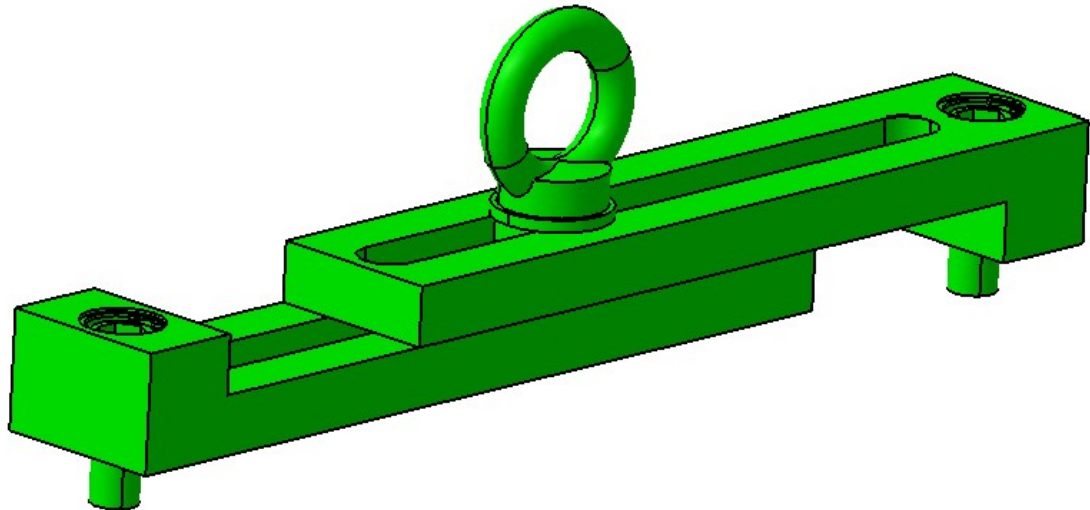
Vzduch, který nestihne uniknout z dutiny formy ještě před jejím samotným uzavřením, je nutné dostat pryč. Není-li forma dostatečně odvzdušněna, tak při plnění dutiny na taveninu působí tlak vzduchu, jenž může zpomalit rychlost roztaveného plastu uvnitř dutiny formy. Je zde i možnost proniknutí vzduchu do roztavené hmoty a vytvořit tak vzduchové bubliny, které mají za následek zhoršených mechanických vlastností a zhoršené jakosti povrchu.

Při plnění dutiny formy taveninou se vzduch, který neunikl z formy, přemísťuje na druhý konec formy než je vtok. Do míst, kde vzduch neunikne, se tavenina nedostane a vznikají tak nedostříknuté výrobky a zmetky.

V tomto návrhu se předpokládá, že zbylý vzduch, který zůstane v dutině, unikne přes dělicí rovinu anebo přes vůli mezi tvarovou vložkou a vyhazovači.

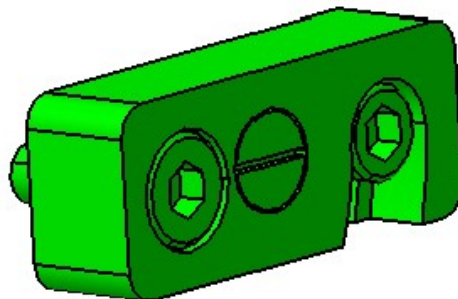
## 9.8 Transportní a jisticí systém

Vstřikovací forma je opatřena dvěma transportními můstky, které jsou k ní připevněny pomocí šroubů M16x40. Tento můstek spojuje pravou i levou stranu formy.



*Obr. 54 Transportní můstek*

Vstřikovací forma disponuje i dvěma zámky po stranách, které mají za úkol zamezit otevření formy během transportu a manipulaci.



*Obr. 55 Bezpečnostní zámek*

## 10 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Tato diplomová práce měla za cíl vypracovat konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu plastového krytu motoru automobilu. Tento návrh a samostatná konstrukce byla provedena v softwaru CATIA V5R19. Při kompletaci formy bylo užito normálií od firmy HASCO. Jednotlivé desky byly konstruovány svépomocí.

Nejprve bylo potřeba vymodelovat výrobek ve 3D. Rozměry byly měřeny posuvným měřítkem na skutečném dílu, tudíž je model v měřítku 1:1. Dále byl model upraven pro tokovou analýzu, kdy byl zbaven malých rádiusů a rozměrů. Potom byl původní model zvětšen o hodnotu smrštění materiálu, a z tohoto modelu byla vytvořena dutina formy.

Následně se v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 provedla analýza vhodnosti umístění vtokového ústí, která určovala další postup kompletního zaformování dílu do formy. Dle vyraženého textu na nepohledové straně krytu, byl volen stejný materiál, jako měl originál. Materiálem pro CAE analýzu byl PA6 s obchodním názvem Ultramid BG50GM24.

Kvůli rozměrům zadaného dílu, je vstřikovací forma koncipována jako jednonásobná. Byla zde použita kombinace VVS a SVS, z důvodu zachování vtokového ústí na původní pozici. Rozměry samostatné vstřikovací formy byly několikrát měněny a to právě z důvodu vtokového ústí, které se nachází mimo osu celé formy, a tak musel být použitý horký blok s vyhřívanou tryskou, aby byl zachován původní záměr a to sice, studený kuželový vtok.

V levé a pravé části formy jsou jednotlivé temperační okruhy, ve kterých koluje olej jako temperační médium. Levá polovina má 5 temperačních okruhů a pravá strana jich má 4. Médium je temperováno na 110 °C. Kanály jsou vrtány a mají průměr 10 mm. Trajektorie temperačního média je dána ucpávkami, které jsou nedílnou součástí temperačního systému.

Výrobek je vyhozen z formy pomocí hydraulického systému vyhazování. Vyhození krytu motoru automobilu má na starosti celkem 23 vyhazovacích kolíků o průměru 16 mm. Volba tohoto rozměru se odvíjela od stop po vyhazovačích na originálním díle.

Dále byly v programu CATIA V5R19 vytvořeny trajektorie vtoku a temperačních systémů, které byly následně uloženy ve formátu \*.igs a naimportovány do softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016. Po té byla spuštěna defaultní analýza ke zjištění orientačních informací.

Dle výsledků defaultní analýzy byly přenastaveny procesní podmínky, např: teplota taveniny, teplota povrchu formy, teplota temperačního média, fáze dotlaku, rozměry vtokového a temperačního systému, vstřikovací stroj, apod.

Vyhovující analýza byla provedena až na sedmý pokus. Důvodem jsou velké rozměry výrobku a horší tokové vlastnosti zvoleného materiálu, který je plněn skelnými vlákny. Optimálního řešení bylo docíleno změnou hned několika parametrů. Nejvíce obtížně bylo najít kompromis mezi jednotlivými teplotami formy, taveniny, vyhazovací teploty a teploty temperačního média. Dále bylo nutné přenastavit fáze dotlaku a celkový čas procesu vstřikování i s ohledem na vstřikovací stroj. Velký problém byl právě nalezením optimálního vstřikovacího stroje, který by splňoval dostatečnou uzavírací sílu a objem vstřikovací jednotky. Jako nejlepší varianta se ukázal vstřikovací stroj Allrounder 1500T | 220 TONS od firmy Arburg. I když je tento stroj vertikální, nemusela mu být speciálně uzpůsobena forma, jelikož u tohoto stroje se dá nastavit vstřikovací jednotka jak do vertikální, tak i do horizontální polohy.

## ZÁVĚR

Výstupem této diplomové práce je návrh vstřikovací formy pro výrobu krytu motoru automobilu. Tento kryt v praxi slouží k odhlučnění motoru a také jako ochrana před nečistoty.

První polovina diplomové práce se zabývá komplexní teorií vstřikování, pojednává o rozdělení materiálu pro vstřikování a celkově popisuje důležité konstrukční zásady pro návrh vstřikovací formy.

Druhá polovina se zabývá konkrétním konstrukčním návrhem vstřikovací formy a také CAE simulací pro zjištění správnosti konstrukce.

Jako první byl vymodelován zadaný díl, který byl proveden ve 3 variantách. V zápětí byl vybrán materiál s výbornými mechanickými vlastnostmi, které jsou nezbytné pro funkčnost dílu v běžném provozu. Vzhledem k rozměru dílu, byla navržena forma jednonásobná. Byla zde použita kombinace vyhřívaného vtokového systému a studeného vtokového systému. Celkové zaformování součásti nebylo vůbec jednoduché, jelikož výrobek je většina stěn krytu provedena v zakřivených plochách. Dále bylo časově náročné vymyslet efektivní temperační systém s přihlédnutím na průměr kanálů a velikost tvarových vložek. Navržené temperační okruhy byly podrobeny výpočtům v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016, kde bylo zjištěno, že pro tento díl vyhovují.

Praktická část si kladla za cíl i ověřit správnost navržené formy. Toto ověření bylo provedeno již ve výše zmíněném softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016. Po defaultní analýze, která napověděla jaký vstřikovací stroj použít, muselo být nastaveno ještě dalších 6 analýz s odlišnými procesními podmínkami. Finální analýza s nastavenými podmínkami vyhovuje ve všech ohledech.

Na závěr bylo potřeba vyhotovit výkres sestavení vstřikovací formy pro kryt motoru automobilu společně s kusovníkem použitých komponent.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Toranne and Stefanies Plastics. (2013). Classification of Plastics and History [Online] [cit.14.1.2019]. Dostupné: <http://dwb4.unl.edu/Chem/CHEM869E/CHEM869ELinks/qlink.queensu.ca/~6jrt/chem210/Page3.html#Chemical Nature>.
- [2] Michigan State University. (2008). Plastics Characteristics. [Online] [cit.14.1.2019]. Dostupné: [http://www.msue.msu.edu/objects/content\\_revision/download.cfm/revision\\_id.493530/workspace\\_id.-4/01500090.html/](http://www.msue.msu.edu/objects/content_revision/download.cfm/revision_id.493530/workspace_id.-4/01500090.html/)
- [3] Rolf Klein. (2011). Material peroperties of plastics (1st ed). [Online] [cit.10.1.2019]. Dostupné: [http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527409726\\_c01.pdf](http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527409726_c01.pdf).
- [4] Enginger. (2014). Plastics Classification. [Online] [cit.12.1.2019]. Dostupné: <http://www.ensinger-online.com/en/materials/basics-of-plastics/plastics-classification/>
- [5] R J. Crawford, Plastics engineering, 3rd ed . Jordan Hill, Oxford :butter worth heinemann,1998
- [6] PHS, Plastics Historical Society. (2011). What are Plastics. [Online] [cit.14.12.2018]. Dostupné : <http://www.plastiquarian.com/index.php?id=2&pcon>.
- [7] Modern Plastics. (2014). Properties of Plastics. [PDF] [cit.14.1.2019]. Dostupné: <http://www.modia.cz/sites/default/files/konformni-chlazen-2.jpg>.
- [8] Modern Plastics. (2014). Properties of Plastics. [PDF] [cit.10.1.2019]. Dostupné: [http://www.modernplastics.com/pdf/IAPD\\_plastics\\_intro5.pdf](http://www.modernplastics.com/pdf/IAPD_plastics_intro5.pdf).
- [9] Axel. (2004). Thermal Peroperties. [Online] [cit.24.1.2019]. Dostupné: <http://www.axelproducts.com/pages/thermal.html> [Accessed 19January 2014]
- [10] BOBČÍK a kolektiv, Formy pro zpracování plastů I.Díl – vstřikování termoplastů, Uniplast Brno, 2.opravené vydání. 1999
- [11] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. 1. vydání – Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [12] Ducháček. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2011. ISBN 978-80-7080-788-0 (3.vydání)

- [13] Azom.com Limited. (2000). Plastic Injection Moulding. [Online] [cit.2.12.2018]. Dostupné: [http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=265#\\_The\\_Mould](http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=265#_The_Mould)
- [14] Jim Ammon. (2008). Injection Moulding :Mould Construction and Part Design. [PDF] [cit.2.12.2018]. Dostupné: <http://idsa.sjsu.edu/Archive%20documents/injection%20molding%20lecture%2009-04-08.pdf>.
- [15] Herbert, Understanding Injection Mold Design, 1st ed. Cincinnati, USA>Hanser Gardner Publications, 2001
- [16] Menges, Michaeli and Mohren, How to make Injection Molds, 3rd ed. Cincinnati, USA: Hanser Gardner publications,2001
- [17] Global Plastic injection Moulding. (2013). Hot Runner Systems. [Online] [cit.17.12.2018]. Dostupné: <http://www.global-plastic-injection-molding.com/how-to-pick-a-hot-runner-system.html>
- [18] Husky Injection Moulding System Ltd. (2014). Ultra Hot Runner Nozzles. [Online] [cit.2.2.2019]. Dostupné: <http://www.husky.co/newdynamic.aspx?id=297>
- [19] DSM Engineering Plastics. (2005). Designing Guides: Cold and Hot Runner Systems. [PDF] [cit.22.1.2018] Dostupné: [http://www.dsm.com/en\\_US/downloads/dep/designbroch03USweb.pdf](http://www.dsm.com/en_US/downloads/dep/designbroch03USweb.pdf)
- [20] Bayer Material Science LLC. (2000). Part and Mould Design. [PDF] [cit.3.2.2019]. Dostupné: <http://edge.rit.edu/content/P12056/public/Part%20and%20Mold%20Design.pdf>
- [21] DSM Engineering Plastics. (2005). Designing Guides: Engineering Plastics. [PDF] [cit.3.2.2019] Dostupné: [http://www.dsm.com/en\\_US/downloads/dep/designbroch05USweb.pdf](http://www.dsm.com/en_US/downloads/dep/designbroch05USweb.pdf)
- [22] Quickparts. (2013). Basics of Injection Moulding Design: The Gate. [Online] [cit.13.2.2019]. Dostupné: <http://www.quickparts.com/learningcenter/basicsofinjectionmoldingdesign.aspx>.
- [23] InTech, University of Ulsan. (2012). Design and Simulation :Cooling Channels for Plastic Injection Mould. [Online] [cit.28.1.2019]. Dostupné: <http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/34669>
- [24] EquiStar, Lyondell Company. (2014). Mould Shrinkage. [PDF] [cit.28.1.2019]. Dostupné: <http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Tech%20Topics/General/Mold%20Shrinkage.pdf>.

- [25] Choice Mould Components Inc. (2013). Mould Alignment : Leader Pins and Bushing. [Online] [cit.28.1.2019]. Dostupné: <http://www.choicemold.com/leader-pins-bushings/shoulder-bushings.php>
- [26] Polytechnic Institute of Leiria. (2001).Mould Design, Ejection System : Ejector Pins and Sleeves. [PDF] [cit.21.2.2019]. Dostupné : [http://webhotel2.tut.fi/projects/caeds/tekstit/mould/mould\\_ejectors](http://webhotel2.tut.fi/projects/caeds/tekstit/mould/mould_ejectors).



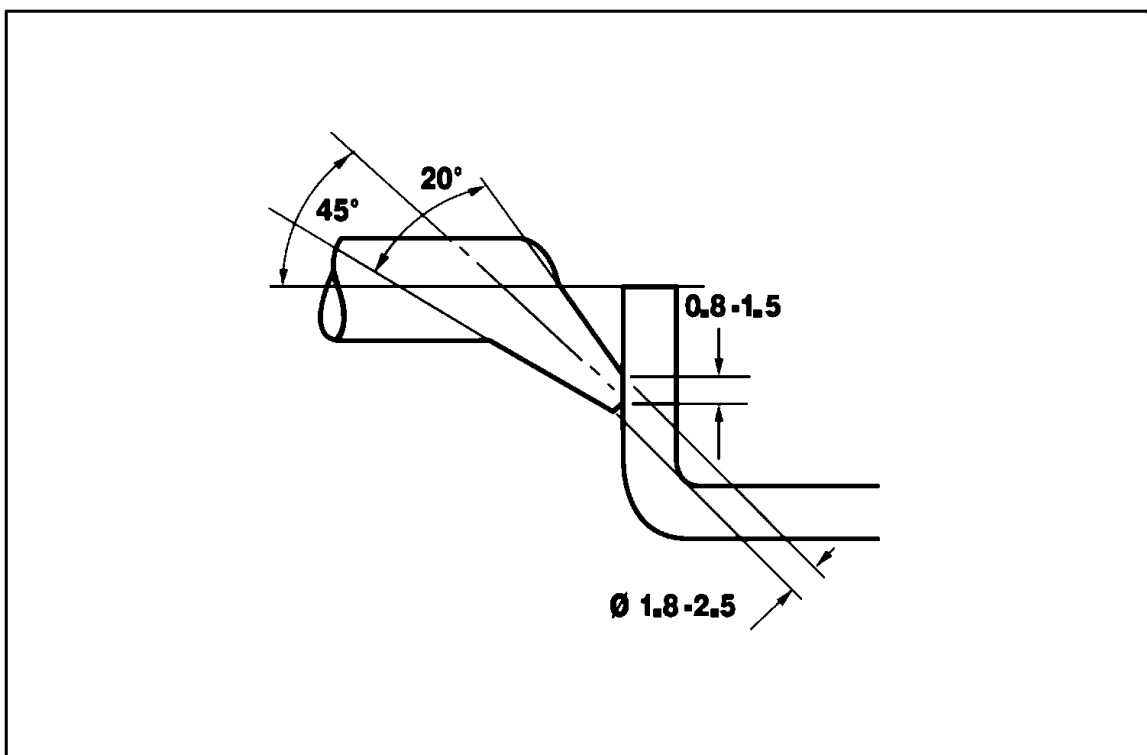
**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PA	Polyamid.
PE	Polyetylen
PVC	Polyvinylchlorid
ABS	Akrilonitrilbutadienstyren
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
Tf	Teplota vizkozniho toku
Tm	Teplota tání
Tg	Teplota skelného přechodu
R	Poloměr
s	Význam druhé zkratky.
mm	Význam třetí zkratky.
kN	Kilonewton
MPa	Megapascal
°	Stupeň
g	Gram
°C	Stupeň Celsia
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhříváný vtokový systém
2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor
CAD	Počítačem podporované navrhování
CAE	Počítačem podporované konstruování

% Procento

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Schématické sestavení kopolymerů .....</i>	14
<i>Obr. 2 Graf stresového napětí pro plasty .....</i>	21
<i>Obr. 3 Vliv teploty materiálu na chování napětí a deformace plastů.....</i>	21
<i>Obr. 4 Schéma tvárníku, tvárnice a dělicí roviny 1 – tvárník, 2 – tvárnice, 3 – statická deska formy a – řez tvárníkem, b – ústí vtoku, c – řez vtokovým systémem, d – rozvodný kanál, e - vtokový kanál, f – dělicí rovina.....</i>	24
<i>Obr. 5 Externě vyhřívaná horká vtoková soustava.....</i>	27
<i>Obr. 6 Okrajový vtok [21] .....</i>	34



<i>Obr. 7 Tunelový vtok [21] .....</i>	37
<i>Obr. 8 Konstrukční rozměry odzdušňovacího kanálu.....</i>	38
<i>Obr. 9 Pozice odzdušnění ve formě.....</i>	39
<i>Obr. 10 Temperace tvarových vložek [7] .....</i>	40
<i>Obr. 11 Rovnice času chlazení .....</i>	41
<i>Obr. 12 Typické uspořádání chladicího systému [23].....</i>	42
<i>Obr. 13 Návrh a dimenzování chladicího kanálu [21].....</i>	43
<i>Obr. 14 Sériové chladicí kanály [23] .....</i>	45
<i>Obr. 15 Paralelní chladicí kanály [23] .....</i>	45

<i>Obr. 16</i>	<i>Vodící kolík typu „shoulder“ a jeho sestava</i>	48
<i>Obr. 17</i>	<i>Kryt motoru automobilu</i>	52
<i>Obr. 18</i>	<i>Volba dělicí roviny</i>	53
<i>Obr. 19</i>	<i>Materiálový list</i>	54
<i>Obr. 20</i>	<i>Doporučené zpracovatelské parametry materiálu</i>	54
<i>Obr. 21</i>	<i>Aspect Ratio Diagnostic</i>	56
<i>Obr. 22</i>	<i>Mesh statistics</i>	57
<i>Obr. 23</i>	<i>Procesní podmínky 1</i>	57
<i>Obr. 24</i>	<i>Procesní podmínky 2</i>	58
<i>Obr. 25</i>	<i>Procesní podmínky 3</i>	58
<i>Obr. 26</i>	<i>Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 1500 T</i>	59
<i>Obr. 27</i>	<i>Rozměry vstřikovacího stroje</i>	60
<i>Obr. 28</i>	<i>Umístění vtoku</i>	61
<i>Obr. 29</i>	<i>Temperační systém tvárnice</i>	62
<i>Obr. 30</i>	<i>Temperační systém tvárníku</i>	62
<i>Obr. 31</i>	<i>Čas plnění</i>	63
<i>Obr. 32</i>	<i>Studené spoje</i>	64
<i>Obr. 33</i>	<i>Teplota na čele taveniny</i>	65
<i>Obr. 34</i>	<i>Vzduchové kapsy</i>	66
<i>Obr. 35</i>	<i>Vzduchové kapsy – detail</i>	66
<i>Obr. 36</i>	<i>Uzavírací síla</i>	67
<i>Obr. 37</i>	<i>Přepnutí na dotlak</i>	68
<i>Obr. 38</i>	<i>Teplota média v temperačním okruhu</i>	69
<i>Obr. 39</i>	<i>Temperační médium</i>	69
<i>Obr. 40</i>	<i>Tlak média v temperačním okruhu</i>	70
<i>Obr. 41</i>	<i>Objemový průtok</i>	70
<i>Obr. 42</i>	<i>Čas potřebný k ochlazení na vyhazovací teplotu</i>	71
<i>Obr. 43</i>	<i>Celková deformace</i>	72
<i>Obr. 44</i>	<i>Vstřikovací forma</i>	73
<i>Obr. 45</i>	<i>Pravá strana formy</i>	74
<i>Obr. 46</i>	<i>Levá strana formy</i>	75
<i>Obr. 47</i>	<i>Temperační systém tvárníku</i>	76
<i>Obr. 48</i>	<i>Temperační systém s vyznačenými vstupy temperačního média a vtokem</i>	77

---

<i>Obr. 49</i> Temperační systém tvárničky s normáliemi .....	78
<i>Obr. 50</i> Vyhazovací systém .....	79
<i>Obr. 51</i> Aretace vyhazovačů .....	79
<i>Obr. 52</i> Umístění vyhazovačů .....	80
<i>Obr. 53</i> Tvárnička a tvárnice .....	81
<i>Obr. 53</i> Transportní můstek .....	82
<i>Obr. 54</i> Bezpečnostní zámek .....	82

**SEZNAM TABULEK**

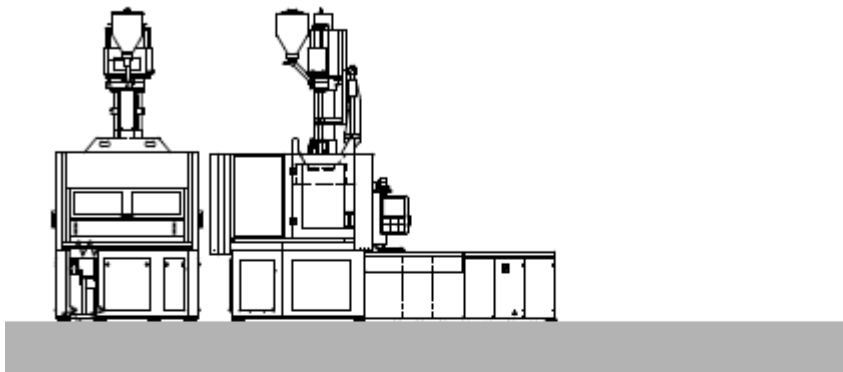
Tab. 1. Aditiva a jejich vliv na vlastnosti plastů [5] .....	16
Tab. 2 Amorfni a krystalické kategorie termoplastů [5].....	18
Tab. 3 Příklady amorfniích a krystalických termoplastů [5] .....	18
Tab. 4. Srovnávací hodnota smrštění formy .....	46
Tab. 5. Parametry stroje.....	60

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I    Technické parametry stroje
- P II    Výkresová dokumentace
- Sestava vstřikovací formy
  - Kusovník
- P III    DVD obsahující:
- Diplomovou práci
  - Model výrobku
  - Model vstřikovací formy
  - CAE analýza
  - Výkresová dokumentace
  - Kusovník

# PŘÍLOHA P I: TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE

Facts and figures



## ALLROUNDER 1500 T

Table diameter: 1500 mm

Clamping force: 1600, 2000, 2500, 3200 kN

Injection unit (according to EUROMAP):

170, 290, 400, 800, 1300, 2100

**ARBURG**

[www.arburg.com](http://www.arburg.com)



## Technical data

| 1500 T

Machine model		1500 T	1500 T	1500 T	1500 T
EUROMAP size indication <sup>1)</sup>		2500-800	2500-1300	3200-1300	3200-2100
<b>Clamping unit</b>					
Clamping force	max. kN	2500	2500	3200	3200
Closing force	max. kN	105	105	105	105
Opening force / increased	max. kN	115	115	115	115
Opening stroke	max. mm	300	300	300	300
Mould height	min. mm	400	400	400	400
Daylight	max. mm	700	700	700	700
Table diameter	mm	1500	1500	1500	1500
Swivel angle, left/right	degrees	180	180	180	180
Factor force	max. kN	25	25	25	25
Factor stroke	max. mm	175	175	175	175
<b>Hydraulics, drive, general</b>					
Drive power of the hydraulic pump	kW	45	45	45	55
Total connected load <sup>2)</sup>	kW	68	71	71	89
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canopy yellow					
<b>Control cabinet</b>					
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit <sup>3)</sup>		800	1300	1300	2100
Screw diameter	mm	45 / 50 / 55	55 / 60 / 70	55 / 60 / 70	60 / 70 / 80
Effective screw length	LD	22 / 20 / 18	22 / 20 / 17	22 / 20 / 17	23 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	200	235	235	280
Calculated injection volume	max. cm <sup>3</sup>	318 / 392 / 474	558 / 664 / 904	558 / 664 / 904	792 / 1078 / 1407
Shot weight	max. g PS	291 / 359 / 434	510 / 607 / 826	510 / 607 / 826	723 / 984 / 1286
Material throughput <sup>4)</sup>	max. kgh PS	46 / 53 / 59	86 / 96 / 115	86 / 96 / 115	125 / 145 / 175
	max. kgh PA 6.6	23 / 27 / 30	43 / 48 / 58	43 / 48 / 58	62 / 74 / 88
Injection pressure	max. bar	2470 / 2000 / 1050	2380 / 2000 / 1470	2380 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530
Injection flow	max. cm <sup>3</sup> /s	242 / 300 / 364	238 / 284 / 388	238 / 284 / 388	224 / 306 / 400
Injection flow with accumulator <sup>5)</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	530 / 636 / 792	712 / 848 / 1154	712 / 848 / 1154	1132 / 1540 / 2012
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 190	350 / 190	350 / 190	350 / 200
Circumferential screw speed	max. min/s	54 / 60 / 66	40 / 43 / 51	40 / 43 / 51	43 / 51 / 58
Screw torque	max. Nm	880	1510 / 1640 / 1920	1510 / 1640 / 1920	2140 / 2300 / 2550
Nozzle contact force	max. kN	70	90	90	110
Nozzle retraction stroke	max. mm	400	550	550	600
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	18,3 / 7	21,9 / 7	21,9 / 7	30,3 / 7
Installed nozzle heating power	kW	0,6	1	1	1,1
<b>Machine dimensions and weights of the basic machine</b>					
Oil capacity	l	300	300	300	400
Net weight	kg	13500	14000	14000	14500
Electrical connection (pre-fused) <sup>6)</sup> Motor + Heat	A	160	160	160	—
Electrical connection (pre-fused) <sup>6)</sup> Motor	A	100	100	100	125
Heat	A	35	35	35	50

1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm<sup>3</sup>/s max. injection pressure 80bar)

2) Values refer to 800/1300/2100. The load is symmetrically distributed on three phases (balance phase loading when installing new equipment).

3) One or two separate supply lines can be connected as an option (motor + controller/heating). Through options the connection value can be higher.

4) Certain combinations of additional machine equipment can make two separate supply lines absolutely necessary.

5) Deviations are possible depending upon process settings and material type.

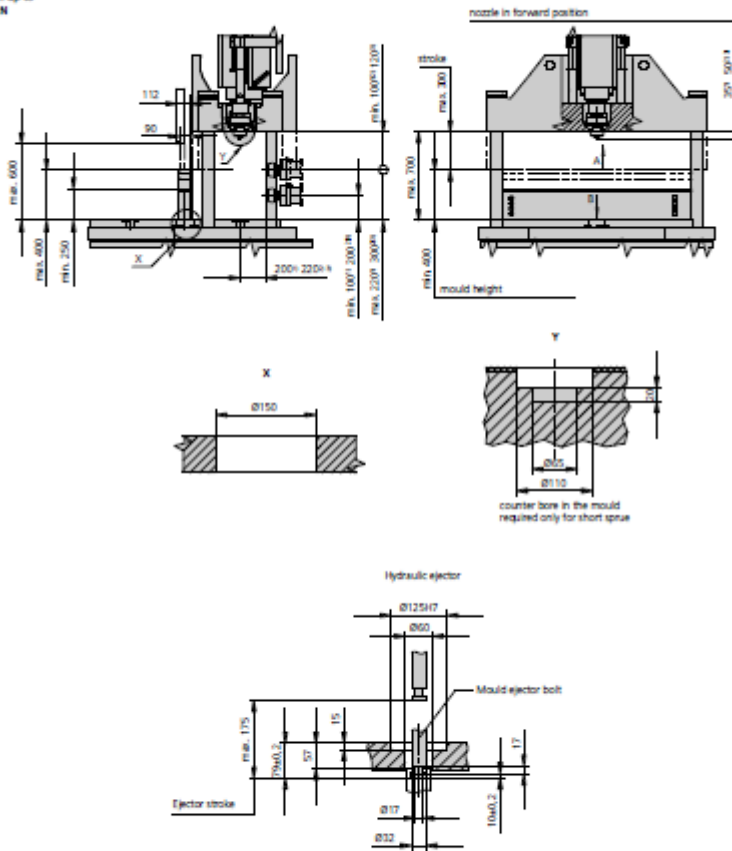
6) A combination of max. injection pressure and max. injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output.

7) Max. dosage volume (cm<sup>3</sup>/s) at max. injection pressure (80bar)

8) Deviations are possible depending upon process settings and material type.

The above specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.

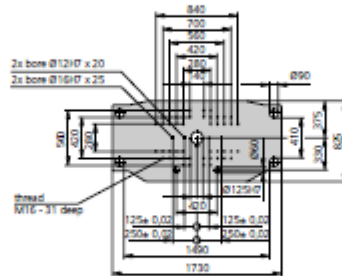
Version up to  
2000 kN



- 1) Injection unit 170/290
- 2) Injection unit 800
- 3) Injection unit 800

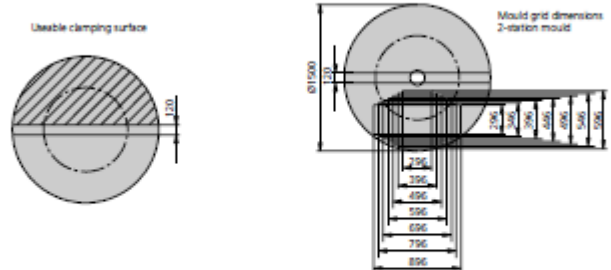
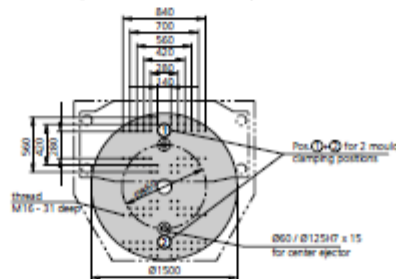
Movable mould platen up to 2000 kN

View A



Fixed mould platen (rotary table)

View B



Max. weight on rotary table: 1000 kg  
 Max. weight on moving platen: 500 kg  
 Rotational speed for 100° with max. mould weight approx. 2.0 sec.

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)										
Injection units according to EUROMAP	170	290	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Screw diameter	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80
Polystyrene	PS	54 77 105	97 132 172	141 184 232	191 259 334	254 350 424	327 450 524	406 553 627	493 667 736	588 794 871
Styrene heteropolymers	SB	53 76 103	95 129 168	137 179 227	184 250 324	244 330 404	317 430 504	396 533 607	483 657 726	578 784 857
	SAN, ABS <sup>1)</sup>	52 74 101	93 126 165	135 176 223	184 250 324	244 330 404	317 430 504	396 533 607	483 657 726	578 784 857
Cellulose acetate	CA <sup>2)</sup>	61 87 119	109 148 194	150 207 262	200 271 349	267 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763	603 819 892
Cellulose acetate butyrate	CAB <sup>2)</sup>	56 81 110	101 138 180	147 192 243	200 271 349	267 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763	603 819 892
Polyethyl methacrylate	PMMA	56 80 109	100 136 178	145 190 240	200 271 349	267 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763	603 819 892
Polymethyl ether, mod.	PPE	50 72 98	90 122 160	131 171 216	170 233 303	230 313 383	290 390 460	350 470 540	420 570 640	490 670 740
Polycarbonate	PC	57 81 111	102 139 181	148 193 244	200 271 349	267 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763	603 819 892
Polysulfone	PSU	58 84 115	105 143 187	153 199 252	210 281 356	270 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763	603 819 892
Polyamide	PA 6.6, PA 6 <sup>3)</sup>	53 77 104	96 131 171	140 183 231	190 257 331	250 333 403	310 410 483	370 500 573	450 610 683	530 720 793
	PA 6.10, PA 11 <sup>3)</sup>	50 72 98	90 122 160	131 171 216	170 233 303	230 313 383	290 390 460	350 470 540	420 570 640	490 670 740
Polyoxymethylene (Polyacetal)	POM	66 96 130	120 163 213	174 227 287	230 313 403	290 390 460	350 470 540	420 570 640	510 694 763	603 819 892
Polyethylene terephthalate	PET	64 92 126	115 157 205	167 219 277	220 291 374	280 373 447	340 450 524	410 540 614	490 660 734	570 760 834
Polyethylene	PE-LD	41 59 80	73 100 130	106 139 176	140 183 231	190 257 331	250 333 403	310 410 483	370 500 573	450 610 683
	PE-HD	42 60 82	76 103 134	110 143 181	150 200 250	200 271 349	267 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763
Polypropylene	PP	43 62 84	77 105 137	112 146 185	150 200 250	200 271 349	267 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763
Fluoropolymerides	PEE, PFA, PCTFE <sup>4)</sup>	86 124 169	155 211 276	225 294 372	300 400 500	400 530 630	500 670 770	600 810 910	720 970 1070	840 1130 1230
Polyvinyl chloride	PVC-U	65 94 127	117 159 208	170 222 281	230 313 403	290 390 460	350 470 540	420 570 640	510 694 763	603 819 892
	PVC-P <sup>5)</sup>	60 87 118	108 147 192	157 205 260	210 281 356	270 363 437	342 465 539	423 570 644	510 694 763	603 819 892

1) average value

## ARBURG GmbH + Co KG

Postfach 11 09 - 72286 Leisburg - Tel.: +49(0)7446 33-0 - Fax: +49(0)7446 33-3305 - www.arburg.com - e-mail: contact@arburg.com

With locations in Europe: Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | Asia: People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | America: Brazil, Mexico, USA  
For more information, please go to [www.arburg.com](http://www.arburg.com).

© 2018 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilization, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However, we are unable to guarantee its correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



ARBURG GmbH + Co KG  
DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

