



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OPTIMALIZACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ SOUČÁSTI DÁVKOVACÍHO MODULU DIESELOVÉHO MOTORU

OPTIMIZATION OF THE INJECTION PROCESS OF A DIESEL ENGINE DOSING MODULE COMPONENT

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Ohnút

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Lukáš Ohnút</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Ladislav Žák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Optimalizace procesu vstřikování součásti dávkovacího modulu diesellového motoru**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Úkolem bude optimalizovat technologické parametry vstřikování pro zadanou součást a ověření bezchybnosti pro nasazení formy do sériové výroby.

### **Cíle diplomové práce:**

Posouzení součásti z hlediska jejího účelu a vyrobitelnosti.  
Literární studie problematiky vstřikování a zkoušení forem.  
Optimalizace vstřikování a její ověření zkouškami.  
Ekonomické zhodnocení.

### **Seznam doporučené literatury:**

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989.

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-8622-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-8-271-0614-1.

MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 3. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001. ISBN 978-3-446-21256-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Ohnút Lukáš: Optimalizace procesu vstřikování součásti dávkovacího modulu diesellového motoru

---

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci procesu vstřikování daného dílu a jeho zavedení do sériové výroby. V prvním kroku došlo k odzkoušení vstřikovací formy a k prvotnímu určení vstřikovacích parametrů. V následném kroku došlo k vytvoření simulací v programu CADMOULD.

Tyto simulace vypočetly teoretické vstřikovací parametry a ty byly porovnány s parametry nastavenými na vstřikovacích strojích. Dále byly vyhotoveny měřící protokoly na tvar, podle kterých došlo k optimalizaci tvarů v dutinách vstřikovacích forem. V poslední řadě byly provedeny zátěžové zkoušky, které odhalily problémy v procesu vstřikování.

Klíčová slova: optimalizace, parametr, simulace, proces, měřící zkoušky

## **ABSTRACT**

Ohnút Lukáš: Optimization of the injection process of a diesel engine dosing module component

---

This diploma thesis deals with optimization of the injection process of the part and its implementation into serial production. In the first step, the injection mold was tested and injection parameters were initially defined. In the next step, simulations were created in the CADMOULD program.

These simulations calculated theoretical injection parameters and these were compared with the parameters set on the injection molding machines. Then, the shape measurement protocols were prepared, according to which the shapes in the cavities of the injection mold were optimized. Finally stress tests were performed, which detected problems in the injection process.

Keywords: optimization, parameter, simulation, process, measuring tests

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

OHNÚT, Lukáš. *Optimalizace procesu vstřikování součásti dávkovacího modulu dieselového motoru* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133117>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 21.5.2021

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Ladislav Žák, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Také děkuji pracovníkům ve firmě SWOBODA za umožnění tvorby diplomové práce v prostorách firmy.

Největší dík patří mé přítelkyni a rodině za rady a zkušenosti a také za trpělivost a podporu při tvorbě diplomové práce.

## OBSAH

Titulní strana

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

ÚVOD.....	9
1 PLASTY [1, 2, 3, 4, 5, 9].....	10
1.1 Rozdělení plastů [4, 5, 7, 9].....	10
1.1.1 Rozdělení podle molekulární struktury [4, 5, 7, 9].....	10
1.1.2 Rozdělení podle nadmolekulární struktury [4, 5, 7, 8, 9].....	11
1.1.3 Schéma souhrnného rozdělení plastů [4, 5, 7, 8, 9, 17, 22].....	12
2 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ [4, 10, 11, 12, 14, 17].....	13
2.1 Vstřikovací parametry ovlivňující tvar a kvalitu výstřiku [4, 11, 12].....	14
3 VSTŘIKOVACÍ STROJE [4, 12, 13, 14, 17].....	15
3.1 Volba vstřikovacího stroje [13, 14, 16].....	17
4 VSTŘIKOVACÍ FORMY [14, 15, 16, 17, 18, 19].....	19
4.1 Základní rozdělení vstřikovacích forem [14, 15, 16, 17, 18, 19].....	20
4.2 Základní požadavky na vstřikovací formy [14, 15, 16, 17, 18, 19].....	20
4.3 Zásady pro konstrukci vstřikovacích forem [14, 15, 16, 17, 18, 19].....	20
4.4 Vybavení formy [14, 15, 16, 17, 18, 19].....	20
5 VADY VÝSTŘIKU [4, 5, 8, 20, 21].....	25
5.1 Vady, které mohou nastat při výstřiku [4, 5, 8, 20, 21].....	25
5.1.1 Vady zjevné [4, 5, 8, 20, 21].....	25
5.1.2 Vady skryté [4, 5, 8, 20, 21].....	26
5.1.3 Vady vzniklé při vlastním vstřikování [4, 5, 8, 20, 21].....	26
6 ZKOUŠKY HODNOTÍCÍ MECHANICKÉ VLASTNOSTI [4, 8, 22, 23, 24].....	27
6.1 Zkoušky hodnotící tepelné vlastnosti [4, 8, 22, 23, 24].....	30
6.2 Zkoušky hodnotící elektrické vlastnosti [4, 8, 22, 23, 24].....	33
7 POPIS SOUČÁSTI.....	34
7.1 Rozbor vstřikované součásti.....	34
8 PŘEDVSTŘIK.....	36
8.1 První testování formy.....	39
8.2 Simulace.....	40
8.3 Korekce formy.....	42
9 HLAVNÍ VSTŘIK.....	44
9.1 První testování formy.....	47
9.2 Simulace.....	48
9.3 Korekce formy.....	51
9.4 Kontrolní zkoušky.....	54
10 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	60
11 ZÁVĚR.....	61

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

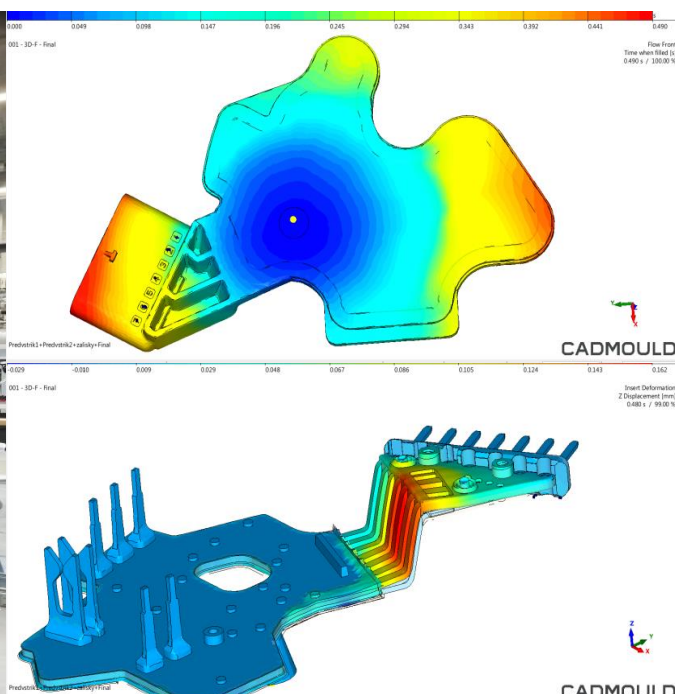
Seznam příloh

## ÚVOD [4, 5, 8, 11, 12]

Optimalizace v procesu vstřikování je velmi důležitý aspekt, na který je dbán důraz a to nejen kvůli tvaru a jakosti výrobku, ale také kvůli časové náročnosti a množství financí vynaložených k odladění procesu do finálního stavu. Pro tento krok slouží předsériová výroba, která spočívá v pečlivé přípravě a odzkoušení vstřikovacích parametrů a jejich následných simulací (viz obr. 2). Dále k odladění nedostatků funkčnosti a tvarů výstřiku, a následně provedení zátěžových zkoušek dle specifikace zákazníka, které mají potvrdit stabilitu procesu a bezchybnost vstřikované součásti. Splnění těchto kritérií umožní danou součást zavést do sériové výroby (provést robotizaci viz obr. 1 a sladit cyklus s vstřikovacím strojem viz obr. 3), kde tento proces funguje stabilně do doby změny tvaru nebo konce určeného zákazníkem. Validace a valorizace procesu je jedním z hlavních cílů automobilového průmyslu.



Obr. 1 Šestiosý robot společnosti KUKA



Obr. 2 Simulace v programu CADMOULD



Obr. 3 Pohled na vstřikovací stroj Arburg 570 S ve výrobní hale

## 1 PLASTY [1, 2, 3, 4, 5, 9]

V dnešní době jeden z nejvíce rozšířených materiálů, který lze spatřit snad ve všech strojních ústrojí. Díky jeho ceně a zpracovatelnosti se ho většina firem snaží zakomponovat do svého procesu. Plast má široké spektrum použití díky svým vlastnostem. Lze jej použít v každém průmyslovém odvětví, ať už v energetickém jako třeba izolant kabeláže, tak i strojním jako ozubená kola nebo další součásti, které se mohou vlastnostmi rovnat některým kovům, dále například i v potravinářském jako folie na udržení potravin v čerstvém stavu, ale i v dalších odvětvích. Technologie zpracování plastů se neustále vyvíjí. V dnešní době už se plast dokáže zakomponovat i mezi kovy a lze jej vstříkovat společně s nimi. Další velice rozšířené použití plastu je technologie 3D tisku, která vypomáhá při navrhování součástí a odladění chyb, které jsou poté eliminovány. Plasty mají ale i nežádoucí vliv na člověka i přírodu, a to ve formě odpadu, který v dnešní době nelze tak dobře recyklovat nebo alespoň ne v takové hojné míře. Neustále se vyvíjejí technologie na recyklaci a zpracování tohoto odpadu.

### 1.1 Rozdělení plastů [4, 5, 7, 9]

Plasty lze dělit podle jejich molekulárních, nadmolekulárních struktur, chemických a fyzikálních vlastností. Které jsou dány přísadami (aditivum) aplikovanými do granulátu, jedná se například o retardéry hoření, plniva, UV stabilizátory, maziva atd.

#### 1.1.1 Rozdělení podle molekulární struktury [4, 5, 7, 9]

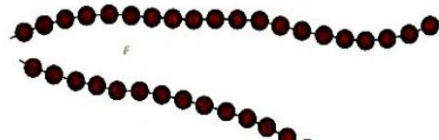
Molekulární struktura má velký dopad na tvářitelnost daného materiálu, ale má i velký vliv na vlastnosti plastu, tj. například na mechanické, chemické nebo elektrické. Struktura plastu je tvořena dlouhými řetězci atomů, které jsou na sebe navzájem navázané. Hlavní stavební jednotkou je monomer, jehož počet udává polymerační stupeň a tvoří polymer. Polymer vzniká chemickou reakcí, která se nazývá polymerizace, polykondenzace, polyadice. Ta má za následek vznik makromolekul (tvořených monomery), které tento polymer tvoří. Plasty se dle molekulární struktury dělí na lineární, rozvětvené a síťované a jejich vlastnosti lze vidět v tabulce č. 1.

- **Lineární**

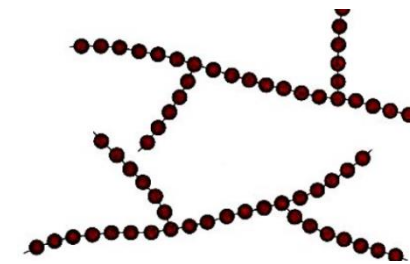
Tvar struktury lze vidět na obrázku č. 4, na kterém jsou zobrazeny monomery napojené krásně vedle sebe, tvar lze přirovnat k perlovému náhrdelníku.

- **Rozvětvené**

Struktura podobná jak u lineárního uskupení, liší se pouze vedlejšími odbočkami řetězce, které mají za následek oddálení mezi ostatními řetězci, a to způsobuje i pokles sil mezi vazbami. To má velký dopad na snížení pevnosti a tvrdosti a dalších vlastností materiálu. Uskupení rozvětvené struktury lze vidět na obrázku č. 5.



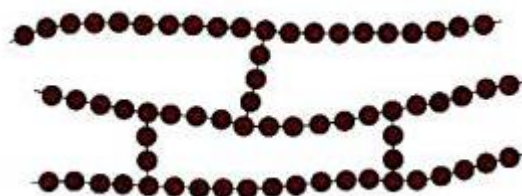
Obr. 4 Lineární struktura [7]



Obr. 5 Rozvětvená struktura [7]

- **Sít'ované**

Při této struktuře dochází ke spojení lineárních makromolekul na určitých místech vlivem působení chemických vazeb. Tato struktura má dopad na pohyb makromolekul, které tvoří celek, což ovlivňuje rozpustnost, tváritelnost i houževnatost. Sít'ovaná struktura má i své výhody spočívající v její tvrdosti a teplotní odolnosti. Tyto vlastnosti se odvíjejí od hustoty zesíťení. Strukturu lze vidět na obrázku č. 6.



Obr. 6 Sít'ovaná struktura [7]

Tab. 1 Vlastnosti struktur [4, 5, 7, 8, 9]

Lineární	Rozvětvené	Sít'ované
vyšší hustota materiálu	nižší hustota materiálu	vlastnosti závisí na hustotě sítě. S vyšší hustotou sítě se materiál vyznačuje zpravidla:
vyšší pevnost	nižší pevnost	
vyšší modul pružnosti	nižší modul pružnosti	
nižší tažnost	vyšší tažnost	vysokou pevností
vyšší teplotní odolnost	nižší teplotní odolnost	vysokým modulem pružnosti
dobrá tekutost taveniny	nižší tekutost taveniny	vysokou teplotní odolností
snadná krystalizace	nižší schopnost krystalizace	velmi nízkou tažností

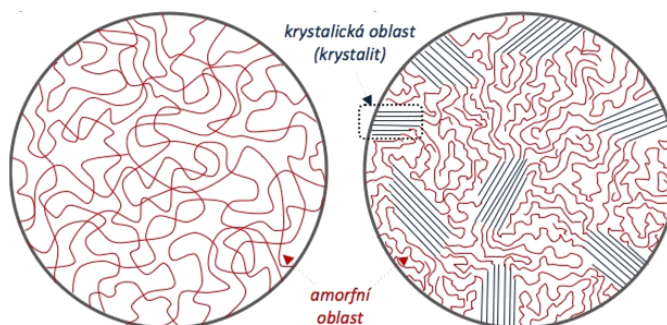
### 1.1.2 Rozdělení podle nadmolekulární struktury [4, 5, 7, 8, 9]

- **Amorfní struktura**

Chaoticky založená struktura s náhodným uspořádáním, ve které jsou základní stavební jednotky globuly (klubka). Tyto klubka jsou tvořena ze stočených makromolekul a nabývají průměru 10-30  $\mu\text{m}$ . Strukturu lze vidět na obrázku č. 7.

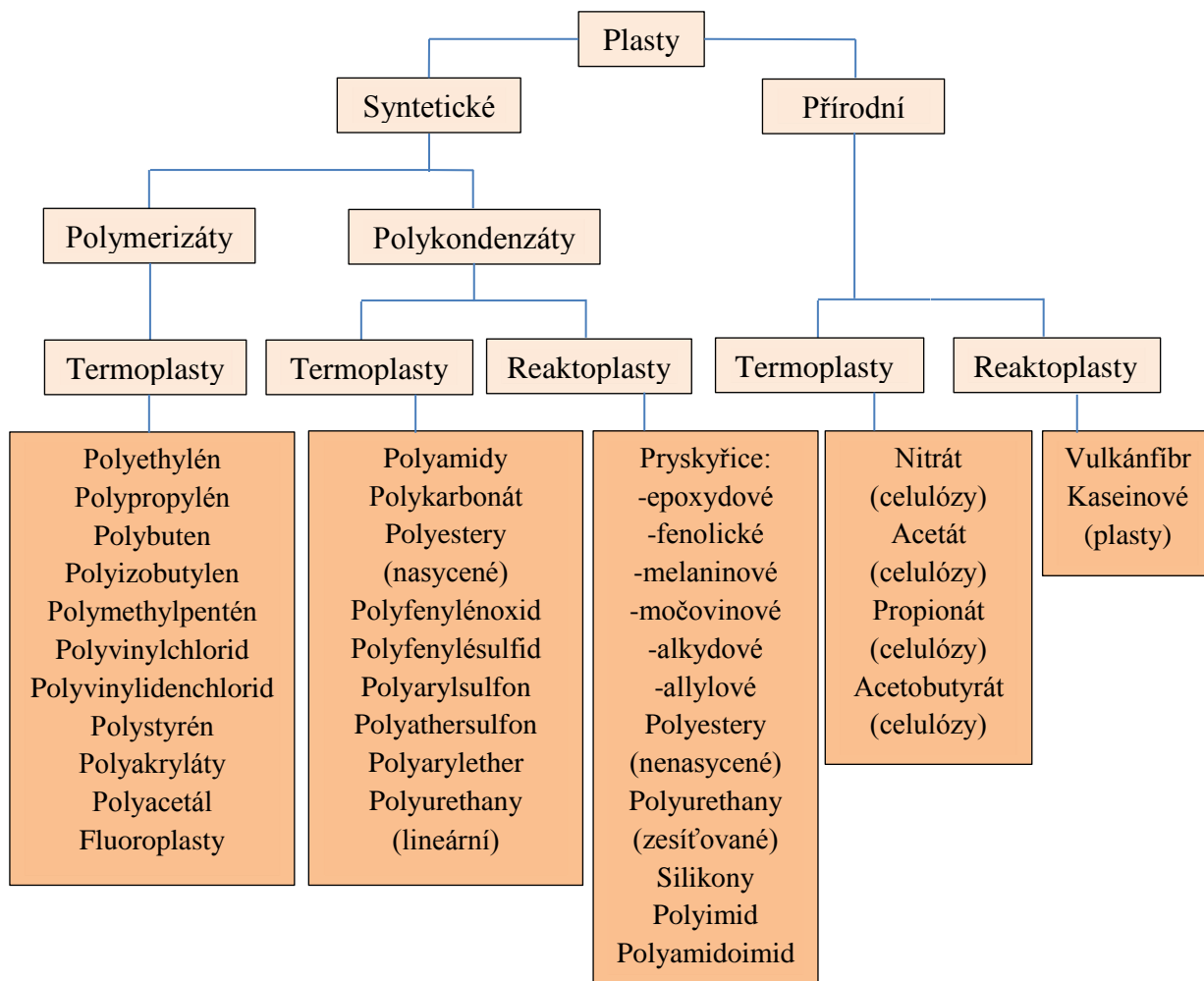
- **Krystalická struktura**

Liší se od amorfní struktury částečným uspořádáním makromolekul do lamel nebo fibril, které tvoří morfologické útvary. Tvary a rozdíly mezi amorfní strukturou lze sledovat na obrázku č. 7.



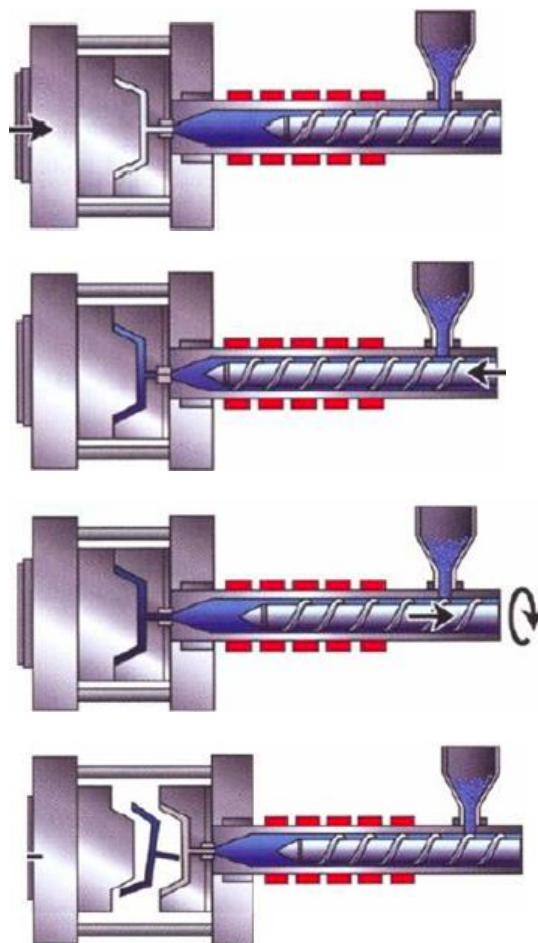
Obr. 7 Amorfní a krystalická struktura [8]

### 1.1.3 Schéma souhrnného rozdělení plastů [4, 5, 7, 8, 9, 17, 22]

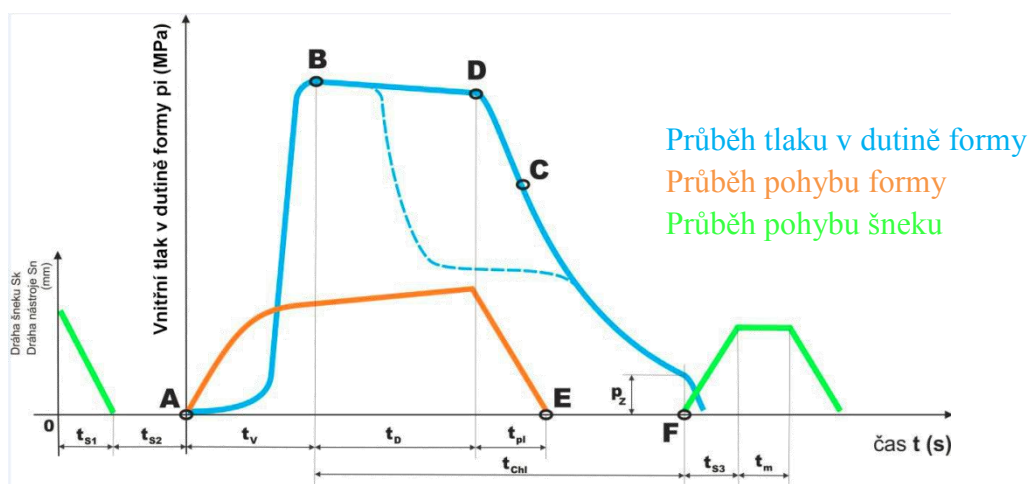


## 2 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ [4, 10, 11, 12, 14, 17]

Vstřikovací proces začíná přípravnou fází, a to temperací vstřikovací formy a pečlivým vysušením granulátu doporučenou teplotou na stanovenou vlhkost danou výrobcem. Granulát je následně nasáván ze sušícího zařízení a dopravován do vstřikovacího stroje. Ve stroji je materiál nabírán rotačním pohybem šneku do tavicí komory vstřikovací jednotky (plastikační fáze). Materiál, který je již nataven, se pomocí axiálního pohybu šneku přemístí před jeho čelo, poté dochází k uzavření formy a k pohybu šneku, který nataveným materiálem vyplňuje dutinu formy (vstřikovací fáze). Dalším krokem je dotlaková fáze, při které dochází k eliminování smrštění plastu v dutině formy do doby, při které dochází k navýšení hmotnosti dílce. To je doba, při které jsou vtoková ústí nezatuhlá. Další a poslední fází je fáze ochlazovací, která probíhá po celé délce procesu až do manipulace s daným výstřikem. Počátek ochlazování začíná už při vstřiknutí materiálu do dutiny formy, která musí být temperovaná na doporučenou teplotu, ale zdaleka ne tak na vysokou, jako je teplota vstřikovaného materiálu. Tímto rozdílem teplot dochází k pomalému tuhnutí a smrštění výstřiku. Proces vstřikování lze vidět na schématu č. 8. Dále lze vidět průběhy tlaků a teplot na  $p$ - $T$  digramu, který je zobrazen na obrázku č. 9.



Obr. 8 Schéma vstřikovacího cyklu[12]



Obr. 9 Průběh tlaku v dutině formy, pohybu formy a šneku [12]

## 2.1 Vstřikovací parametry ovlivňující tvar a kvalitu výstřiku [4, 11, 12]

Primární vliv na kvalitu a tvar výstřiku má správný výběr materiálu, ze kterého má být výrobek vyroben, dále konstrukce formy, která nám určuje tvar výstřiku, a vstřikovací stroj, který musí splňovat parametry pro upnutí formy a správné vystříknutí součástí.

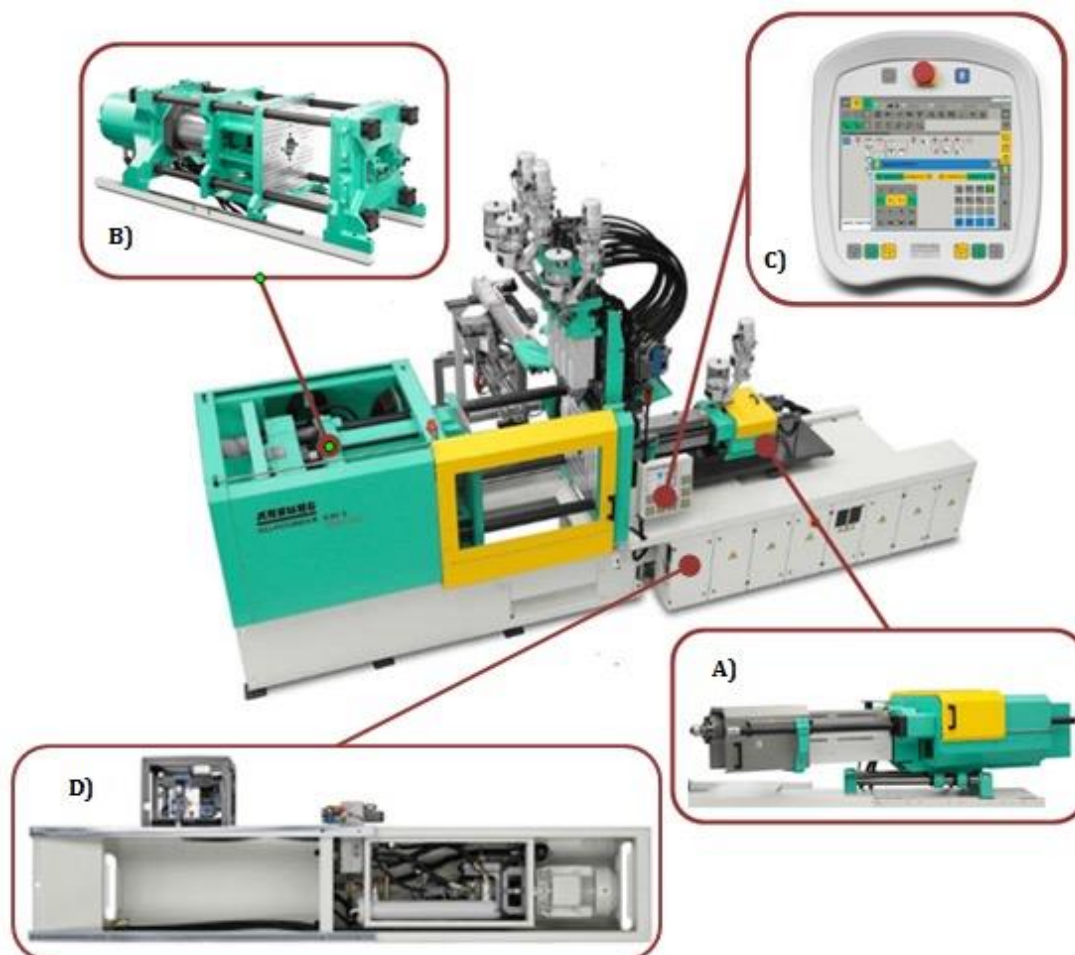
Dalšími parametry, které mají velký vliv na kvalitu výstřiku, jsou technologické parametry (mezi ně patří vstřikovací tlak, rychlost plnění dutiny formy, ale i doba chlazení a velikost dotlaku), předehřev formy (temperace), vysušení a teplota taveniny. Pro správné vstřikování a předehřátí formy slouží zpracované tabulky od výrobců k danému materiálu, které udávají doporučené teploty. Například tabulka č. 2.

Tab. 2 Vlastnosti struktur [4, 12, 17]

Termoplasty	Teplota taveniny [C°]	Teplota formy [C°]	Teplota doporučená pro odebrání výrobku [C°]
ABS	190-250	50-85	80-100
PA 6	260-280	40-120	100
PA 6 - GF	270-290	80-120	140
PA 66	275-295	80-100	100
PA 66 - GF	280-300	80-120	130
PC	280-320	85-120	<140
PC - GF	310-330	80-130	<150
HDPE	180-270	20-60	40-75
LDPE	180-270	20-60	30-65
PMMA	200-250	50-80	50-110
POM	180-220	50-120	60-130
PP	170-280	20-100	45-80
PS	180-260	55-80	20-60
PVC tvrzené	190-220	30-60	25-55
SAN	200-260	50-85	80-95
PEEK	380-430	160-220	135-190

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJE [4, 12, 13, 14, 17]

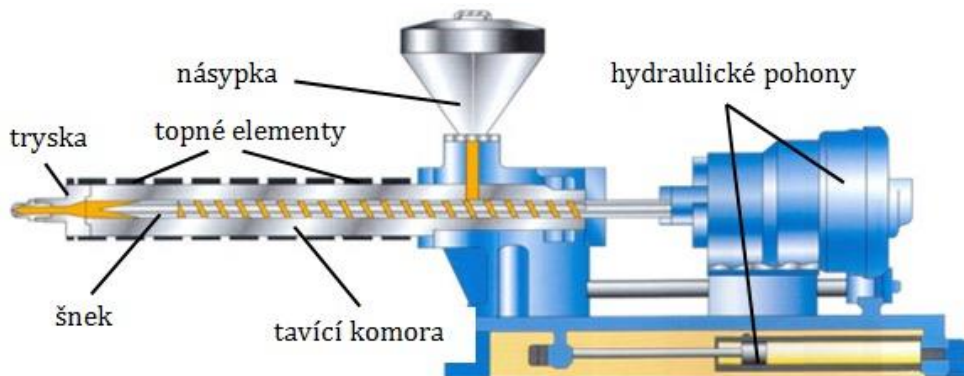
Bez těchto zařízení by nebylo možné proces vstřikování uskutečnit. Mají dlouhou historii a prošly určitými změnami. Jako první stroje používali písty umístěné ve vstřikovacích jednotkách, později byly nahrazeny stroji se šnekovým mechanismem. Jedním z důvodů nahrazení byl ten, že při pístovém ústrojí nedocházelo k dobrému promíchávání hmoty a k dostatečné homogenizaci materiálu. Tyto vlastnosti splňují stroje se šnekovým ústrojím, kde dochází ke správnému promíchávání rotačním pohybem šneku, a tím udržení homogenizace materiálu. Vstřikovací stroje jsou už v dnešní době i plně mechanizovány a pracují téměř samy bez zásahu člověka. Důsledkem toho je i vyšší pořizovací cena, která se vyplatí v případě sériové výroby. Cena stroje se může také odvíjet od požadovaných komponent, které jsou potřeba pro výrobu složitějších dílců, u kterých jsou nutné specifické součásti pro správnou výrobu. Složení základních nejdůležitějších prvků stroje zůstává stejné (obr. 10), jedná se o vstřikovací, řídicí a uzavírací jednotku upnutou do rámu.



Obr. 10 Schéma složení vstřikovacího stroje [13]

- **Vstřikovací jednotka**

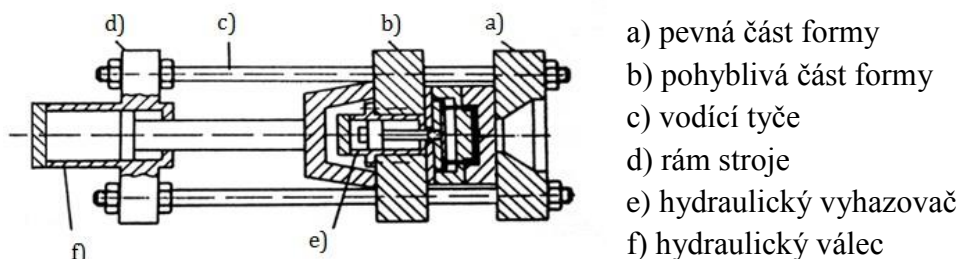
Je to jedna z nejvíce důležitých součástí stroje, která umožňuje natavení granulátu topnými tělesy, který je přiveden centrálním zařízením do násypky umístěné nad tavící komorou, a následně je rotačním pohybem šneku dopraven přes trysku do vstřikovací formy. Složení vstřikovací jednotky lze vidět na obrázku č. 11.



Obr. 11 Schéma Vstřikovací jednotky [13]

- **Uzavírací jednotka**

Kromě otevírání a zavírání formy, což nejsou jediné vlastnosti uzavírací jednotky, umožňuje také například upnutí formy nebo vyhazování výstřiku pomocí vyhazovačů. Schéma je zobrazeno na obrázku č. 12.



Obr. 12 Schéma uzavírací jednotky [13]

- **Dělení uzavíracích jednotek**

- **Dle pohonu**

- hydraulické
- elektrické
- hybridní

- **Dle upnutí desek**

- s jednou pohyblivou a jednou nepohyblivou
- s rotačním stolem
- s pohyblivým stolem do stran

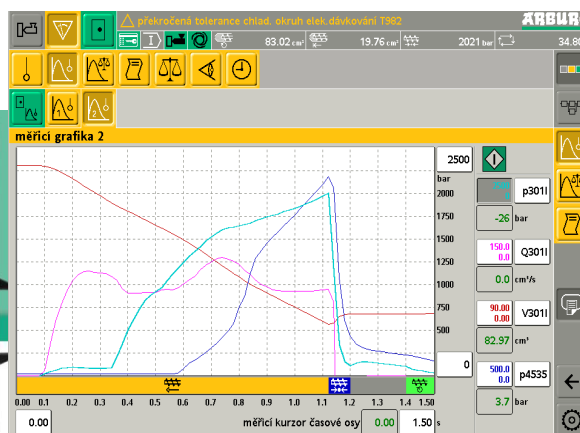
- **Dle typu uzavírací jednotky**

- hydraulické uzavírání
- kloubové uzavírání

- **Dle přítomnosti vodících sloupků**
  - s vodícími sloupky
  - bez vodících sloupků
- **Dle polohy vstřikovací a uzavírací jednotky**
  - horizontální
  - vertikální

- **Řídicí jednotka**

Je grafické prostředí, pomocí kterého se nastavují parametry manuálně do stroje, a které umožňuje nastavit pohyby uzavírací jednotky nebo vyhazovačů či dalších součástí vstřikovacího stroje. Dále umožňuje sledovat měnící se parametry při procesu a možnost vyhodnotit chybu. Na obr. 13 lze vidět ovládací panel řídicí jednotky a na obrázku č. 14 prostředí řídicí jednotky.



Obr. 13 ovládací panel [13]

Obr. 14 Ovládací prostředí [13]

### 3.1 Volba vstřikovacího stroje [13, 14, 16]

Pro správnou volbu vstřikovacího stroje je nutné znát hodnoty, které jsou vypočítány ze zadaných parametrů potřebných k výstřiku. Jsou jimi:

- **Minimální vstřikovací kapacita vstřikovacího stroje**

$$C_v \geq 1,1 \cdot n_t \cdot (V + V_K) = [cm^3] \quad (3.1)$$

kde:  $V_K [cm^3]$  – objem rozváděcího kanálku formy

$n_t [-]$  – termínová násobnost formy

$V [cm^3]$  – objem plastového dílce

- **Minimální plastikační kapacita vstřikovacího stroje**

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n_t \cdot \rho \cdot (V + V_K)}{t_c} = [kg/hod] \quad (3.2)$$

kde:  $\rho [g/cm^3]$  – měrná hustota materiálu

$t_c [s]$  – doba vstřikovacího cyklu

- **Minimální přidržovací síla vstřikovacího stroje**

$$F_{Př} \geq 1,1 \cdot 10^3 \cdot n_t \cdot p_v \cdot (A_{proj} + D_K \cdot L) = [kN] \quad (3.3)$$

kde:  $A_{proj} [cm^2]$  – plocha průřezu tvarové dutiny do dělicí roviny formy

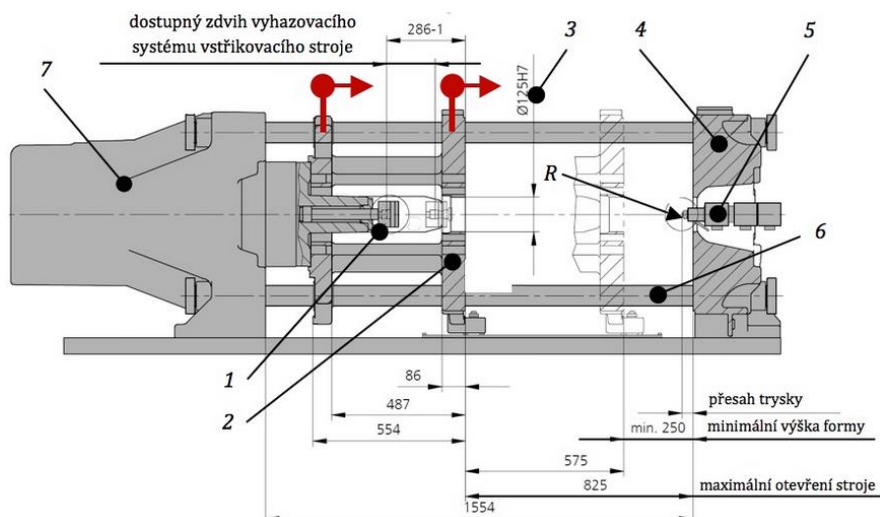
$p_v [bar]$  – vstřikovací tlak

$L [mm]$  – maximální délka dráhy toku

$D_K [mm]$  – průměr rozváděcího kanálu

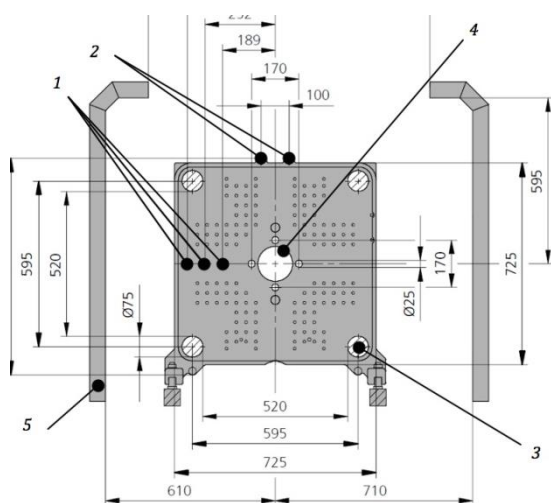
- **Kompatibilita vstřikovací formy se vstřikovacím strojem**

Po vypočítání hodnot ze vzorců výše, je nutno i zkontrolovat rozměry formy kvůli upnutí do stroje. Důležitý rozměr je rozteč vodících sloupků, která musí být natolik dostatečná, aby bylo možné nahzení a upnutí formy na upínací desku uzavírací jednotky. Rozměrové parametry jsou dány výrobcem stroje příklad lze vidět na obrázku 15 a 16.



Obr. 15 Upínací ústrojí [13]

- 1 – rychloupínací systém pro připojení hlavního vyhazovače formy
- 2 – pohyblivá deska
- 3 – průměr středícího otvoru
- 4 – pevná deska
- 5 – vstřikovací tryska
- 6 – vodící sloupky
- 7 – pevný rám
- R – poloměr zaoblení špičky trysky



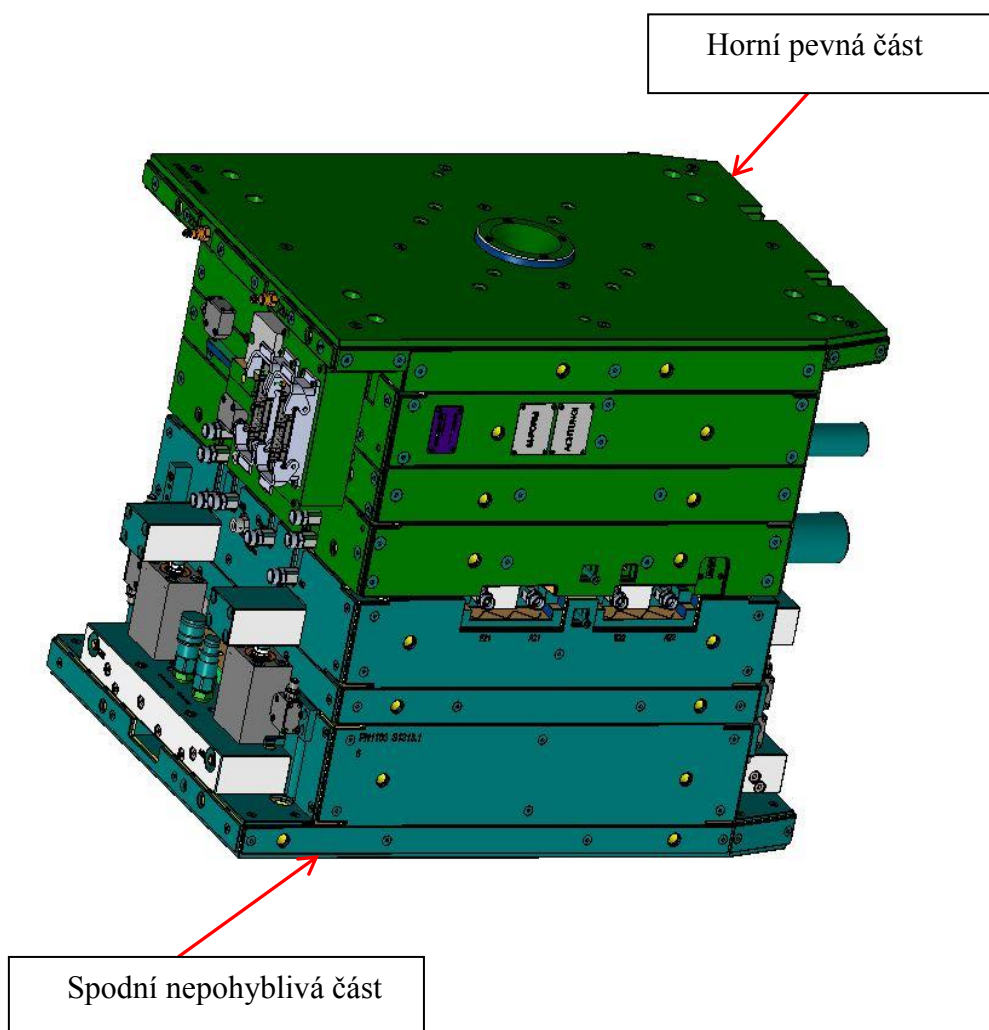
Obr. 16 Upínací deska [13]

- 1,2 – závitové otvory pro obslužné účely
- 3 – vodící sloupky
- 4 – středící otvor
- 5 – ochranný kryt

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMY [14, 15, 16, 17, 18, 19]

Jsou nesdílňnou součástí vstřikovacího procesu. Důležité jsou jejich správné konstrukční řešení. Hlavní úkol vstřikovacích forem je dát tvar požadované součásti za určitých podmínek a parametrů, které mají velký vliv i na kvalitu dané součásti. Forma se skládá ze dvou hlavních částí, a to z pevné a pohyblivé (viz obrázek č. 17 níže). V každé z těchto částí je zakomponován rozdílný mechanismus potřebný pro správnou a předem určenou výrobu daného výstřiku. V horní pevné části formy mezi tyto mechanismy patří například vtokový, vyhazovací a temperační systém, vodící a upínací prvky a dále napojení elektroniky pro tlaková a tepelná čidla ve tvarové dutině. Ve spodní pohyblivé části formy je temperační systém, hlavní vyhazovací systém, tlaková a tepelná čidla umístěná opět ve tvarové dutině.

Materiály forem jsou u některých prvků dány a nemění se. U tvarových dutin může docházet k rozdílným druhům materiálů. Důvodem je vyšší teplota vstřikování a přítomnost skelných vláken. Skelná vlákna mají vliv na větší opotřebení tvarové vložky vstřikovací formy. V tabulce č. 4 na straně 23 lze vidět různé druhy materiálu pro různé části formy.



Obr. 17 Vstřikovací forma

#### **4.1 Základní rozdělení vstřikovacích forem [14, 15, 16, 17, 18, 19]**

Vstřikovací formy jsou rozděleny podle složitosti a druhu vstřikování, např. podle:

- **Způsobu vstřikování vstřikovacího stroje**
  - Vstřikování do dělicí roviny formy
  - Kolmo na dělicí rovinu formy
- **Počtu kavit (tvarových dutin)**
  - Jednonásobné
  - Vícenásobné
- **Konstrukce a zaformování**
  - Dvoudeskové
  - Třideskové
  - Etážové
  - Čelistové
  - Vytáček

#### **4.2 Základní požadavky na vstřikovací formy [14, 15, 16, 17, 18, 19]**

- Správné technologické a parametrické funkce pro požadovaný počet výstřiků.
- Dobré ekonomické parametry, tzn. pořizovací cenu, rychlost výroby apod.
- Snadná obsluha, manipulace a také prvky pro dodržení bezpečnosti práce.

#### **4.3 Zásady pro konstrukci vstřikovacích forem [14, 15, 16, 17, 18, 19]**

Těmito zásady se řídí konstruktér formy, vyhotovující výkresovou dokumentaci, která je nejdůležitější pro realizaci výroby dané součásti. Forma díky vstřikovacím parametrům musí splňovat základní požadavky, a to:

- Vysokou přesnost a jakost ploch v dutině formy a ostatních funkčních dílů.
- Odolnost proti vysokým tlakům potřebných v procesu, což zahrnuje maximální tuhost a pevnost daných součástí formy.
- Vhodné umístění vtokového, vyhazovacího a temperačního systému apod.
- Životnost zaručenou materiálem, konstrukcí a výrobou.

#### **4.4 Vybavení formy [14, 15, 16, 17, 18, 19]**

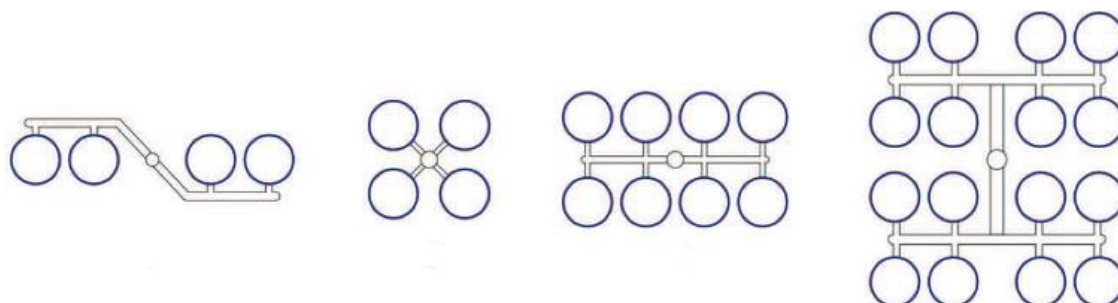
- **Vtokové systémy**

Mají za hlavní úkol vést proud taveniny ze vstřikovací jednotky v co nejkratším čase a s minimálním odporem do tvářecí dutiny formy. Tvar a umístění ústí do tvářecí dutiny a rozměry vtoku ovlivňují jakost a rozměry výstřiku, množství zpracovaného plastu (spotřeby plastu), složité odstranění vtoku na výstřiku a energetickou náročnost výroby.

Uspořádání vtokového systému je mnohdy dáno složitostí konstrukce formy a hlavně násobností formy, která se vypočítá pomocí vzorce (4.1) níže. Při volbě vtokových systému se vychází z toho, co bylo řečeno výše, a to z rychlosti, kterou se relativně studená dutina formy plní taveninou. Způsob a ekonomiku výroby si určuje zákazník a ten vybírá mezi studeným a horkým vtokovým systémem. Různé provedení vtoků lze vidět na obrázku 18.

$$n_t = \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} = [-] \quad (4.1)$$

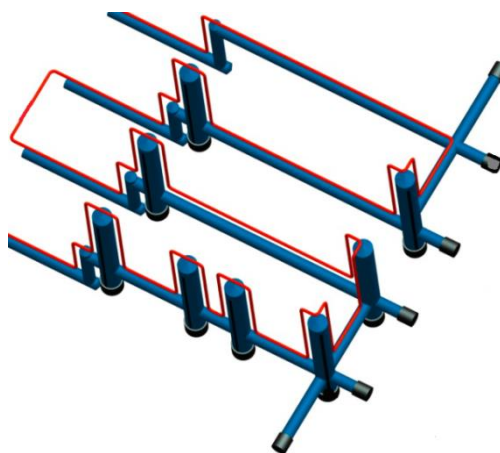
kde:  $N$  [ks] – velikost výrobní série  
 $t_c$  [s] – doba vstřikovacího cyklu  
 $\tau_p$  [hod] – požadovaný termín splnění dodávky  
 $K$  [-] – faktor využití pracovního času (0,7 - 0,9)



Obr. 18 Uskupení vtokového systému [19]

- **Temperační systém**

Slouží k udržování konstantní teploty formy a ovlivňuje rychlost cyklu vstřikování. Temperace spočívá buď v ohřevu, nebo ochlazení formy. Změna teploty pomocí temperace má vliv na plnění dutiny formy, ale zajišťuje i optimální chladnutí a tuhnutí plastu. Při každém vstřikovacím cyklu je forma ohřátá teplotou roztaveného polymeru. Ohřátá forma se temperací musí vrátit na danou teplotu, tudíž se teplo musí touto soustavou odebírat. Rozdíly teplot dány výrobcem jsou vidět v tabulce č. 2 v kapitole 2.1. Temperační soustava uvnitř formy má podobu kanálků, které lze vidět na obrázku č. 19. Těmito kanálky je hnána kapalina, která udržuje teplotu formy. Nejlepší řešení rozvodu chladících kanálků je ve chvíli, kdy materiál tuhne ve všech místech stejnou rychlostí. Při špatném návrhu může docházet k nežádoucím chybám, a to například k trhlinám uvnitř výstřiku, ale i k vnitřnímu pnutí.

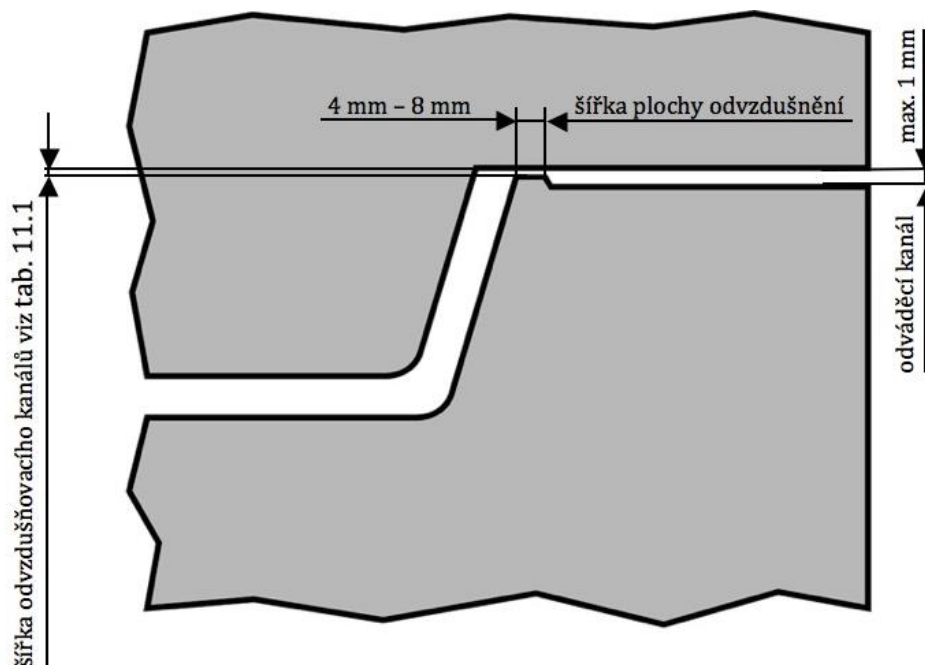


Obr. 19 Temperační systém [19]

- **Odvzdušnění forem**

Při pohybu hmoty do dutiny formy natavený plast vytlačí vzduch uvnitř dutiny formy, který v ní po uzavření zůstal. I přesto, že vzduch částečně unikne přes dělicí rovinu nebo

vodicími plochami vyhazovačů, musí být forma vybavena konstrukčními odvzdušňovacími prvky, které umožní rychlý odvod vzduchu z dutiny formy. Příklad odvzdušňovacího kanálku lze vidět na obrázku č. 20. Rozměry šířek těchto kanálků uvádí tabulka č. 3.



Obr. 20 Odvzdušňovací kanálek [19]

Tab. 3 Rozměry odvzdušňovacích kanálků v závislosti na vstříkovaném materiálu [19].

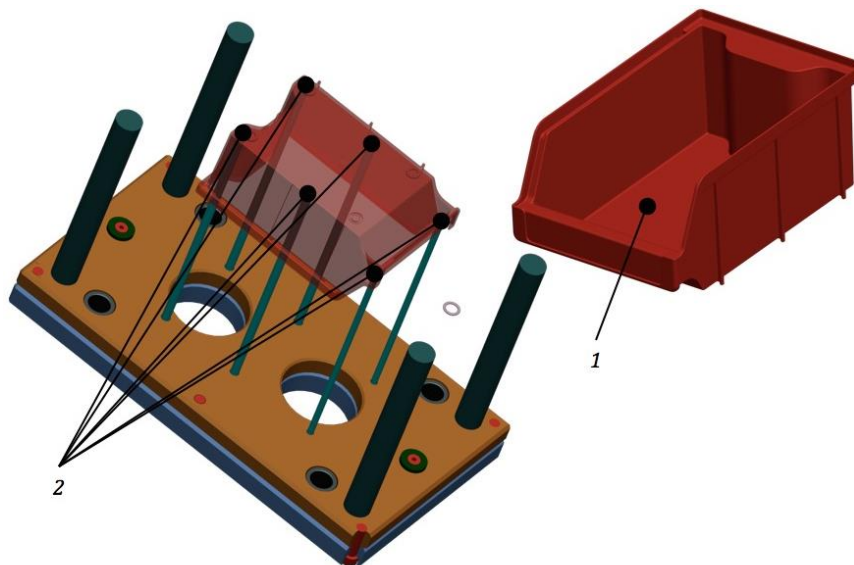
Typ plastu	Šířka odvzdušňovacího kanálku [mm]
PC,POM	max. 0,5
PS,ABS	max. 0,5
PA	0,02-0,03
PBT	max. 0,5
PA (se skelným vláknem)	0,05-0,06
Strukturální pěny	max. 0,1

- **Vyhazovací systém**

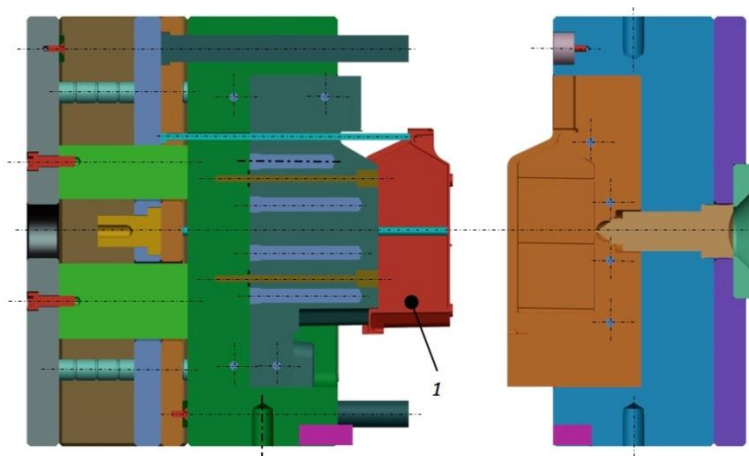
Má za úkol vyhazování výstřiku, který díky smrštění zůstává zachycen v tvarové dutině po otevření vstříkací formy. V dnešní době je vyhazovací systém kombinován z možností níže. Vše záleží na velikosti výstřiku a umístění vyhazovačů. Vyhazovače musí být důsledně navrženy tak, aby nedocházelo k poškození výstřiku ve formě otlačenin, prasklin a otěrek. Jak vypadá vyhazovací mechanismus lze vidět na obrázku č. 21 a 22.

➤ **Možná provedení vyhazovacích systémů:**

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků
- vyhazování pomocí stíracích kroužků
- vyhazování pomocí stíracích desek
- vyhazování pomocí trubkového vyhazovače
- vyhazování pomocí stlačeného vzduchu



Obr. 21 Obrázek vyhazovacího mechanismu (1. výstřik, 2. vyhazovače) [19]



Obr. 22 Řez vstříkovací formou (1. výstřik) [19]

Tab. 4 Doporučené materiály při výrobě součástí vstřikovací formy [19].

Označení materiálu	Základní vlastnosti	Doporučené použití
1. 0577	Základní konstrukční ocel dobrá svařitelnost, nekalená	Obyčejné díly formy bez požadavku na vyšší mechanické vlastnosti
1. 1730	Nástrojová ocel desková ocel	Netvrzené díly forem a přípravků, upínací desky forem, rozpěry
1. 2083	Prokalitelná ocel Částečná korozivzdornost, legovaná, vhodná k leštění	Vložky dutiny forem, tvarové desky
1. 2085	Nástrojová ocel předtvrzená, korozivzdorná, dobrá obrobitelnost, legovaná	Korozně odolné díly forem- vložky apod.
1. 2162	Ocel k lokálnímu kalení legovaná	Desky forem
1. 2210	Za studena obráběná ocel Odolnost proti opotřebení	Jádrové kolíky, malé soustružené díly
1. 2311	Nástrojová ocel legovaná a předtvrzená, vhodná pro nitridování a leštění	Desky forem, vložky a mechanicky namáhané díly
1. 2312	Nástrojová ocel legovaná a předtvrzená, dobrá obrobitelnost, legovaná	Desky a díly vysoce mechanicky namáhané
1. 2316	Nástrojová ocel předtvrzená, korozivzdorná vhodná pro leštění	Díly forem pro korozivní polymery
1. 2738	Nástrojová ocel předtvrzená ocel s rovnoměrnými i mechanickými vlastnostmi	Velké desky s hlubokými dutinami např. pro formy na nárazníky či přístrojové desky
1. 7131	Ocel k lokálnímu kalení legovaná	Vodící elementy a jádra
1. 2379	Ocel k prokalení rozměrová stálost, vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení, dobrá obrobitelnost	Desky forem, vložky

## 5 VADY VÝSTŘIKU [4, 5, 8, 20, 21]

Vada zahrnuje každou odchylku, kterou se výstřík (výrobek) liší od požadovaného standardu schváleného zákazníkem (zákaznická specifikace). Tvar je dán výkresem a 3D modelem, se kterým se výstřík porovnává. Jednotlivé odchylky mohou nastat u tvarů, rozměrů, hmotností, vzhledů nebo jejich mechanických a fyzikálních vlastností.

Tyto odchylky (vady) lze rozdělit do 4 skupin, které popisovala norma ČSN 640052:1976, která již není platná a není ani nahrazena:

- **Všeobecně přijatelné**

Nemají vliv na životnost a funkci výrobku, např. nedostatečný lesk.

- **Omezeně přijatelné**

Neovlivňují využití výrobku, pokud jejich velikost a množství nepřekročí hranici dohodnutou se zákazníkem. Mezi ně patří např. cizí vměstek nebo studený spoj.

- **Opravitelné vady**

Mezi ně patří vady, které lze opravit po domluvě se zákazníkem a nedojde k ovlivnění použitelnosti výrobku např. přetoky v dělicí rovině.

- **Nepřijatelné vady**

Nelze je opravou eliminovat tak, aby nedošlo k narušení použitelnosti. Mezi tyto vady patří např. deformace tvaru výstříku nebo trhliny.

### 5.1 Vady, které mohou nastat při výstříku [4, 5, 8, 20, 21]

Vady, které vznikají při výstříku lze rozdělit do 3 hlavních skupin:

#### 5.1.1 Vady zjevné [4, 5, 8, 20, 21]

Jsou to vady, které lze zjistit vizuálním pozorováním a porovnáváním se schváleným referenčním dílem, mezi tyto vady patří:

- **Vady tvaru**

- nedostříklé, nedoplněné, neúplné výstříky
- přetoky a otřepy na výrobku, hlavně v místech dělicí roviny
- propadliny a vtaženiny, hlavně v místech napojení žeber a na základní stěně
- zvrásnění nebo zvlnění povrchu výstříku
- deformace výstříku z důvodu nerovnoměrného nebo rozdílného lokálního smrštění

- **Vady povrchu**

- Změna barvy povrchu výstříku, nebo vznik jiných odstínů
- Velký nebo nižší lesk povrchu výstříku, lokální rozdíly lesku, skvrny
- Povrchové zakalení nebo opalescence
- Stříbření způsobené vlhkostí granulátu, nebo degradace aditiv
- Jemné rýhování, tvorba pórovitého povrchu výstříku

- Tvorba mikro trhlin a povrchu výstřiku, zapříčené vnitřním pnutím
- Stopy po vtokových čarách, primárně v oblasti okolí ústí vtoku
- Delaminace, rozvrstvování
- Změna barvy materiálu (žlutá až hnědá) z důvodu teplotní degradace materiálu

### 5.1.2 Vady skryté [4, 5, 8, 20, 21]

Vady, které nelze odhalit pouhým okem, ale ovlivňují vlastnosti výrobku a jeho kvalitu. Lze je objevit vhodnými zkušebními zařízeními, nebo laboratorními zařízeními. Některé z těchto zařízení vzorky poškodí (destruktivní zkoušky). Mezi skryté vady se řadí:

- Nerovnoměrná orientace makromolekul objevující se převážně v místech ústí vtoku a užších profilech výstřiku. Projevuje se například vyšší anizotropií fyzikálních a mechanických vlastností výstřiku, nebo zvýšením vnitřního pnutí a deformacemi. A to jsou:
  - Vnitřní pnutí způsobené tepelně-mechanickým namáháním vstříkovaného materiálu.
  - Studené spoje – místa, kde dochází ke snížení mechanických vlastností výstřiku.
  - Vakuové bubliny (lunkry) nebo vnitřní dutiny plněné vzduchem či zplodinami vzniklými při vstříkování.
  - Vzduch nebo plyn uzavřený při tuhnutí taveniny mezi tekoucími proudy hmoty.
  - Zvýšená křehkost materiálu znatelná například při rázovém namáhání, způsobená špatnými technologickými podmínkami, které mají vliv na výši nerovnoměrnosti orientace makromolekul a na vnitřní pnutí nebo na vady povrchu. Ty iniciují porušení materiálu.

### 5.1.3 Vady vzniklé při vlastním vstříkování [4, 5, 8, 20, 21]

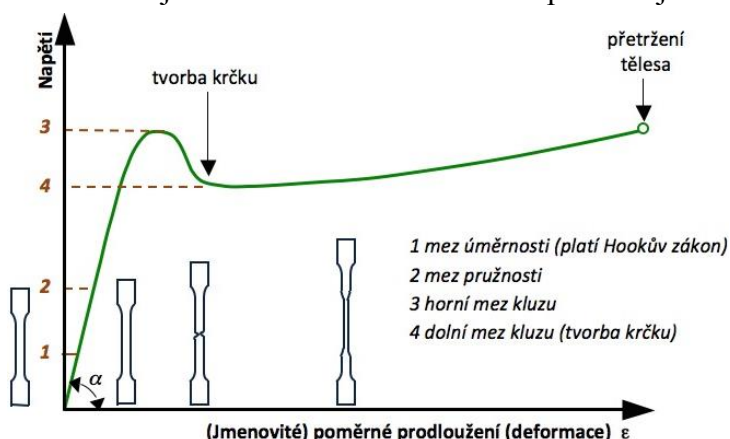
- Deformace výstřiku při jeho vyjmutí vyhazovacím mechanismem z dutiny formy
- Stopy po dotyku s vyhazovači
- Vytahování vlákna a vlasu z trysky vstříkovací jednotky
- Samovolné uvolňování vstříkovaného materiálu z trysky vstříkovací jednotky
- Tvorba studené kapky v místě ústí vtoku horké trysky horkého kanálu
- Vrypy, otláčeniny na vtokové vložce vstříkovací formy
- Horší dosed trysky na vtokovou vložku vstříkovací formy
- Horší vyjmutí vtokového kůlu (studený vtok) z vtokové vložky
- Špatná funkce zpětného kroužku šneku – neudržení polštáře

## 6 ZKOUŠKY HODNOTÍCÍ MECHANICKÉ VLASTNOSTI [4, 8, 22, 23, 24]

Většina zkoušek spočívá v deformačním namáhání měřeného tělesa v tahu, ohybu, tlaku, krutu nebo smyku. Výsledky při těchto druzích namáhání jako je třeba síla, rychlost, průřez a velikost deformací musí být navzájem závislé tak, aby je bylo možné graficky vyhodnotit. V dnešní době existují již natolik moderní měřicí zařízení, které tyto výsledky automaticky vyhodnotí, vykreslí nebo například vytvoří grafické simulace. Všechny tyto zkoušky musí být reprodukovatelné, tudíž se musí používat postup, který je dán normami pro danou zkoušku. Dále existují zkoušicí zařízení, která dokážou počítat a vyhodnocovat postupné cyklické namáhání nebo deformace. Lze sem zařadit i matematický popis mechanického chování plastu, který je kombinací napětí, deformace, času a teploty. Ve většině případů je nejvýznamnější kombinace teploty a času. Zkoušky hodnotící mechanické vlastnosti dělíme na:

- **Statické tahové zkoušky**

Pomocí těchto zkoušek se vyhodnocují nejzákladnější mechanické charakteristiky, mezi které patří tahové charakteristiky plastů. Pokud je zkušební těleso namáháno pouze v jedné ose, je možné průběh deformace sledovat na tvaru deformační křivky, viz obr. č. 23. Při této zkoušce je zkušební těleso uchyceno do čelistí měřicího zařízení a poté tahově namáháno do doby přetržení vzorku. Následně je vyhodnocena síla pro přetržení vzorku.

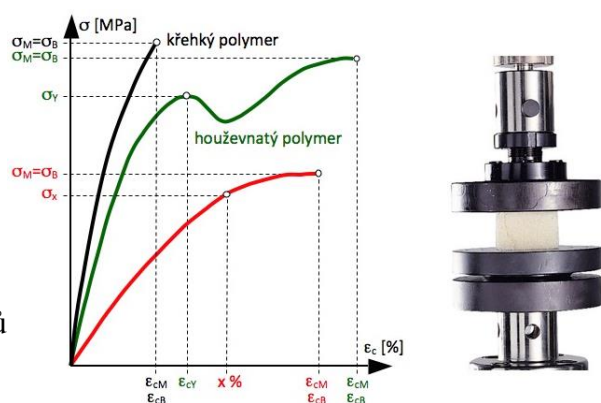


Obr. 23 Deformační křivka pro semikrystalické termoplasty [8]

- **Statické tlakové zkoušky**

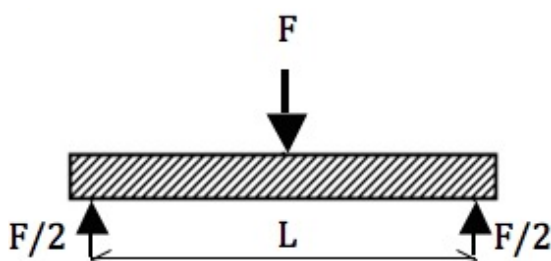
Určují tvrdost materiálu vůči tlakovému namáhání. Těleso ve tvaru válečku trubky, pravoúhlého hranolu nebo kolečka, je vloženo mezi tlakové desky měřicího zařízení (viz obr. 24). Při měření působí desky tlakovou silou na měřicí těleso a průběh je graficky vyhodnocován ve formě deformačních křivek.

Obr. 24 Deformační křivky polymerů v tlaku a tělesa mezi tlačnými deskami [8]

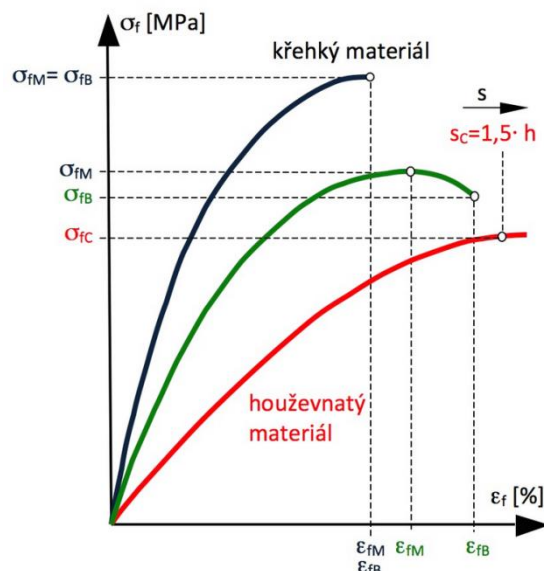


- **Statické ohybové zkoušky**

Tyto zkoušky se provádí při možném ohybovém namáhání plastové součásti. Většinou se provádí u plastových nosníků nebo střešních konstrukcí, které na toto namáhání trpí. Jako měřící tělesa se používají hranoly, které jsou umístěny na dvě podpěry v předepsané vzdálenosti, a poté je měřící těleso zatíženo silou uprostřed své délky mezi podpěrami, viz obr. 25. Průběh zatížení je opět vykreslen ve formě deformačních křivek, viz obr. 26.



Obr. 25 Tříbodový ohyb [8]



Obr. 26 Deformační křivky v ohybu [8]

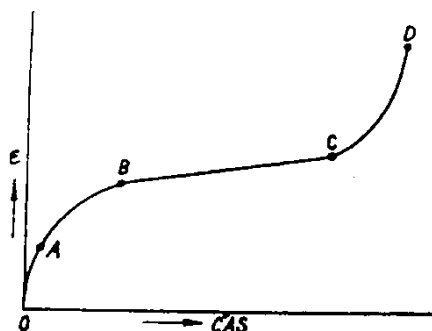
- **Statické zkoušky tvrdosti**

Měří se při nich odpor materiálu proti vtačování cizích těles, které mají formu hrotů definovaných tvarů za stanovených podmínek, do povrchu zkušební tělesa. Nejčastější tvary vtačovaných těles jsou kuličky, jehly, kužely a komolé kužely. Měřena je hloubka vniknutí měřícího hrotu při konstantní síle. Mezi tyto zkoušky patří například tvrdost podle Brinella, Vickerse nebo Shoreho.

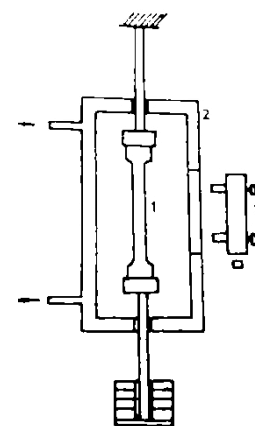
- **Statické krípkové zkoušky**

Vznikly za účelem sledování dlouhodobého chování polymerů při působení mechanického napětí nebo deformace. Důvodem bylo, že plasty se za normálních teplot svojí vlastní tíhou deformovaly, tato nežádoucí vlastnost se nazývá kríp (tečení). Zkouška probíhá tak, že jeden konec měřícího tělesa je uchycen a druhý je zatěžován konstantní silou a sleduje se zmenšení průřezu v určitých časových intervalech zkoušku (lze vidět na obrázku 27).

Z naměřených hodnot se poté vytvoří tzv. krípková křivka, která je vidět na obr. 28.



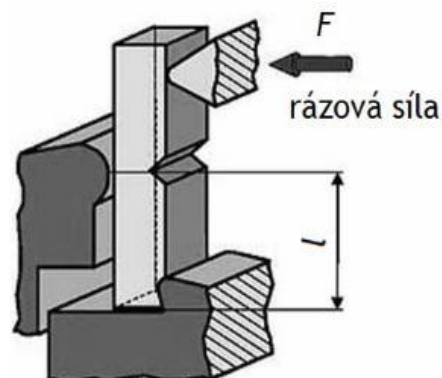
Obr. 27 Obecná krípková křivka [22]



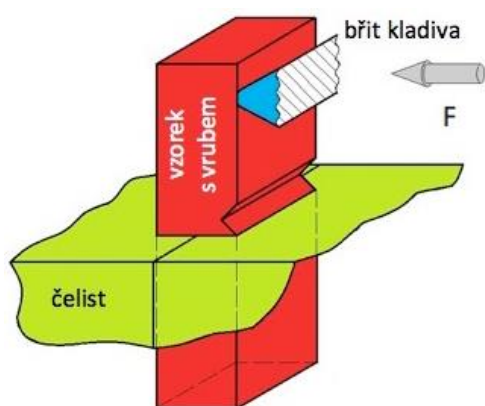
Obr. 28 přístroj pro stanovení krípkových křivek [22]

- **Dynamické zkoušky rázové a vrubové houževnatosti**

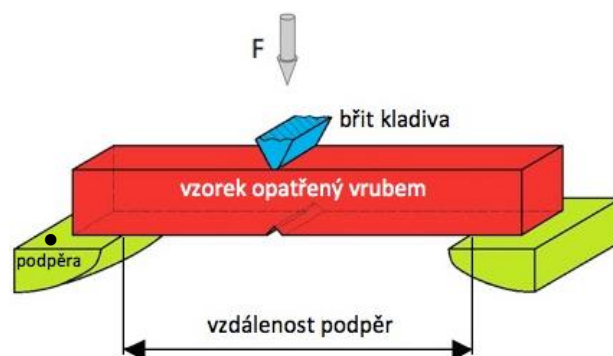
S pevností patří houževnatost mezi nejdůležitější materiálové charakteristiky. V tomto směru houževnatost představuje vlastnost, která souvisí primárně se schopností materiálu odolávat šíření trhlin a iniciaci, tudíž s lomovou houževnatostí daného materiálu. K určení houževnatosti se používají dynamické zkoušky, při kterých dochází k rychlým změnám sil působením rázu. Jsou rozděleny podle způsobu namáhání, nejčastěji je to ohyb, tah, tlak a krut. Mezi tyto zkoušky patří například Charpy (obr. 30), Izod (obr. 29), Dystant (obr. 31) nebo pomocí padajícího závaží.



Obr. 31 Průběh rázové zkoušky Dystant [8]



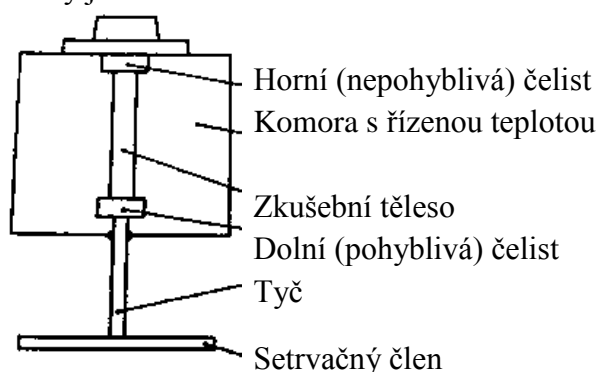
Obr. 29 průběh rázové zkoušky Izod [8]



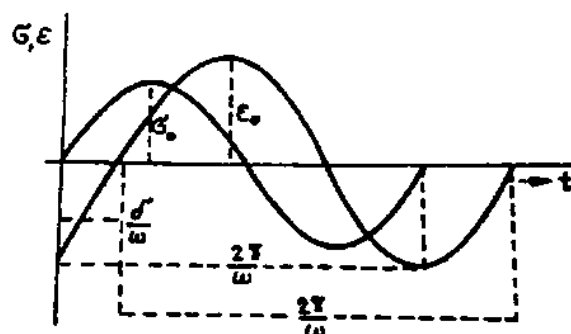
Obr. 30 Průběh rázové zkoušky Charpy [8]

- **Dynamické zkoušky pro stanovení dynamických veličin**

Tyto zkoušky patří mezi nedestruktivní, a pracují s cyklicky dynamickým zatížením. Při průběhu těchto zkoušek je zkušební těleso namáháno periodicky silami ve velice krátkém čase. Většina dynamických zkoušek má sinusový průběh viz obr. 32. Působením napětí se zatěžující těleso deformuje a ztrácí energii v podobě tepla a v každém cyklu je průběh v podobě sinusové křivky posunut o ztrátový úhel. Měření probíhá pomocí torzního kyvadla, který je na obrázku 33.



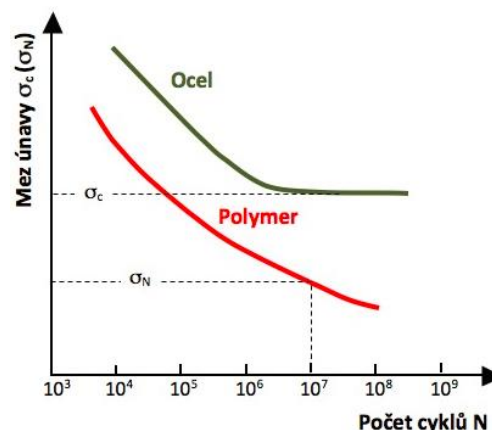
Obr. 33 Torzní kyvadlo [22]



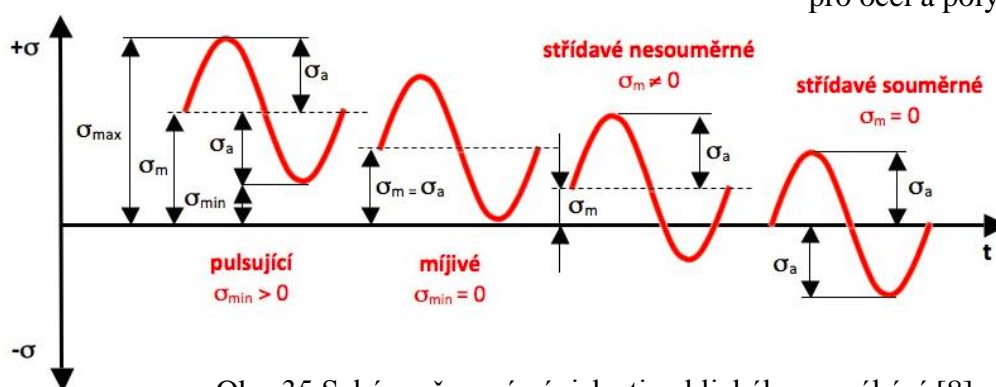
Obr. 32 Závislost cyklického napětí a deformace v jednom cyklu [22]

- **Zkoušky dynamické únavy**

Důvodem těchto zkoušek je proměnné dynamické namáhání některých plastových dílů, při kterém může dojít k porušení materiálu. Tato porucha nebo nežádoucí vlastnost se nazývá únava materiálu. Dochází při ní k dlouhodobému statickému namáhání nebo proměnlivému namáhání, které má za následek poškození materiálu při relativně nižších napětích než je udávána mez pevnosti. Druhy namáhání a jejich průběhy jsou vyobrazeny na obr. 35. Výdrž materiálu je dána mezí únavy, které těleso odolává po určitou dobu cyklického namáhání. Za mez únavy je považována smluvní hodnota, např.  $10^6$  cyklů lze vidět na obr. 34.



Obr. 34 Obecná Wöhlerova křivka pro ocel a polymer [8]



Obr. 35 Schéma časové závislosti cyklického namáhání [8]

## 6.1 Zkoušky hodnotící tepelné vlastnosti [4, 8, 22, 23, 24]

Mezi zkoušky vyhodnocující tepelné vlastnosti plastů se řadí zejména materiálové tepelné konstanty. Mezi ty patří například měrné teplo, teplotní a tepelná vodivost a objemová roztažnost. Teplota má vliv i na jejich mechanické a deformační vlastnosti. Odolnost materiálu není možné přesně definovat, a proto se provádí tepelné zkoušky, mezi které patří níže uvedené.

- **Zkoušky pro stanovení tepelných konstant**

Při těchto zkouškách dochází k určení několika tepelných konstant, mezi které patří například měrné teplo, součinitel teplotní vodivosti, nebo tepelné vodivosti a délkové teplotní roztažnosti.

Měrné teplo lze měřit tak, že je zkušební vzorek ve formě granule nebo zrna při určité teplotě umístěn do kalorimetru (Régnaultův nebo Dewarův) naplněného předem určenou kapalinou. Po vyrovnání teplot tělesa s kapalinou uvnitř kalorimetru dojde ke změření výsledné teploty.

Součinitel teplotní vodivosti je měřen tak, že zkušební těleso ve tvaru válce nebo hranolu s termočlánkem uvnitř, je vloženo do termostatu s temperační lázní a je měřen průběh teploty středu zkušebního tělesa.

Součinitel tepelné vodivosti se stanovuje více metodami, a to metodou válce, koule, desky apod. Nejčastěji je používána metoda desek, kde je těleso vloženo mezi dvě desky s ustálenými teplotami a měří se kolmý průtok tepla zkušebním tělesem daných rozměrů.

Součinitel délkové teplotní roztažnosti je v podstatě přírůstek délky zkušebního tělesa vlivem zvýšení jeho teploty v daném rozmezí. Zkušební tělesa jsou buď kruhového, nebo pravoúhlého průřezu délky minimálně 50 mm. Měření probíhá v temperační komoře nebo v laboratorních sušárnách s měřicími systémy.

- **Zkoušky pro stanovení odolnosti vůči nízkým teplotám**

Plast musí mít odolnost vůči nízkým teplotám, je to jejich schopnost, kterou musí materiál vydržet při mechanickém namáhání při nízkých teplotách. Plasty při prudké změně teploty mění své mechanické a fyzikální vlastnosti. Při ochlazování dochází napřed k tuhnutí a později k přechodu na zesklnění. Tyto vlastnosti jsou zkoušeny dvěma metodami:

- Stanovení odolnosti plastů proti nízkým teplotám

Při této zkoušce lze použít dvě metody a to metodu ohybem nebo provlečení přes průvlak. Jako zařízení se používá kyvadlo a jako zkušební těleso se použije destička s tlouškou 1 - 3 mm. Přesně rozměry, tvary a počty jsou dány metodou, která se zvolí. Poté je těleso upnuto do čelistí a je ponořeno do chladicího média (láh s pevným oxidem uhličitým) a dochází k postupnému ochlazování a při každém teplotním skoku se těleso odzkouší, při navyšování prasknutých těles vlivem stále nižší teploty dojde k zaznamenání a vyhodnocení kritické teploty.

- Stanovení teploty křehnutí při ohybu

Principem této zkoušky je ohyb tělesa do 90° úhlu, při kterém má dojít k zanedbatelné deformaci a ke křehkému lomu. Zkušební těleso je ve tvaru pásku o daných rozměrech a je upnuto do upínacího přípravku a vloženo do chladicí komory s danou počáteční teplotou, která dosahuje hodnot teploty křehnutí, při které se těleso ohne. Poté se teplota zvyšuje nebo zmenšuje a hledá se teplota, při které se těleso neporuší a pak teplota, při které se těleso poruší. Výsledkem je hodnota teploty křehnutí.

- **Zkoušky pro stanovení odolnosti vůči vysokým teplotám**

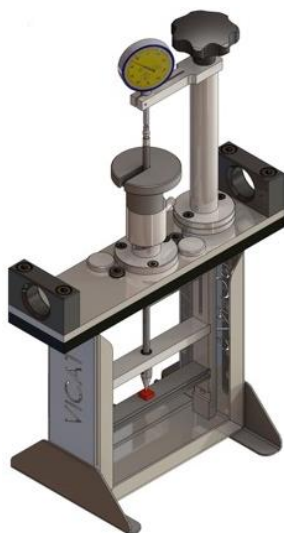
Každý plast má určitou tepelnou odolnost, kterou je schopen odolávat zvýšeným teplotám a působení tepla. Každý plast je charakterizován svojí teplotou použití. Tepelnou odolnost vůči vyšším teplotám lze měřit více metodami, které jsou:

- Tepelná odolnost podle Vicata

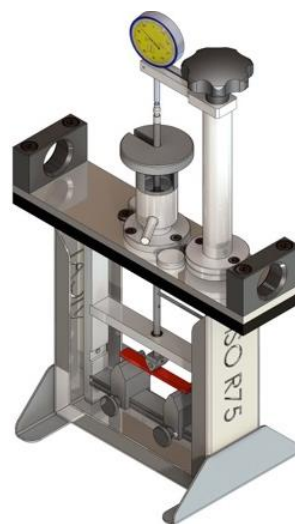
Spočívá v průniku hrotu (jehly s plochým hrotem) do měřicího tělesa umístěného v tepelném médiu, do hloubky 1 mm. Poté se odečítají hodnoty láně ze stupnice teploměru a jejich aritmetickým průměrem vyjde výsledná teplota. Přípravek lze vidět na obrázku 36.

➤ Tepelná odolnost podle ISO/R75

Touto zkouškou se stanoví teplota, při níž se dosáhne k předepsanému smluvnímu průhybu zkušební tělesa, jako zkušební těleso se používá pravoúhlý hranol daných rozměrů. Při této zkoušce se okolní medium zahřívá tak aby ponořené zkušební těleso dosáhlo při průhybu smluvních hodnot. Zařízení lze vidět na obrázku 37.



Obr. 36 Přípravek pro měření teploty měknutí dle Vicata [8]



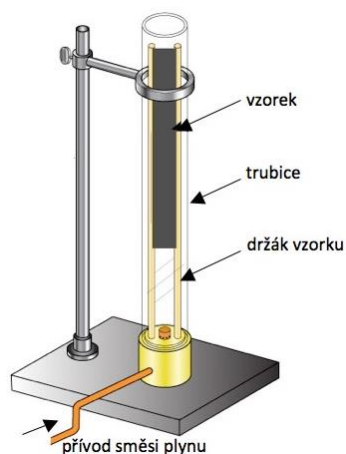
Obr. 37 Přípravek pro měření teploty průhybu při zatížení [8]

• Zkoušky hořlavosti

Hořlavost je vlastnost plastu umět hořet. Zkoušky této schopnosti se provádí více metodami. Vše záleží na druhu plastu a charakteru výrobku. Zkoušky simulují, co plast udělá při požáru, záleží také na průmyslovém odvětví, ve kterém se plasty objevují a v jaké formě. Plasty jsou poté chemicky upravovány a jsou do směsi přidány aditiva (retardéry hoření) aby při počátku hoření plast nevzplál. Používá se celá řada metod, ale nejvíce využívané jsou metody stanovení kyslíkového čísla OI a metody UL-94.

➤ Metoda stanovení kyslíkového čísla OI

Podstata zkoušky spočívá v určení nejmenší koncentrace kyslíku v proudu směsi dusíku s kyslíkem. Při této zkoušce je zkušební těleso upevněno vertikálně a zapalované na horním povrchu lze vidět na obrázku 38. Měří se doba, po které je těleso páleno a poté se hodnota porovná s limitní hodnotou.



Obr. 38 Zařízení pro stanovení kyslíkového čísla [8]

### ➤ Metoda UL-94

Při této zkoušce je těleso ve tvaru pravoúhlé tyče na jednom konci upevněno. Poté je na neupevněném konci zkušební těleso vystaveno žáru plamene. Plamen je regulován na výšku 25 mm a působí po dobu 30 s. Měří se, zdali těleso vzplane a v jakém čase plamen dosáhne vyznačených bodů na měřícím tělese. Poté je těleso zařazeno do různých skupin např. skupina 94 HB, to znamená, že rychlost spalování je menší nebo rovna 38,1 mm/min nebo je dráha spálení menší než 102 mm. Obrázek zařízení lze vidět na obrázku 39.



Obr. 39 Zařízení pro stanovení hořlavosti dle UL-94 [8]

## 6.2 Zkoušky hodnotící elektrické vlastnosti [4, 8, 22, 23, 24]

Plast jako takový je nevodivý a patří mezi velice dobré elektrické izolanty. Jejich schopnost akumulovat elektrickou energii formou potenciální energie se vyjadřuje dielektrickou permitivitou. Pro změření různých elektrických vlastností se používají zkoušky:

- **Zkoušky pro stanovení vnitřního a povrchového izolačního odporu**

Při této zkoušce se stanovují veličiny, jako jsou vnitřní izolační odpory, rezistivity a povrchové izolační odpory a rezistivity. Princip měření spočívá ve měření proudu protékajícím mezi dvěma elektrodami, které jsou přiloženy ke zkušebnímu tělesu. Elektrodami protéká stejnosměrný proud s daným napětím. Vnitřní a povrchový odpor je měřen buď (metodou voltampérovou), nebo porovnávací (Wheatstonova můstku) a (metodou ampérovou).

- **Zkoušky pro stanovení ztrátového činitele a permitivity**

Při této zkoušce se jde primárně o vyrovnání ztrát obvodu s kondenzátorem, jehož dielektrikum tvoří zkušební materiál, dále ztrát obvodu s porovnávacím kondenzátorem. Je mnoho zapojení například Scheringův, transformátový nebo paralelní T-můstek.

- **Zkoušky pro stanovení elektrické pevnosti**

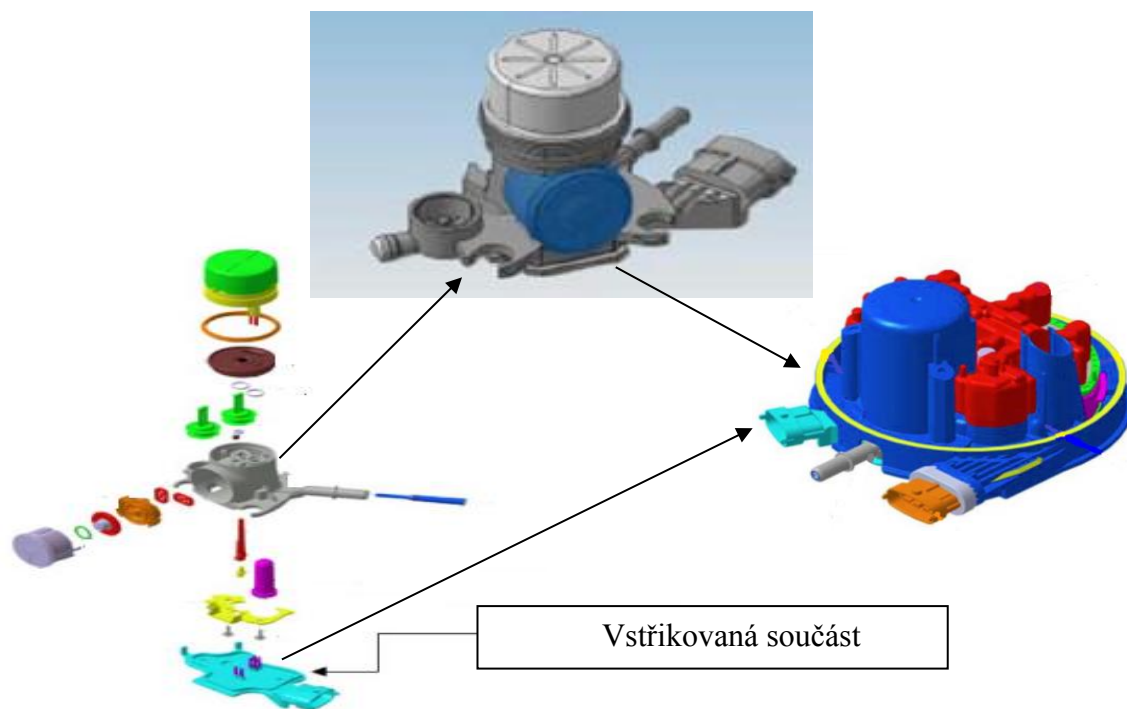
Měří se při ní elektrická pevnost, která spočívá v dosažení hodnoty určitého elektrického napětí, kde plast ztrácí izolační vlastnosti a při niž dochází ke vzrůstu elektrické vodivosti. Zkouška probíhá tak, že je zkušební těleso tvaru čtverce vloženo mezi elektrody (deskové, trubkové, válcové) a je podrobena zvyšujícímu se napětí do doby tzv. průrazu.

- **Zkoušky pro stanovení odolnosti vůči elektrickému oblouku**

Průběh zkoušky pojednává o vystavení zkušebnímu tělesu účinku obloukového výboje, nízkého proudu a vysokého napětí po dobu maximálně 7 minut. A je měřena doba kdy se těleso poškodí. Zkušební tělesa jsou ve formě tyček nebo destiček a jsou položeny na elektrody a je do nich vpuštěn proud. Měřena je doba při, které dojde k poškození vzorku

## 7 POPIS SOUČÁSTI

Vyráběný díl je součástí sestavy dávkovacího zařízení Adblue do motoru (obr. 40). Celá sestava se po zhotovení montuje do nádrže automobilu a funguje jako pumpa pro čerpání paliva. Celkový výrobní objem součásti je stanoven na 1800000 ks/rok, proto jako výrobní technologie byla zvolena technologie vstřikování, která byla požadována zákazníkem. Vstříkovaný díl, plní v sestavě pouze funkci vedení signálu díky kovovým záliskům.

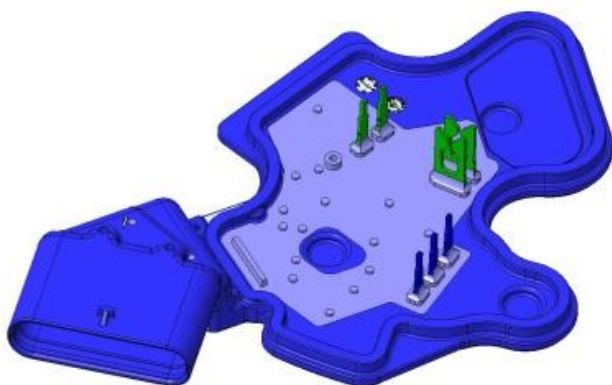


Obr. 40 Schéma sestavy

### 7.1 Rozbor vstříkované součásti

Vstříkovaná součást je složena ze dvou operací. První operace je předvstřík (viz obr. 43 a 44), který má jako vstupní materiál RADILON A RV300K 333BK, což je obchodní označení a jedná se o PA66 s 30 % skelných vláken černé barvy. Materiál je vhodný pro díly s vysokou tuhostí, dobrou mechanickou odolností a je odolnější vůči stárnutí. Dále se skládá ze zálisků (viz obr. 45 a 46) materiálu CuSn6 R350, které jsou vyráběny externě, ale v budoucnu bude výroba součástí automatické linky. Druhou operaci tvoří hlavní vstřík (viz obr. 41 a 42), který je složen z předvstříku a granulátu pod obchodním označením Grivory HTV 4x1 SW a jedná se o PPA (polyftalamid) se 40 % skelných vláken černé barvy. Materiál je vhodný do míst kde přijde do styku s vodou, má vyšší tepelnou stabilitu dobrou pevnost a velice dobrou chemickou odolnost. Finální díl musí splňovat dle požadavku zákazníka test čistoty, vysokonapěťový test, test těsnosti a mechanický test (ulomení západky a zasunutí protikusu do konektoru).

Hlavní vstřík



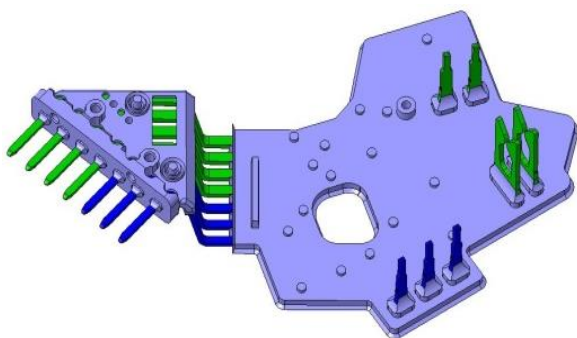
Obr. 41 3D model hlavního vstříku

Granulát  
Grivory HTV 4x1



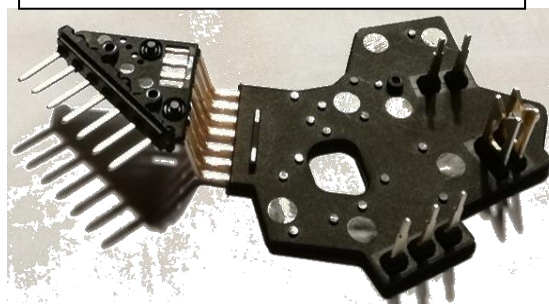
Obr. 42 Reálný kus hlavního vstříku

Předvstřík



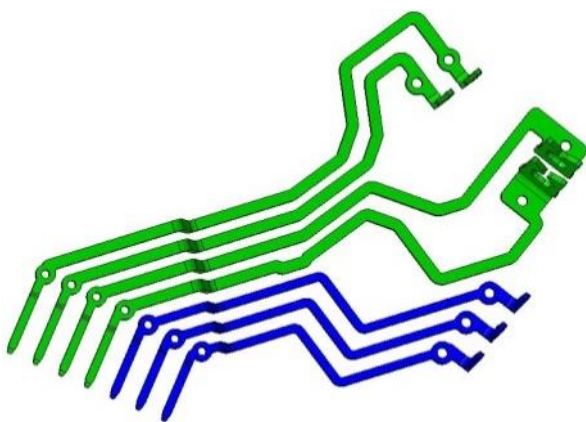
Obr. 43 3D model předvstříku

Granulát  
RADILON A RV 300 K 333



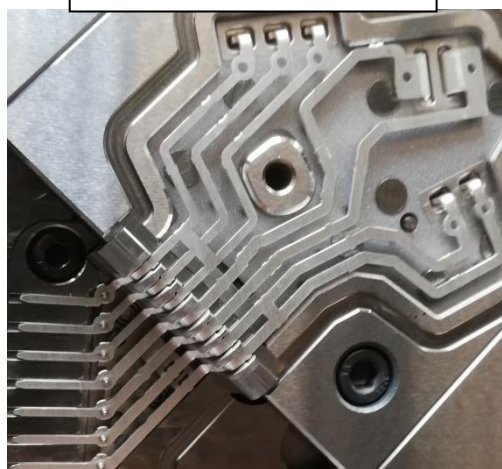
Obr. 44 Reálný kus předvstříku

Zálisky



Obr. 45 3D model předvstříku

Materiál CuSn6 R350



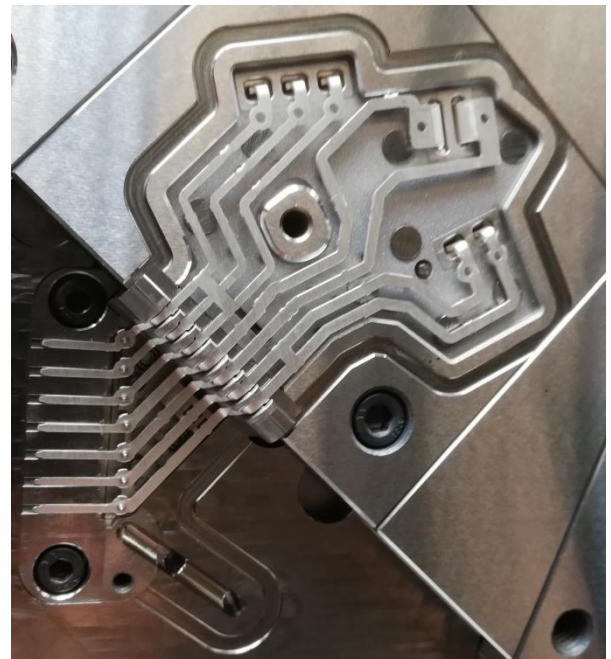
Obr. 46 Pohled na založené zálisky  
ve vstříkovací formě

## 8 PŘEDVSTŘÍK

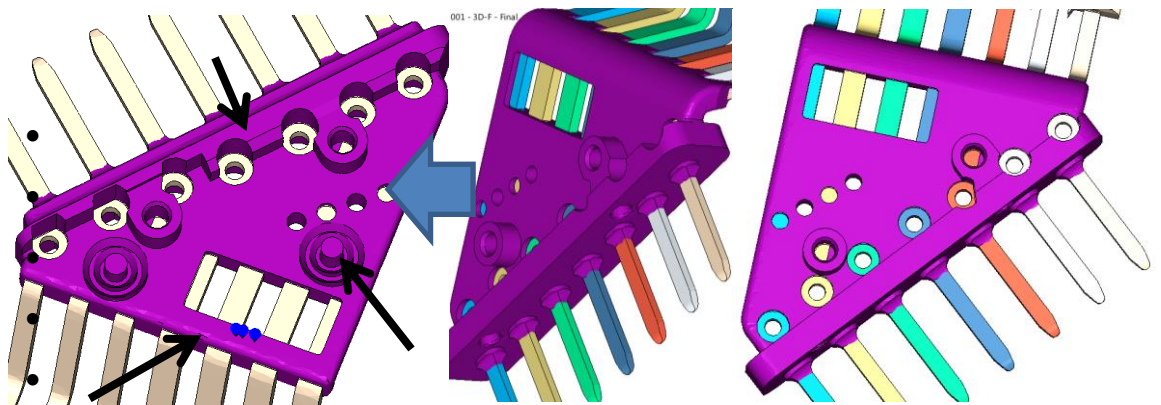
První forma byla vyrobena na základě simulace, kterou provedla mateřská firma v Německu. Při těchto simulacích byly odladěny základní deformace tvaru a byla vytvořena prototypová forma. Tato prototypová forma byla pouze jedno kavitová se dvěma spodními díly. Byla určena pro stroj Battenfeld 600 s vertikální vstřikovací jednotkou. To znamená, že je možnost v čase vstřikování do jedné části spodní formy zakládat ručně zálisky do druhé části spodní formy. Forma je v tuto chvíli odladěná a splňuje požadavky zákazníka pro malosériovou výrobu s maximálním ročním objemem výroby 90.000 ks. Pro sériovou výrobu s objemem 1.800.000 ks/rok byla na základě předsériové formy vytvořena forma čtyřnásobná a je určena pro stroj Arburg 470S horizontál pro velkou sérii. Tato forma má na rozdíl od předsériové formy úpravu tvaru, což způsobuje problémy při procesu vstřikování. Změny tvaru lze vidět na obrázku 49. Do sériové formy jsou momentálně zálisky zakládány ručně v budoucnu budou zálisky vkládány do formy šestiosím KUKA robotem který i následně odebere hotové kusy. Tvarovou vložku vstřikovací formy lze vidět na obr. 48 a 47.



Obr. 47 Pohled na pevnou část formy



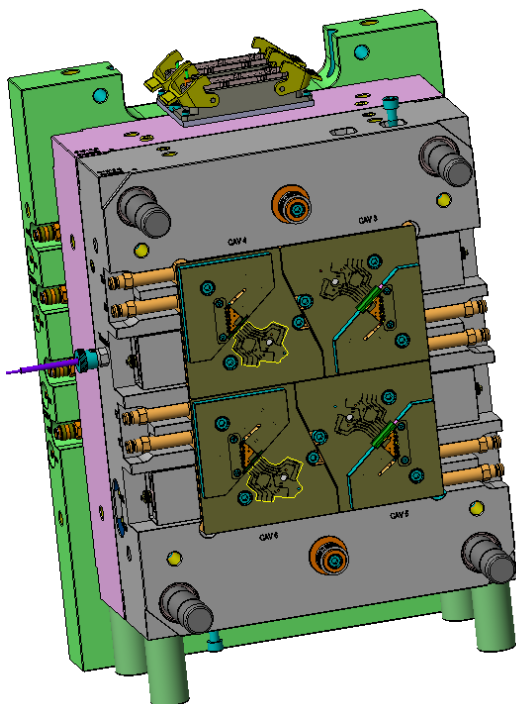
Obr. 48 Pohled na pohyblivou část formy



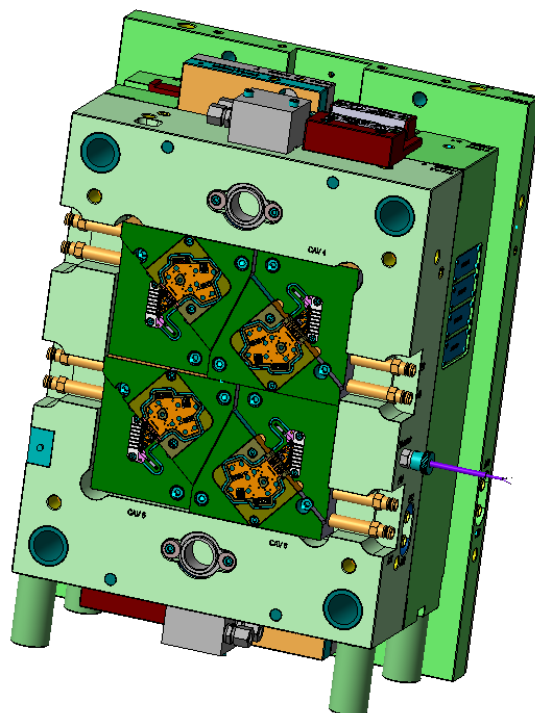
Obr. 49 Schéma úprav

- **Forma pro předvstřík**

Při odsouhlasení projektu, provedení základních simulací a kalkulací je vytvořena sériová forma, která je poslána se základním popisem funkcí do společnosti SWOBODA. Dokumentace slouží k pochopení funkčnosti vybavení formy a k jejímu připojení a nastavení na stroj. Na obrázcích 50 a 51 lze vidět spodní a vrchní část formy.

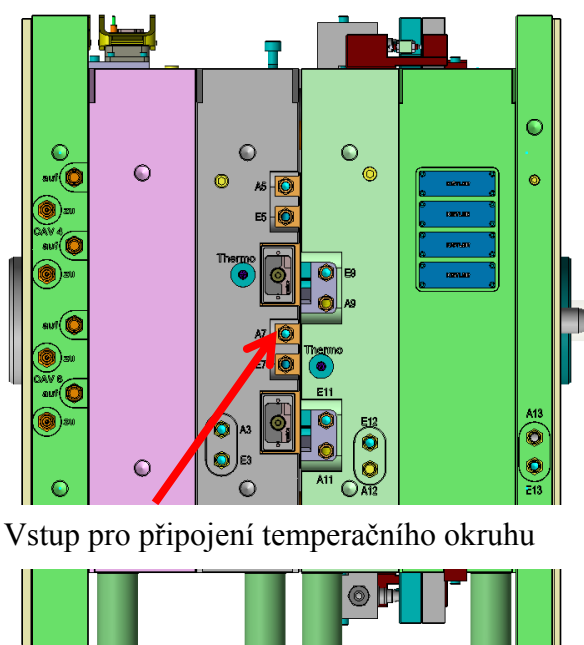
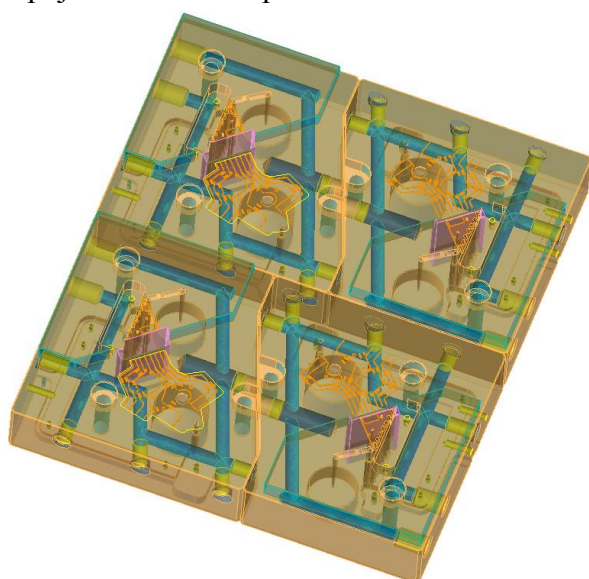


Obr. 50 Vrchní část formy



Obr. 51 Spodní část formy

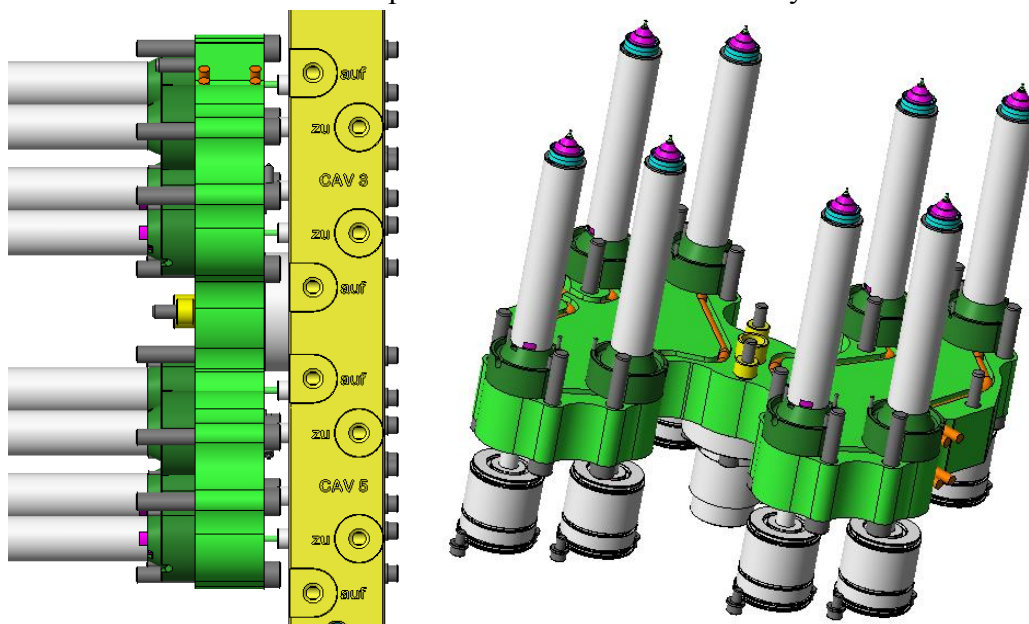
Na obrázku 52 lze vidět částečné navržení temperačních okruhů (kanálek) v blízkosti tvarových vložek, které slouží ke správnému napojení okruhů temperačního zařízení.



Vstup pro připojení temperačního okruhu

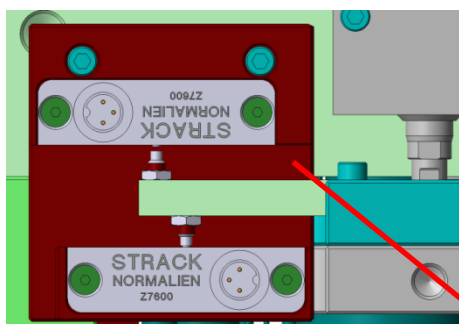
Obr. 52 Schéma temperačního systému formy

Na obrázku č. 53. lze vidět uspořádání a tvar vstřikovacích trysek horkého kanálu.

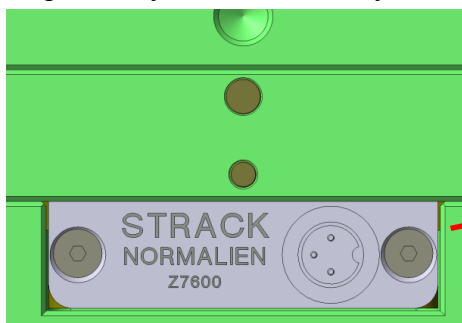


Obr. 53 Uspořádání a tvar trysek horkého kanálu

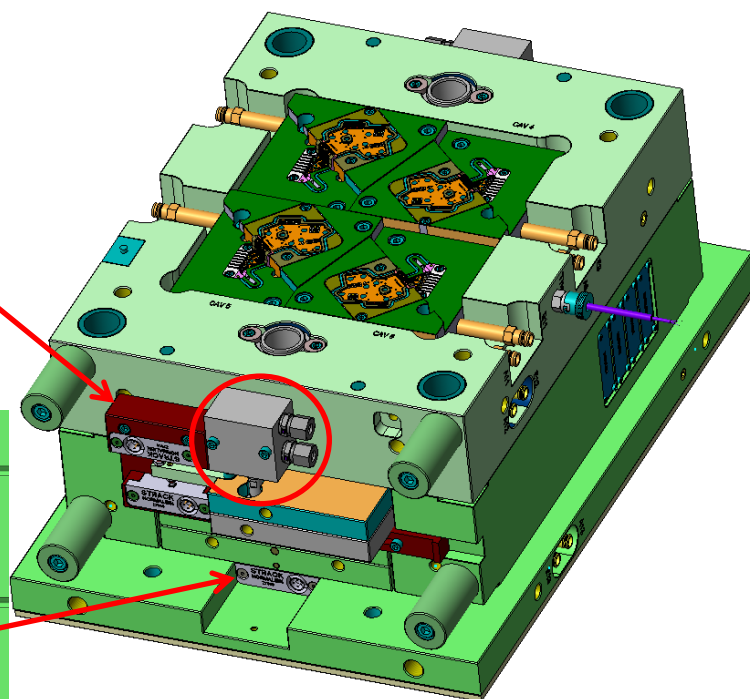
No obrázku č. 54 je označení připojení hydraulického systému, na obrázcích 55 a 56 jsou vidět detaily připojení polohových senzorů formy a polohových senzorů vyhazovače.



Obr. 55 Detaily připojení polohových senzorů formy.



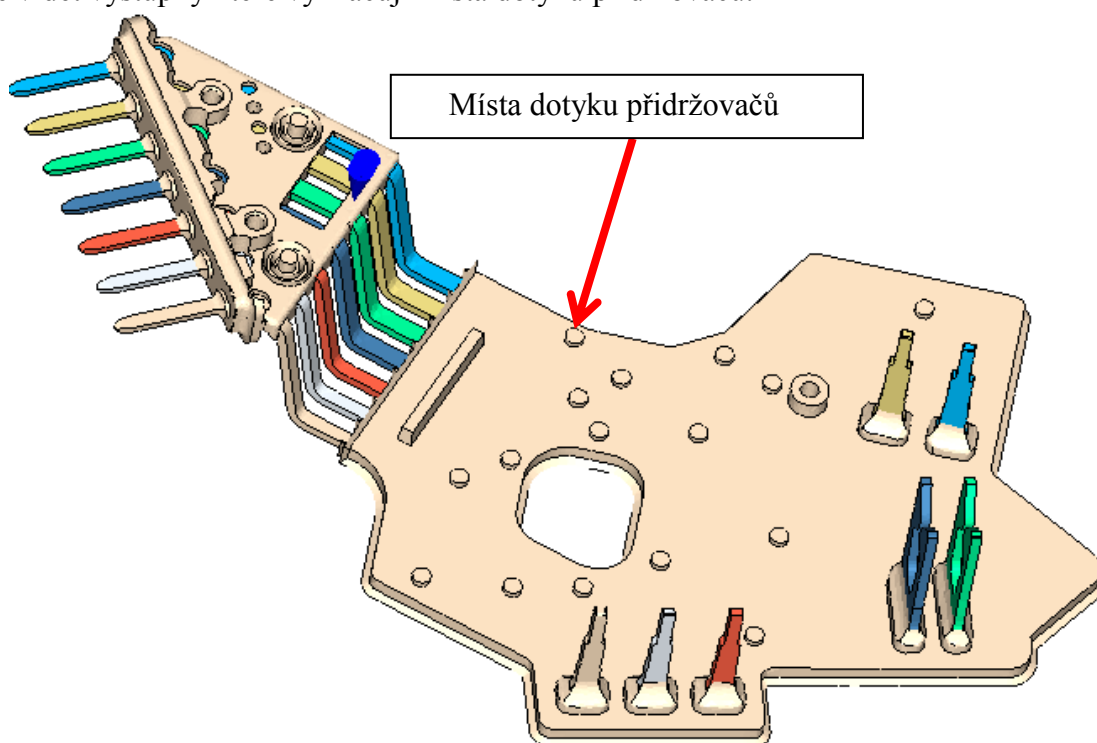
Obr. 56 Detaily připojení polohových senzorů vyhazovače.



Obr. 54 Formy s vyznačenou kostkou pro připojení hydrauliky

## 8.1 První testování formy

Při prvním odzkoušení funkčnosti formy a jejích komponent, je vstřikována první verze testovacích součástí. Při tomto testování je nutno vytvořit nový nastavovací plán. Důvodem je značný rozdíl mezi sériovou a předsériovou formou, která měla pouze jednu kavitu a byla navržena čistě pro ruční zakládání. Rozdíly jsou jak ve velikosti formy a umístění vtokové soustavy, ale i v některých funkcích vyhazovacího a přidržovacího systému. Přidržovací systém musí být velice pečlivě nastaven, (prozatím je nastaven na 0,8 sekund o počátku plnění, poté odjíždí). Má funkci přidržování pinů v dutině formy kvůli jejich pohybu při vstříknutí hmoty, která svou silou dokáže tyto piny vytlačit nebo vyosít. Na obrázku č. 57 lze vidět výstupky které vyznačují místa dotyku přidržovačů.



Obr. 57 Místa dotyku přidržovačů

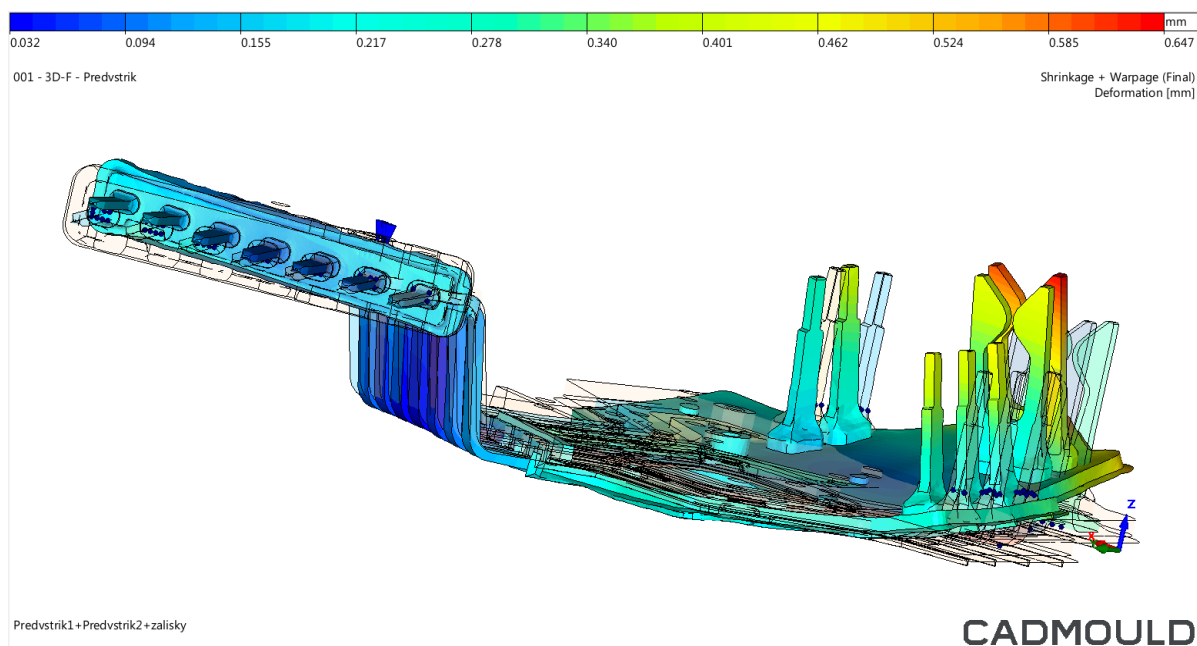
- **Nastavené parametry**

Tab.5 Parametry při procesu vstřikování předvstřiku.

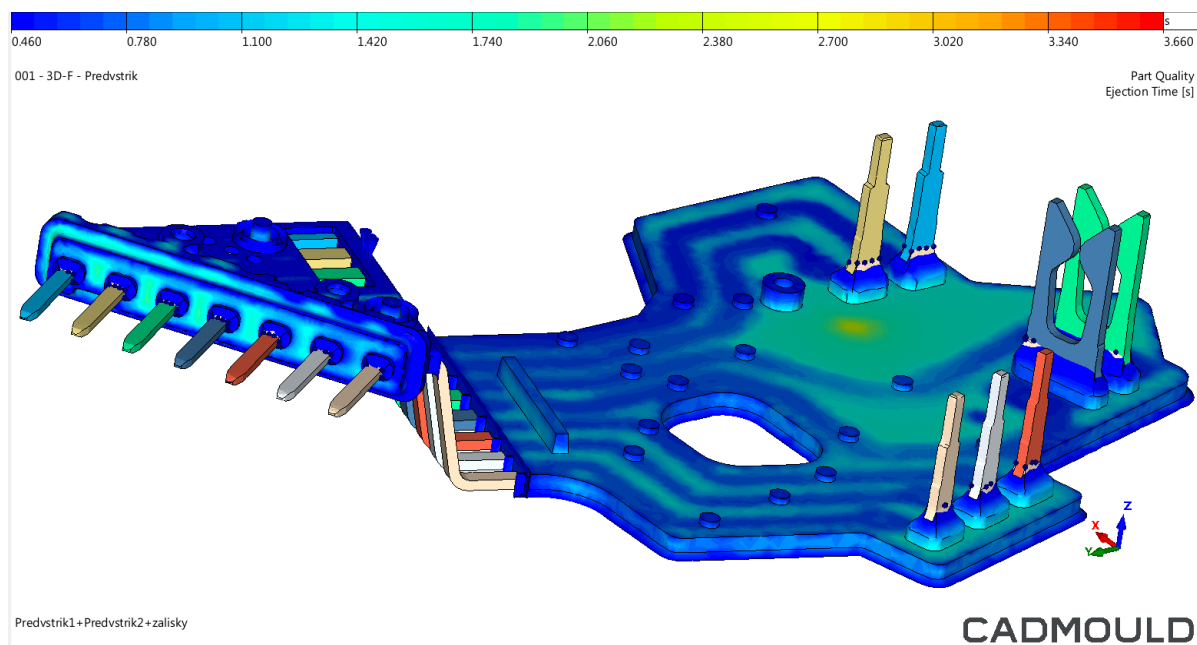
Název parametru	Hodnota parametru
Čas plnění	0,4 s
Teplota taveniny	290 °C
Teplota horkého kanálu	290 °C
Teplota formy	90 °C
Teplota vyformování dílu	-
Čas dotlaku	6 s
Čas chlazení	12 s
Velikost dotlaku	600 bar
Materiál	RADILON A RV300W 333BK

## 8.2 Simulace

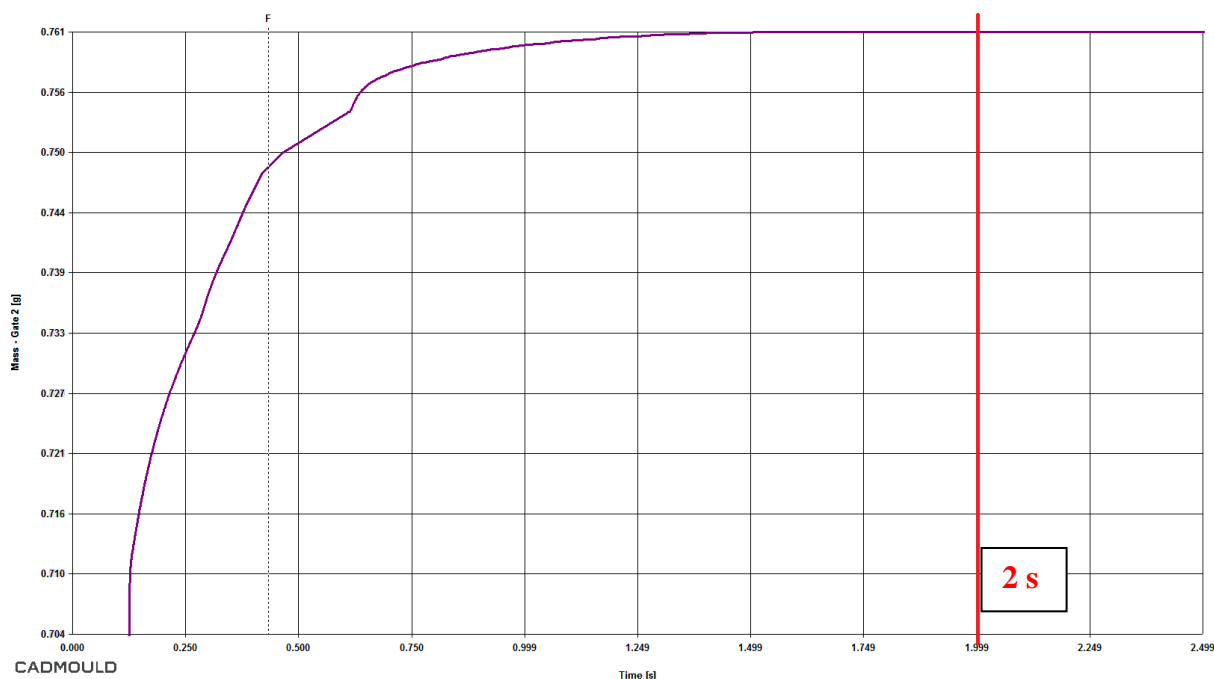
Simulace byla provedena z důvodu možné optimalizace parametrů vstřikování. Deformace, které lze vidět na obrázku 58, kde pro lepší vizualizaci je grafické vyhodnocení 15 krát zvětšeno a ukazuje možnou deformaci, která při procesu může nastat. S větší částí deformací se již počítalo a bylo jím zamezeno při prvotní tvorbě vstřikovací formy. Na obrázku 59 je vidět čas plnění, který je 3,66 s. Na obrázku 60 je graf ukazující závislost hmotnosti na čase dotlaku, optimální doba dotlaku je v místě, kde nedochází ke změně hmotnosti, v našem případě je to kolem hodnoty 2 sekund.



Obr. 58 Simulace deformace předvstříku



Obr. 59 Simulace plnění předvstříku



Obr. 60 Graf průběhu dotlaku pro předvstřík

- **Nastavené parametry**

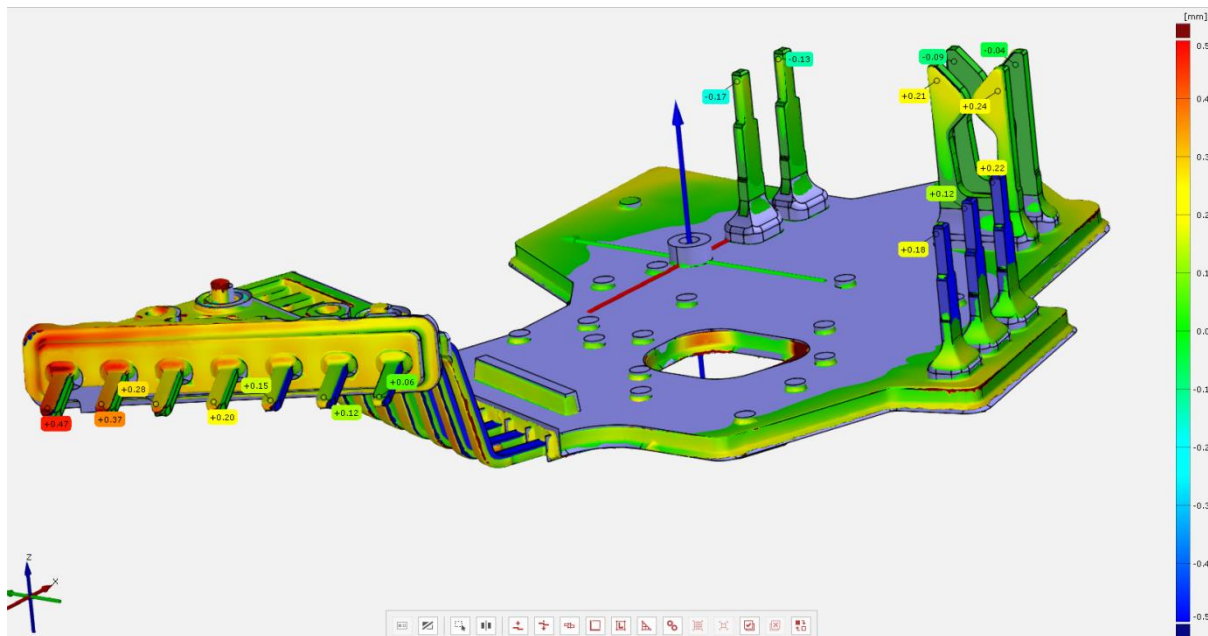
Nastavené parametry v programu CADMOULD, pro proces vstřikování, jsou doporučené hodnoty pro daný materiál, který má program uložen v databázi materiálů.

Tab. 6 Parametry nastavené v simulaci pro předvstřík.

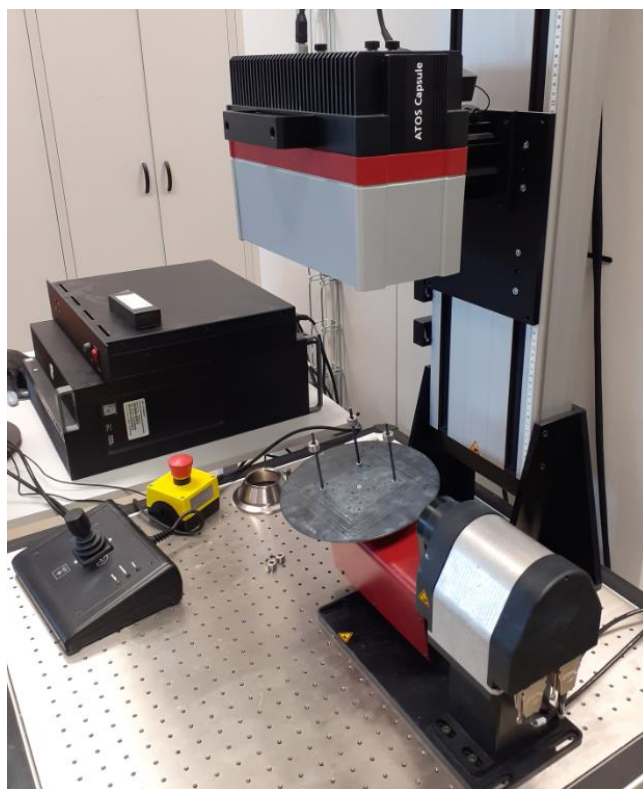
Název parametru	Hodnota parametru
Čas plnění	0,35 s
Teplota taveniny	290 °C
Teplota horkého kanálu	290 °C
Teplota formy	90 °C
Teplota vyformování dílu	200 °C
Čas dotlaku	6 s
Čas chlazení	10 s
Velikost dotlaku	600 bar
Materiál	RADILON A RV300W 333BK

### 8.3 Korekce formy

Po prvním testování sériové formy, dochází k vizuální kontrole a k měření na zařízení ATHOS Capsule od společnosti GOM obr. 61 a dochází k analyzování nesrovnalostí tvarů. Po této kontrole jsou projednány změny tvaru s dodavatelem formy a následná korekce. Na obrázku 62 lze vidět naskenovaný díl porovnaný s 3D modelem



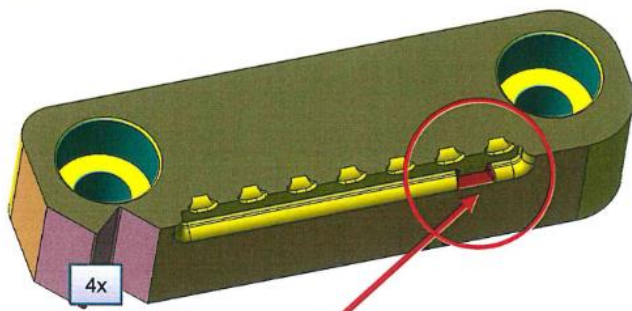
Obr. 61 Simulace tvaru předvstříku v programu GOM



Obr. 62 Měřící zařízení ATHOS Capsule

- **První korekce**

Z důvodu špatného odformování kusů z tvarové vložky, došlo k přešetření povrchu tvarových ploch. Dále došlo k úpravě rozměrů vyhazovačů, vodících pouzder umístění lze vidět na obrázku 64 a k vybroušení aretační drážky na místě konektoru obr. 63.



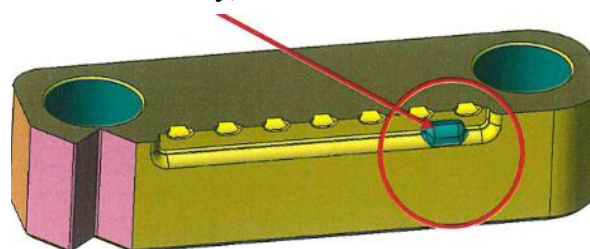
Obr. 63 Detail vybrání aretační drážky



Obr. 64 Detail umístění vodících pouzder

- **Druhá korekce**

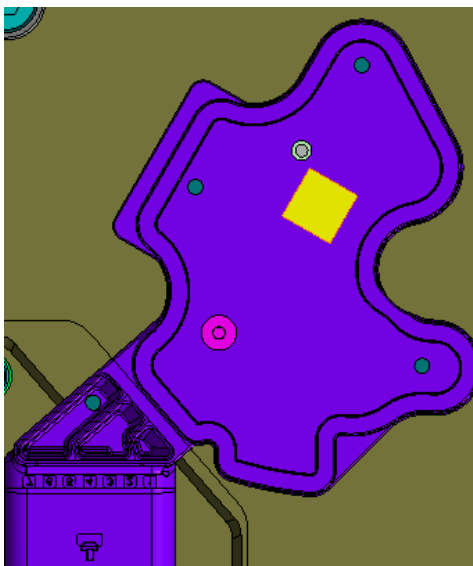
Druhá korekce se týkala opět úpravy tvaru aretační drážky, která má důležitou funkci v hlavním výstřiku a zároveň slouží jako poka yoke napojení protikusů. Na obrázku č. 65.



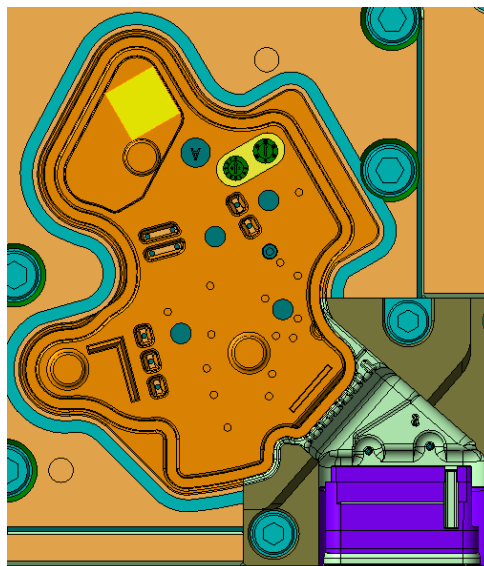
Obr. 65 Detail aretační drážky

## 9 HLAVNÍ VSTŘÍK

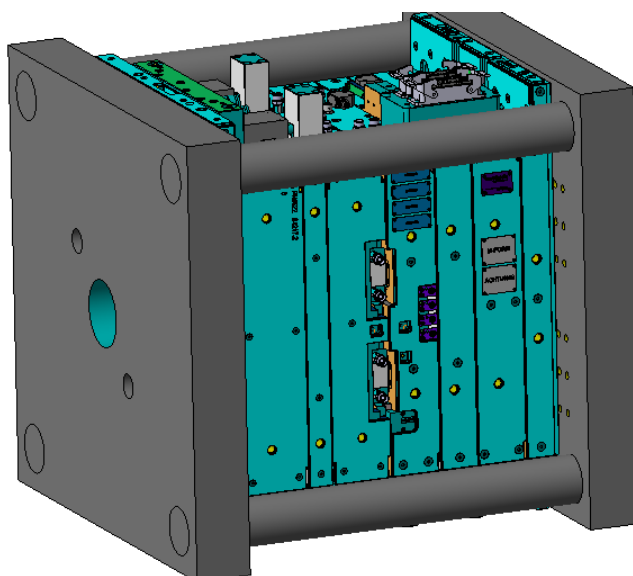
První forma byla vyrobena na základě simulace, kterou provedla mateřská firma v Německu. Při těchto simulacích byly odladěny zakládání deformace tvaru a byla vytvořena prototypová forma. Tato prototypová forma byla pouze jedno kavitová s jedním spodním a vrchním dílem. Byla určena pro stroj Battenfeld 600 s vertikální vstřikovací jednotkou. Do spodní části formy se musí zakládat předvstříky ručně. Forma je v tuto chvíli odladěná a splňuje požadavky zákazníka pro malosériovou výrobu s maximálním ročním objemem výroby 90.000 ks. Pro sériovou výrobu má být cca. 1.800.000 ks/rok je tato forma nevyhovující. Aby bylo možné splnit tuto sérii je forma čtyřnásobná a je určena pro stroj Arburg 570 s horizontál. Do formy jsou v tuto chvíli předvstříky zakládány ručně, ale v budoucnu budou zakládány do formy šestiosím KUKA robotem, který i následně odebere hotové kusy. Tvarovou vložku formy lze vidět na obrázcích č. 66, 67 a formu na obr. 68.



Obr. 66 Detail 3D tvarové vložky v pevné části formy

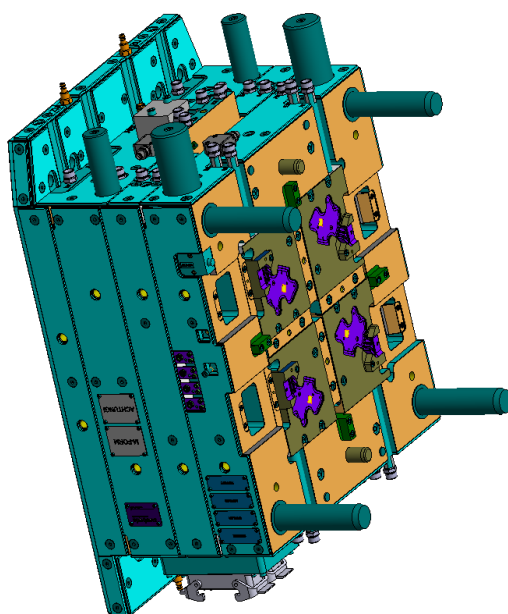


Obr. 67 Detail 3D tvarové vložky v pohyblivé části formy

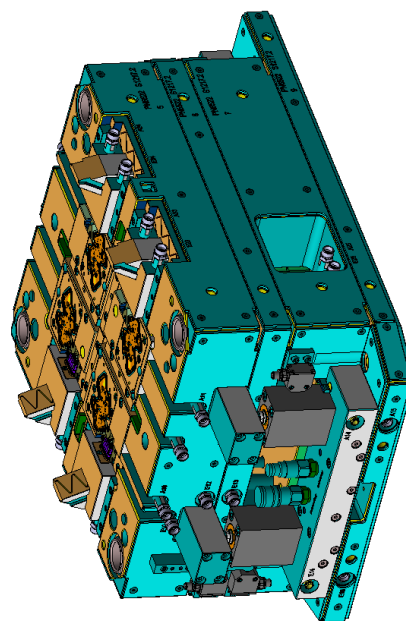


Obr. 68 Vstřikovací forma hlavního výstřiku

Na obrázku č. 69 a 70 lze vidět horní a spodní část formy.

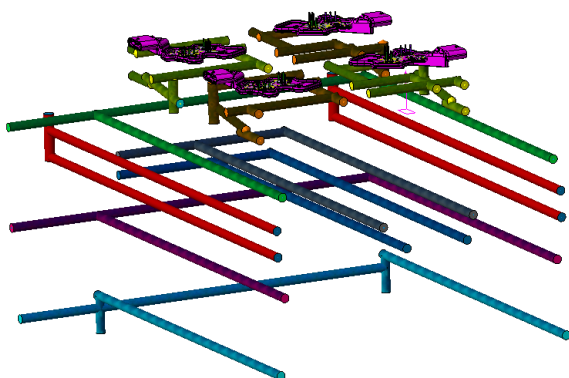


Obr. 69 Pevná horní část formy

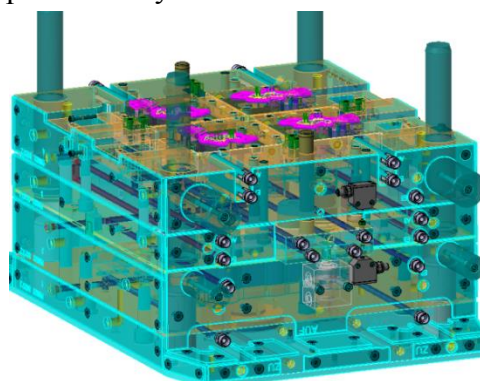


Obr. 70 Pohyblivá dolní část formy

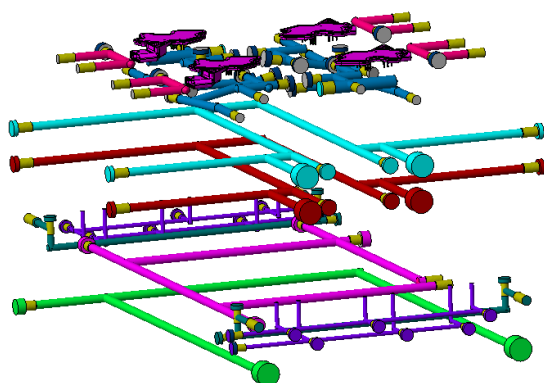
Na obrázcích 71 a 72 lze vidět dráhy kanálků temperačního systému uvnitř horní a dolní části vstříkovací formy obr. č. 73 a 74.



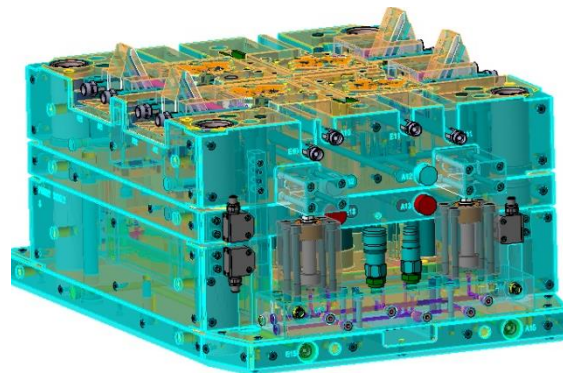
Obr. 71 Temperační systém v horní části formy



Obr. 73 Pevná horní část formy

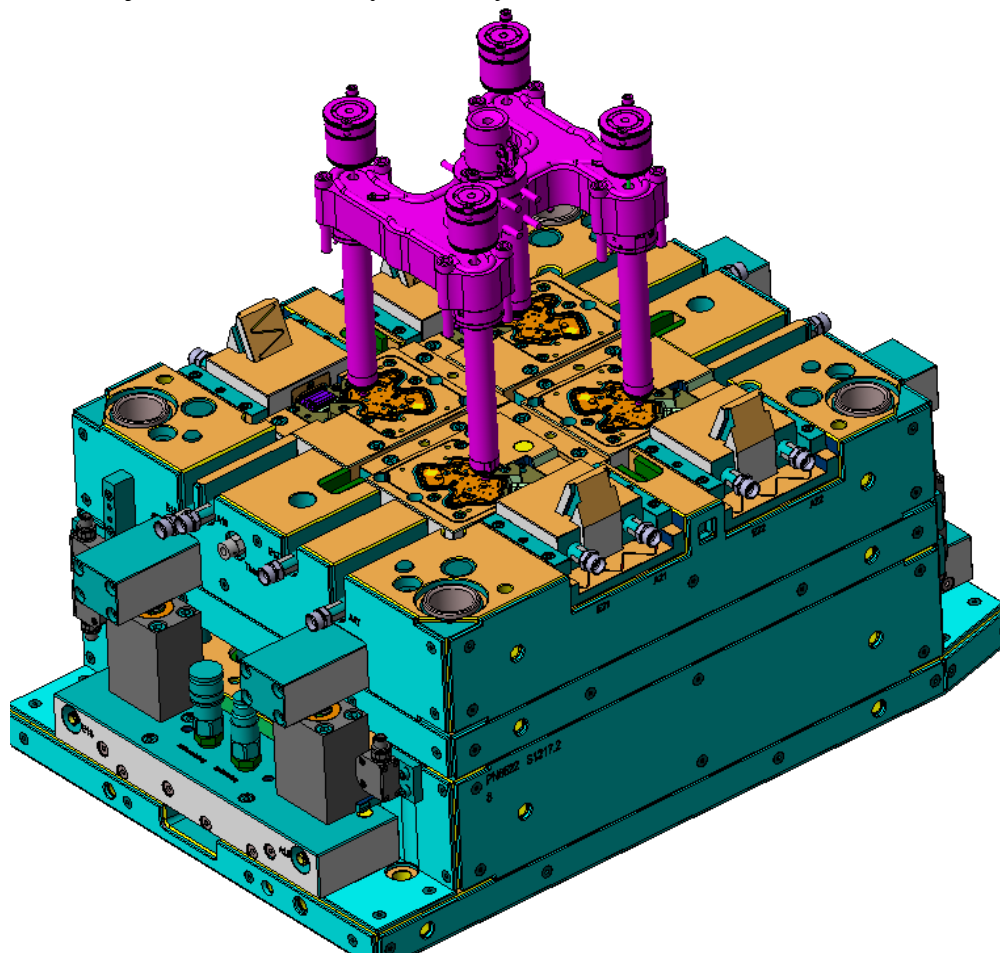


Obr. 72 Temperační systém v dolní části formy



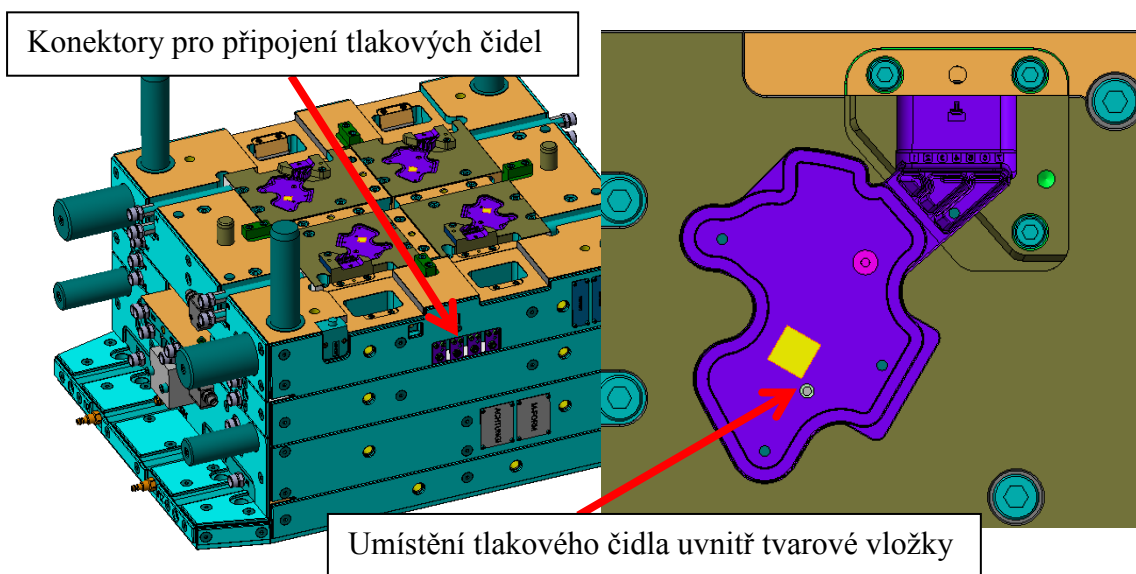
Obr. 74 Pohyblivá dolní část formy

Na obrázku 75 je vidět umístění trysek horkých kanálů.



Obr. 75 Poloha trysek horkých kanálů

Na obrázku 76 jsou zvýrazněna tlaková čidla formy.

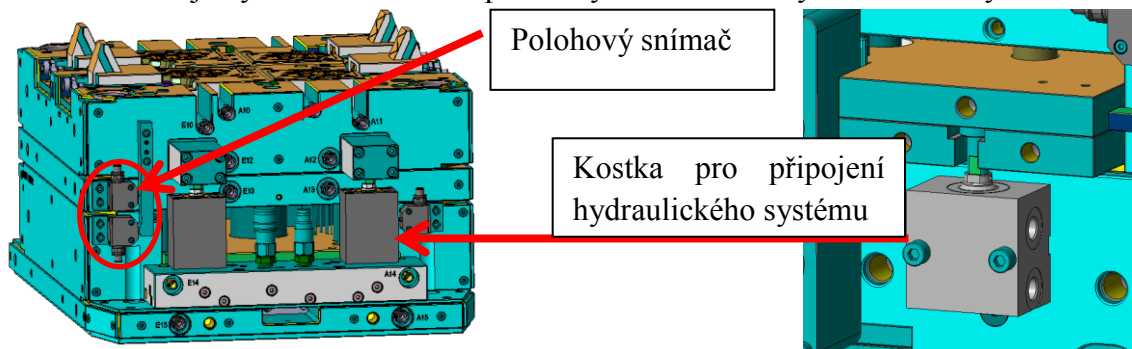


Konektory pro připojení tlakových čidel

Umístění tlakového čidla uvnitř tvarové vložky

Obr. 76 Schéma umístění a připojení tlakových čidel formy

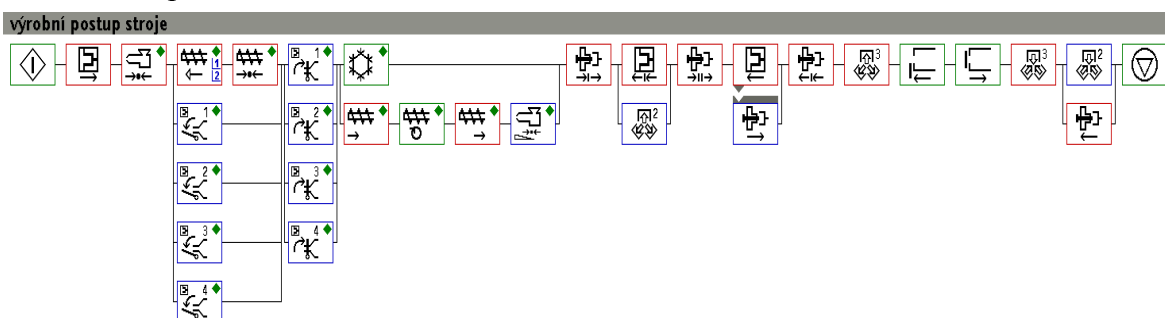
Na obrázku 77 je vyznačené umístění polohových snímačů a hydraulického systému



Obr. 77 Schéma umístění polohových snímačů a hydraulického systému

## 9.1 První testování formy

Postup při odzkoušení je stejný jako u formy předvstříku. Byl zhotoven nastavovací plán a byly odzkoušeny pohyblivé části vstřikovací formy. U této formy bylo nutné sladit pohyby otevírání a zavírání formy s pohyby tahače a vyhazovače. Při zavření formy zůstává vyhazovač v mezi poloze a při otevření formy dochází k současnému pohybu formy, tahače a vyhazovače a tím dojde k přemístění výstříku z pohyblivé části na pevnou část formy. Důvodem těchto pohybů je odebrání výstříku z pevné části formy KUKA robotem a zároveň vložení zálisků do pohyblivé formy. Tato robotizace nebyla v průběhu této diplomové práce dokončena, tudíž se vše zakládalo ručně. Z důvodu nastavení vyšší teploty temperace nástroje ( $150^{\circ}\text{C}$ ) docházelo k zadírání důležitých uzavíracích částí formy a muselo dojít k odlehčení problematických částí. Na základě požadavků zákazníka došlo ke změně konstrukce a tvaru konektorové části, která měla vliv na deformaci a zastříknutí pinů. Na obrázku 78 lze vidět grafické schéma nastavení výrobní sekvence. Dále na obrázku č. 79 je deformace pinů a zastříknutí v konektorové části.



Obr. 78 Schéma výrobní sekvence stroje



Obr. 79 Chyby při první zkoušení procesu

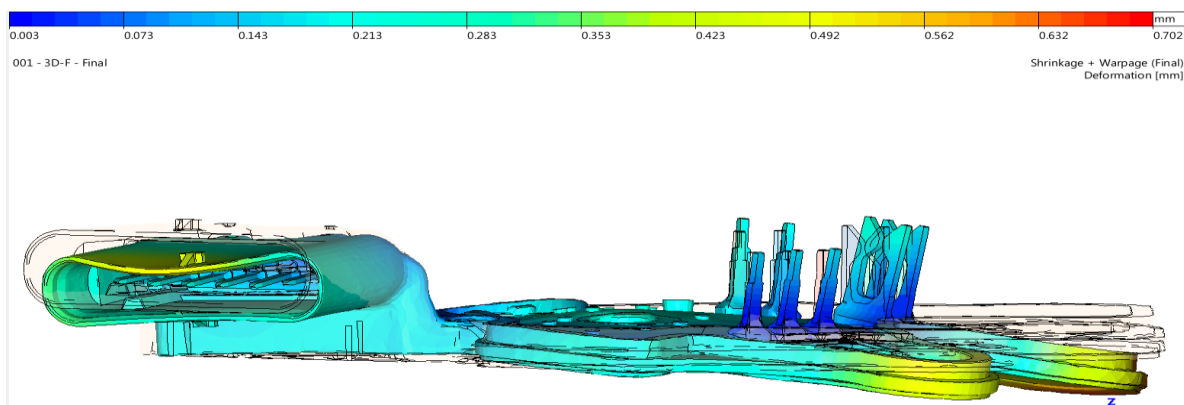
- **Nastavené parametry**

Tab. 7 Parametry při procesu vstřikování hlavní vstříku.

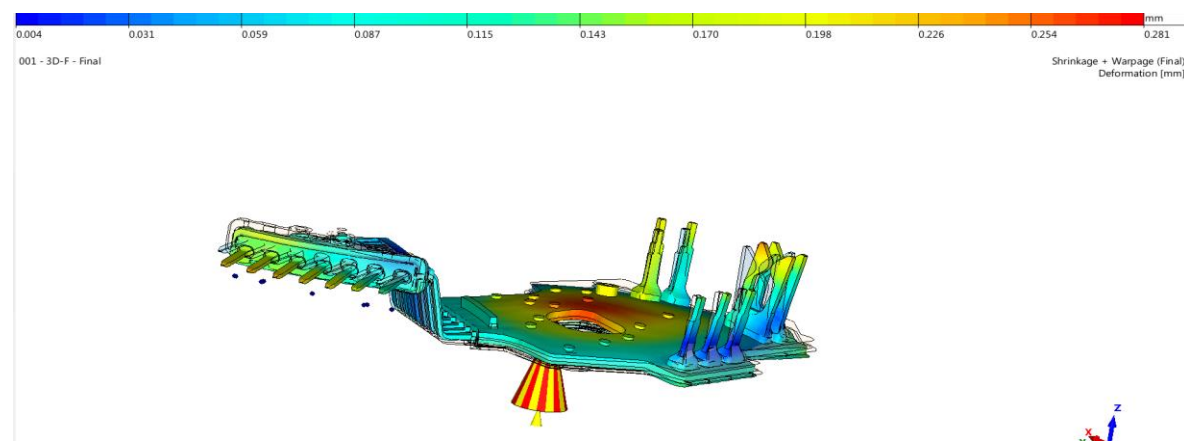
Název parametru	Hodnota parametru
Čas plnění	0,96 s
Teplota taveniny	350 °C
Teplota horkého kanálu trysky/rozvod	350/360 °C
Teplota formy	150 °C
Teplota vyformování dílu	-
Čas dotlaku	6 s
Čas chlazení	10 s
Velikost dotlaku	450 bar
Materiál	Grivory HTV 4x1 SW

## 9.2 Simulace

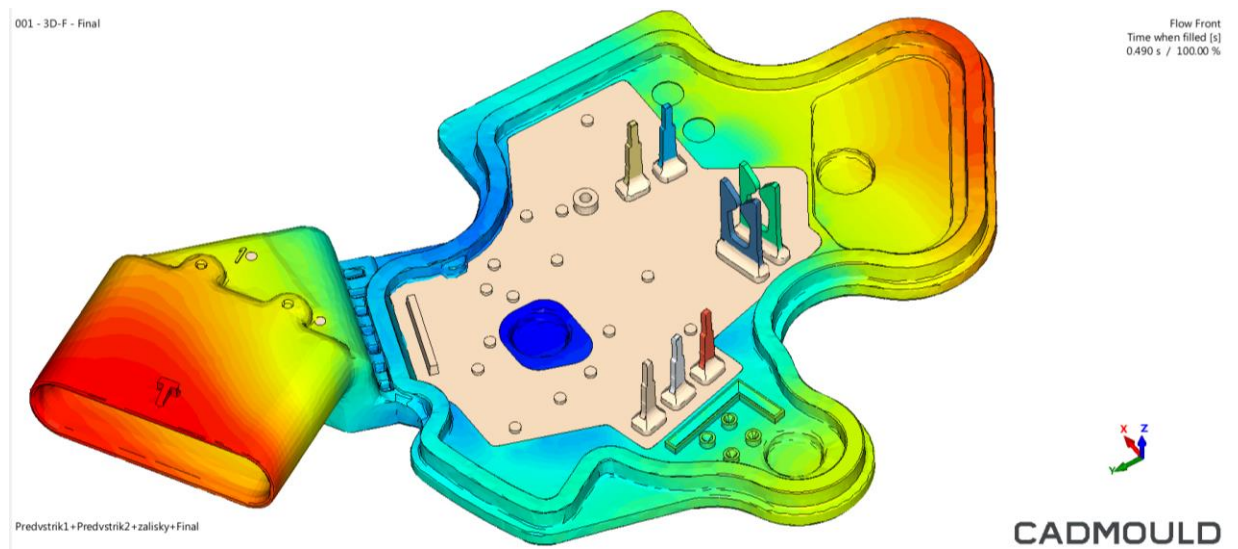
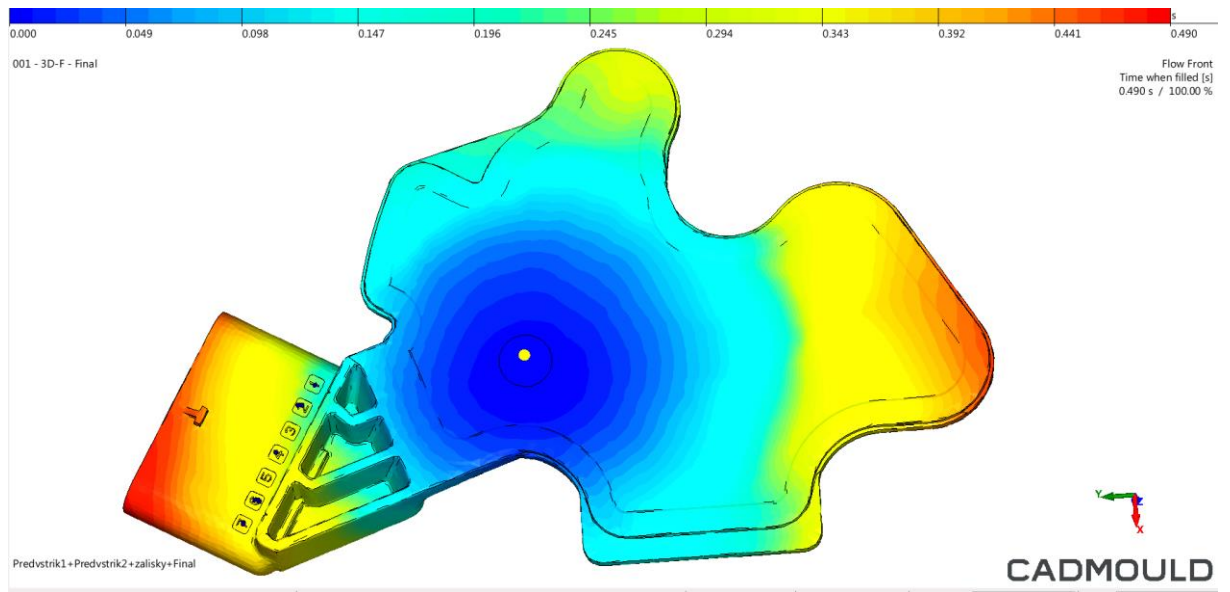
U hlavního vstříku byla provedena simulace v program CADMOULD pro případnou optimalizaci vstřikovacího procesu. Na obrázku č. 80 lze vidět celkovou deformaci finálního vstříku včetně deformace založeného předvstříku obr 81. Na obrázku č. 82 lze vidět dobu plnění a graficky vyznačená místa, kde dochází k pozdějšímu plnění. Dále lze vidět na obrázku č. 83 deformaci v ose Z, kterou způsobuje tavenina při plnění dílu.



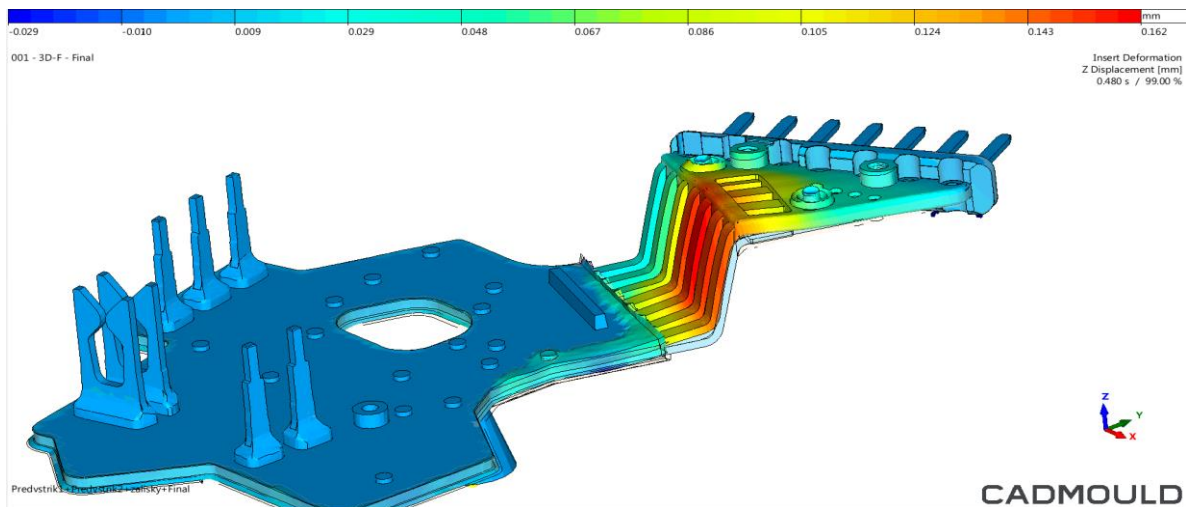
Obr. 80 Výsledná deformace hlavního vstříku



Obr. 81 Výsledná deformace předvstříku působením vstřikování hlavního vstříku

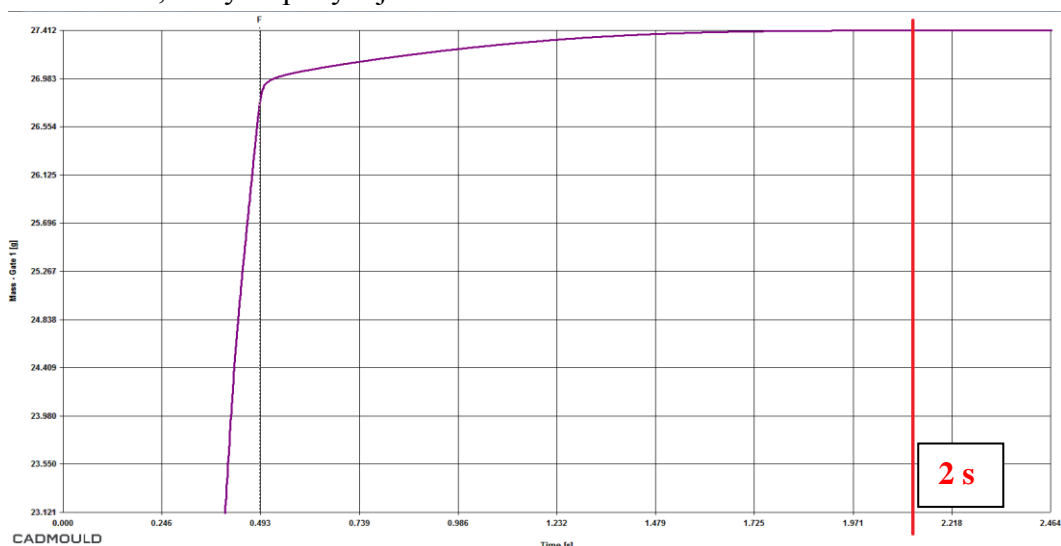


Obr. 82 Simulace doby plnění



Obr. 83 Zobrazení deformace v ose Z

Na obrázku č. 84 je znázorněn graf dotlaku, ze kterého je možné určit možný optimální čas dotlakové fáze, který se pohybuje okolo 2 sekund.



Obr. 84 Graf průběhu dotlaku pro hlavní střík

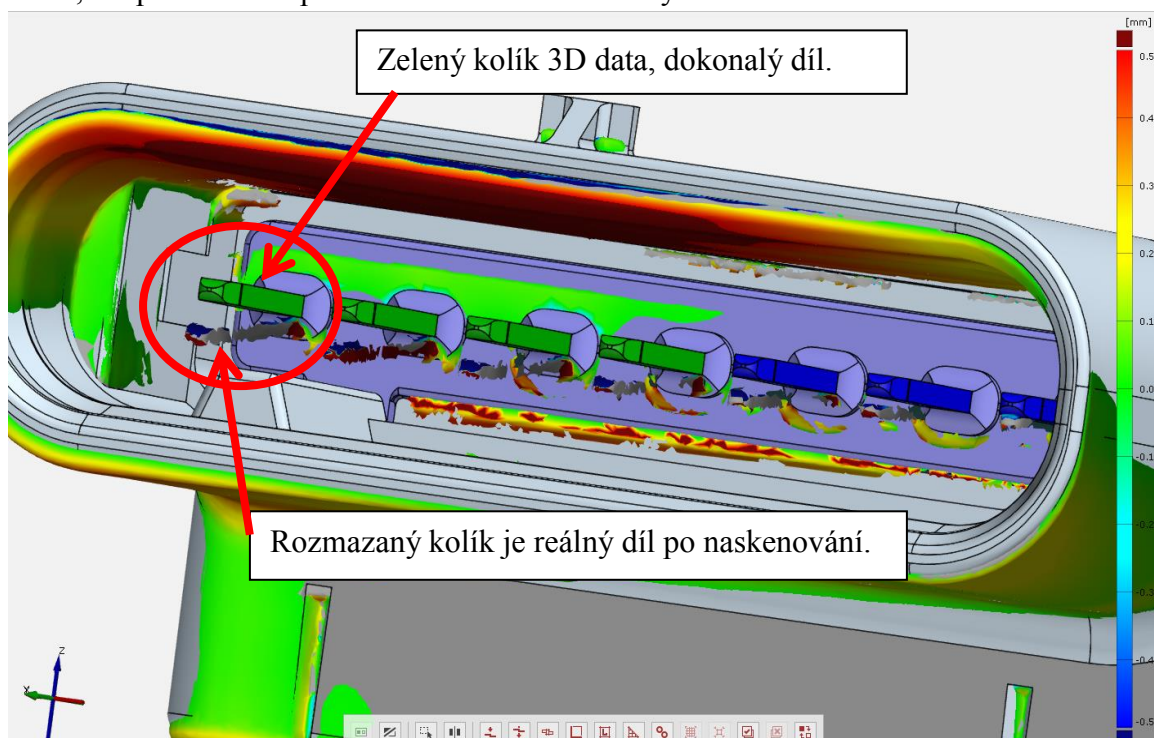
- **Nastavené parametry**

Tab.8 Parametry nastavené v simulaci pro hlavní vstřík.

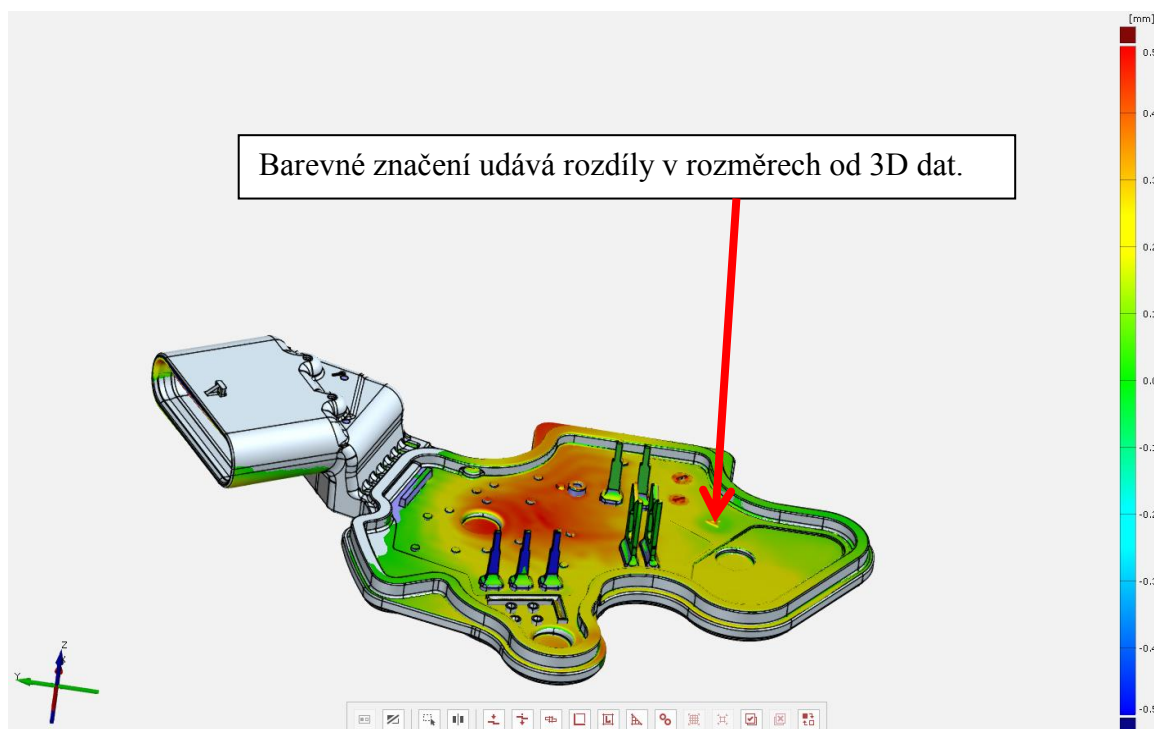
Název parametru	Hodnota parametru
Čas plnění	0,49 s
Teplota taveniny	345 °C
Teplota horkého kanálu	345 °C
Teplota formy	150 °C
Teplota vyformování dílu	265 °C
Čas dotlaku	6 s
Čas chlazení	6 s
Velikost dotlaku	600 bar
Materiál	Grivory HTV 4x1 SW

### 9.3 Korekce formy

Po prvním testování sériové formy, dochází k vizuální kontrole a k měření na zařízení ATHOS Capsule od společnosti GOM a dochází k analyzování nesrovnalostí tvarů. Po této kontrole jsou projednány změny tvaru s dodavatelem nástroje. Na obrázku 85 a 86 lze vidět naskenovaný díl porovnaný s 3D modelem. Při této korekci nedocházelo ke změnám tvarů výstřiku, ale primárně k úpravám funkčních dílů formy.



Obr. 85 Porovnávací měření v programu GOM



Obr. 86 Porovnávací měření v programu GOM

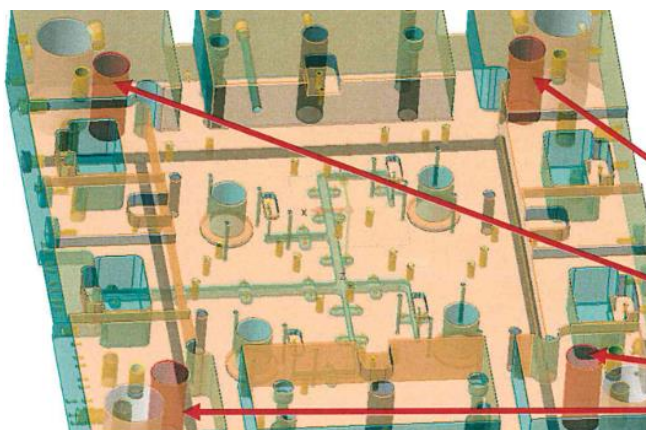
- **První korekce**

Při první korekci došlo ke sražení hrany v aretační vložce obr. 87.



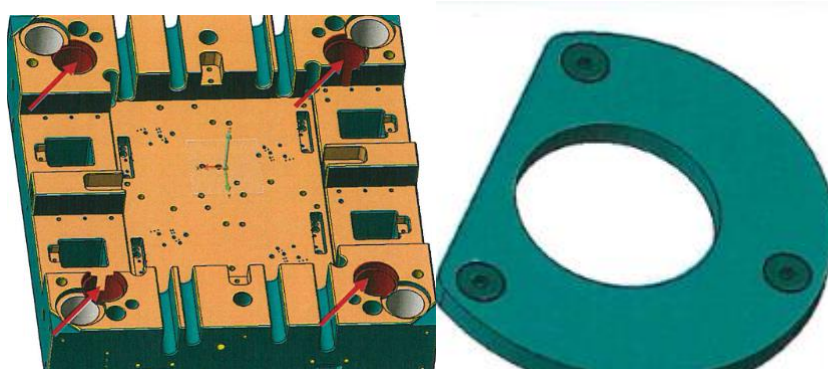
Obr. 87 Sražení hran

Rozšíření vodící pouzder obr. 88.



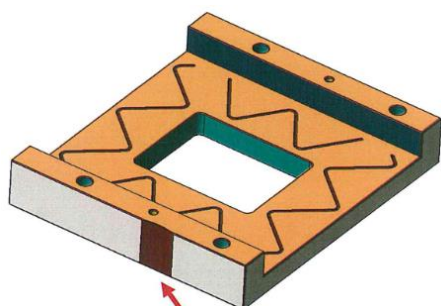
Obr. 88 Rozšíření vodících pouzder

Vybrání a přidání podložky obr. 89.



Obr. 89 Vybrání a tvaru podložky

Vybrání u součástí na obrázku 90 a 91.



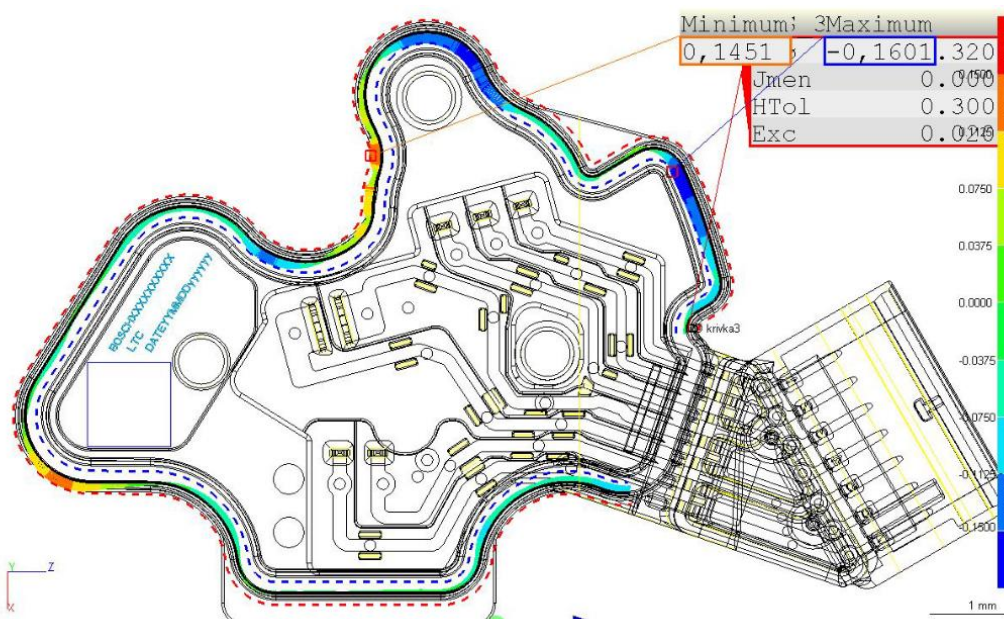
Obr. 90 Vybrání hrany vodící podložky Obr. 91 Vybrání a tvaru pojistného kolíčku

- **Druhá korekce**

Pro uskutečnění druhé korekce je nutno proměřit finální výstřik na 3D souřadnicovém měřícím zařízení od výrobce Carl Zeiss obr. 92, které se nachází v prostorách firmy. Při měření se kontrolují důležité referenční body, které jsou dány zákazníkem ve výkresové dokumentaci. V případě nedodržení tolerancí těchto bodů musí dojít ke korekci tvarů vstřikovací formy tak, aby se tyto nesrovnalosti eliminovaly. Příklad měření lze vidět na obrázku 93. V době vypracování diplomové práce nedošlo ke druhé korekci.



Obr. 92 Zařízení Zeiss



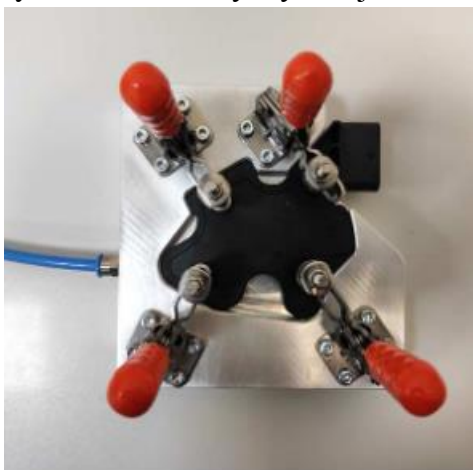
Obr. 93 Měření v softwaru společnosti Zeiss

## 9.4 Kontrolní zkoušky

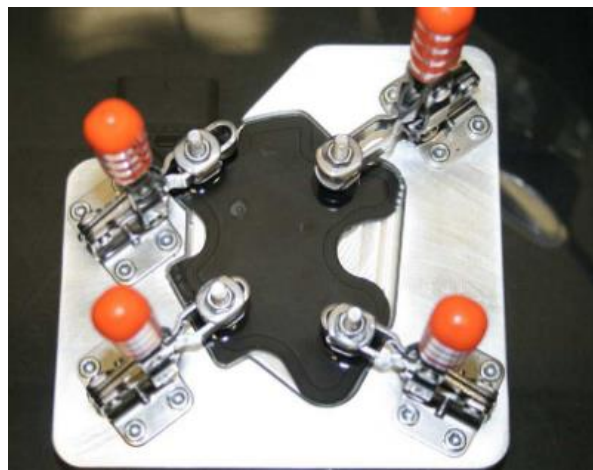
Na konci každého vstřikovacího procesu je nutné provést zkoušky, které požaduje zákazník. Pro tento díl je provedena zkouška (vysokonapěťovým testem, těsnosti dílu, test ulomení západky, test zasunutí protikusů do konektorů, technická čistota). Po splnění požadavků daných zákazníkem je díl možné vyrábět sériově.

- **Zkouška těsnosti dílu**

Při této zkoušce je díl upnut do měřicího přípravku, do kterého je přivedena hadička se vzduchem a poté je díl i s přípravkem vložen do vany s vodou. Dalším krokem je přívod vzduchu o síle 1 bar po dobu 5 sekund a je hlídána tvorba netěsnosti ve formě bublinek. Na obr. 94 lze vidět upnutí do přípravku a na obr. 95 ponoření přípravku i s upnutým dílem do vody. Test těsnosti byl vyhovující.



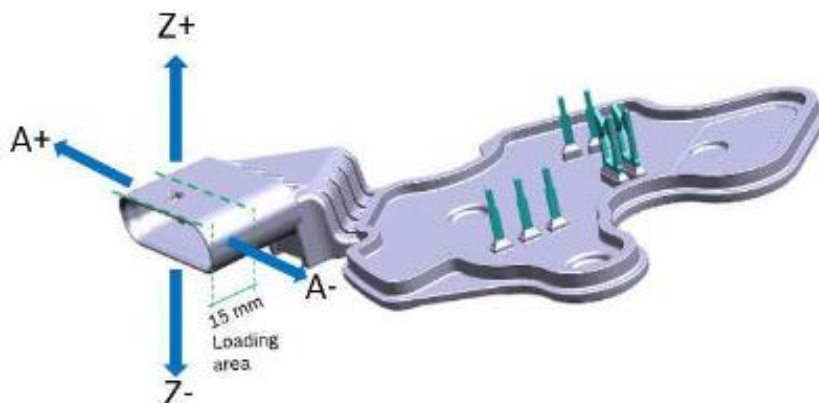
Obr. 94 Upnutí přípravku



Obr. 95 Ponoření přípravku s testovaným dílem

- **Test ulomení západky**

Vstřikovaný díl může být zatížen a může dojít k prasknutí primárně u konektorové části, proto je nutné tuto část odzkoušet na zatížení různými velikostmi sil určené zákazníkem. Měření probíhá ve více směrech, a testovaný kus musí být upnut do měřicího přípravku. Směry lze vidět na obr. 96. Ve směru A+ je dána zatěžující síla o velikosti 300 N ve směru A- je 300 N ve směru Z+ je 200 N a v posledním směru Z- je síla o velikosti 150 N, testovací rychlost je 10 mm/min.



Obr. 96 Znárodnění měřených směrů

Měření ve směru A+ lze vidět na obr. 97.



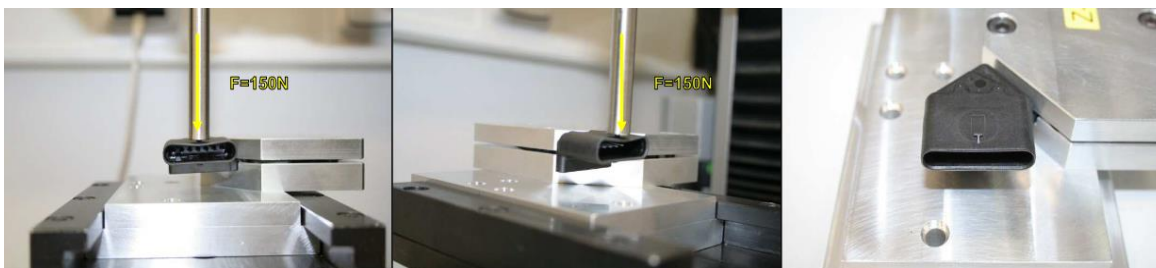
Obr. 97 Měření ve směru A+

Měření ve směru A- lze vidět na obr. 98.



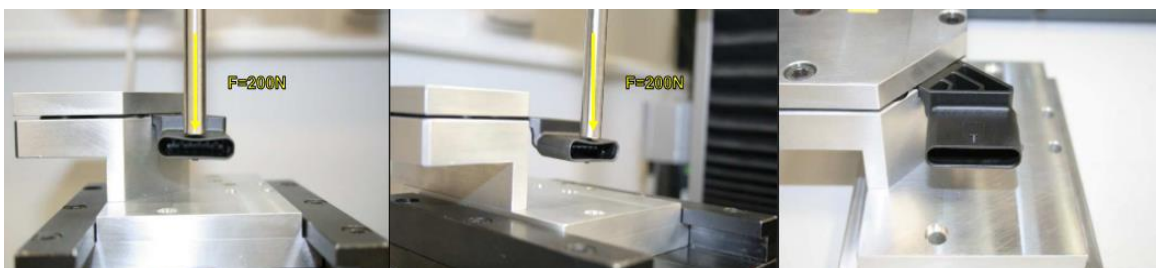
Obr. 98 Měření ve směru A-

Měření ve směru Z- lze vidět na obr. 99.



Obr. 99 Měření ve směru Z-

Měření ve směru Z+ lze vidět na obr. 100.

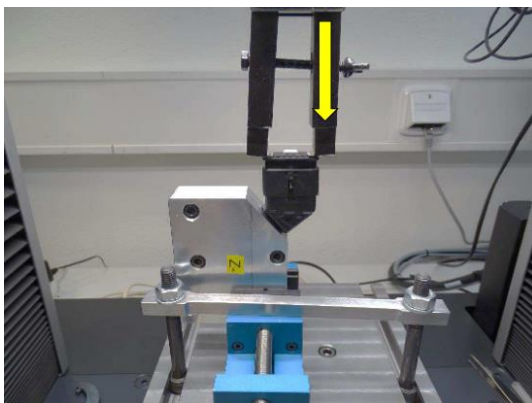


Obr. 100 Měření ve směru Z+

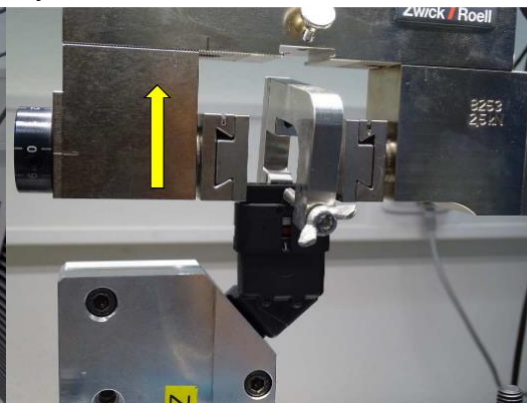
Deformační test byl vyhovující.

- **Test zasunutí protikusu do konektoru**

Při zkoušce je vstříkovaný díl upnut do měřícího přípravku tak aby byla konektorová část volná. Další krok je upnutí protikusu konektorové hlavy do zařízení a seřízení dráhy tak, aby došlo ke správnému napojení. Hodnotí se síla, kterou musí zařízení vyvinout na zatlačení a vytažení protikusu konektorové hlavy. Zařízení, na kterém zkouška probíhala je ZwickRoell Z005 a zatěžující síla je 75 N, která by neměla být překročena. Na obrázku č. 101 lze vidět test zatlačení a na obr. č. 102 vytažení.



Obr. 101 Měření při zatlačení



Obr. 102 Měření při vytažení

Tab.9 Hodnoty při zatlačení.

Před korekcí	Po korekci	Staré díly
Síla F [N]	Síla F [N]	Síla F [N]
90,5	96,87	59,5
78	95,08	77,5
87,3	97,33	X
72	86,9	84,7
79,5	91,86	83,3
88,2	68,48	X

Tab.10 Hodnoty při vytažení.

Před korekcí	Po korekci	Staré díly
Síla F [N]	Síla F [N]	Síla F [N]
82,6	79,8	51,2
75,8	85,6	46,6
87,6	85,5	X
83,2	80,2	56,0
85,9	84,8	54,5
90,3	76,4	X

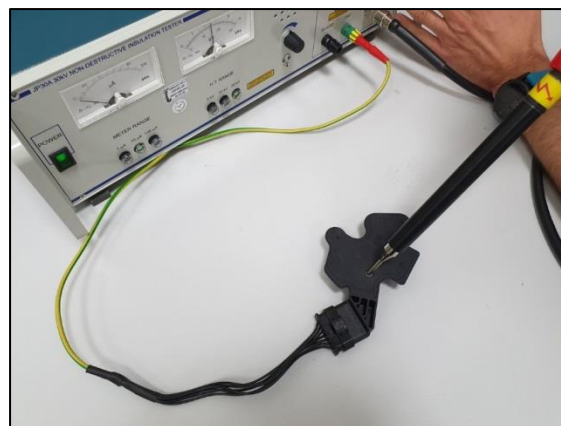
Pro splnění tohoto testu, je nutno upravit konektorovou část tak, aby nebyla překročena síla 75 N. Po dobu mé diplomové práce tato úprava nebyla realizována.

- **Vysokonapětový test**

Při této zkoušce je vstřikovaný díl napojen přes konektorovou část na zařízení Danbridge JP30A viz obr. 103 a obr. 104 dále jsou zakryty piny v zadní části dílu, tak aby nedocházelo k výboji a k eliminaci chyb při zkoušce viz obr. 105. Následně dochází k testování dílu 15 kV. Při tomto testu je povrch snímán digitální kamerou Sony DSC-HX400V, která zachycuje záblesky probíjení mezi soustavou a zkušebním perem, viz obr. 106.



Obr. 103 Měřicí zařízení Danbridge JP30A



Obr. 104 Měření na zařízení Danbridge JP30A

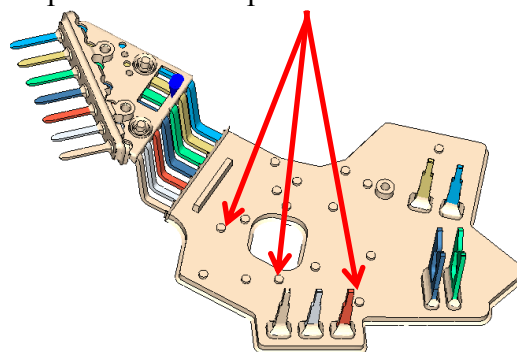


Obr. 105 Zakrytí kontaktů



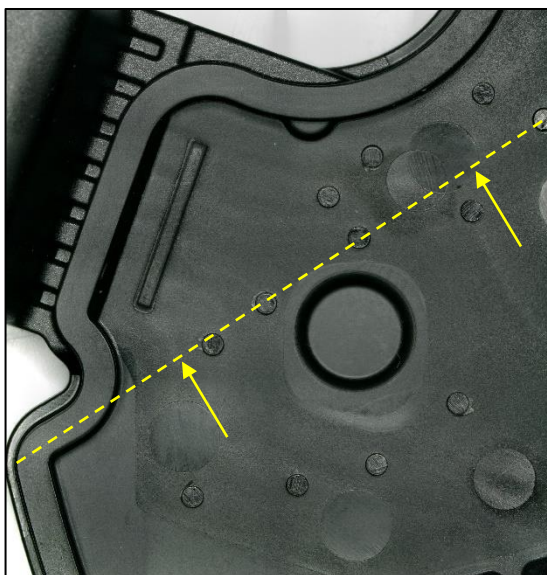
Obr. 106 Výboj při měření

Při této zkoušce bylo zjištěno, že nastává probíjení v určitých místech. Při hlubším zkoumání bylo zjištěno metalografickými výbrusy, že při vstřikování předvstříku v místech označených na obr. 107 (výstupcích), dochází ke špatnému spojení materiálu. Tato místa jak již bylo zmíněno, označují dotyky přídržovačů, které mají ve formě za úkol aretování a přídržování zálisků v jejich pozicích. Přídržovače v procesu vstřikování odjíždějí při fázi plnění dílu a dochází k pomalému tuhnutí hmoty, po této fázi nastává fáze dotlaku, která tento výstupek doplní do finálního tvaru a právě v této chvíli nedochází ke správnému spojení hmoty a vytváří se (studené spoje) trhlinky, které způsobují probíjení při vysokonapětové zkoušce.

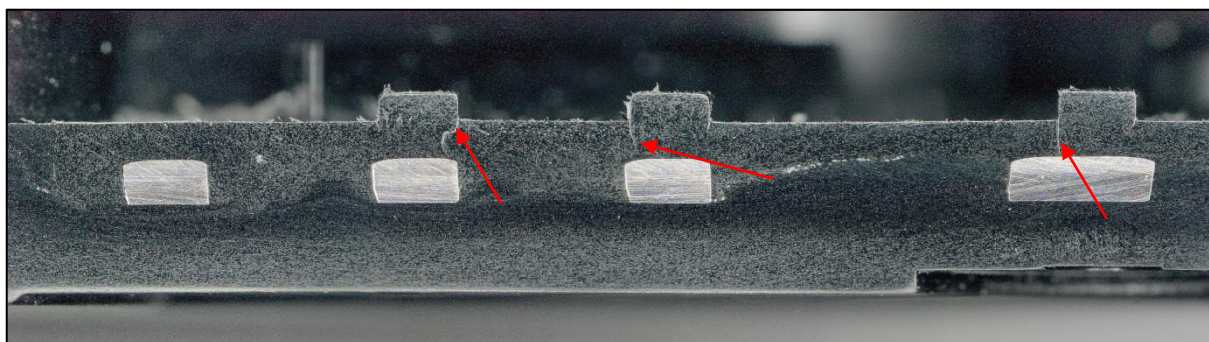


Obr. 107 Místa dotyků přídržovačů

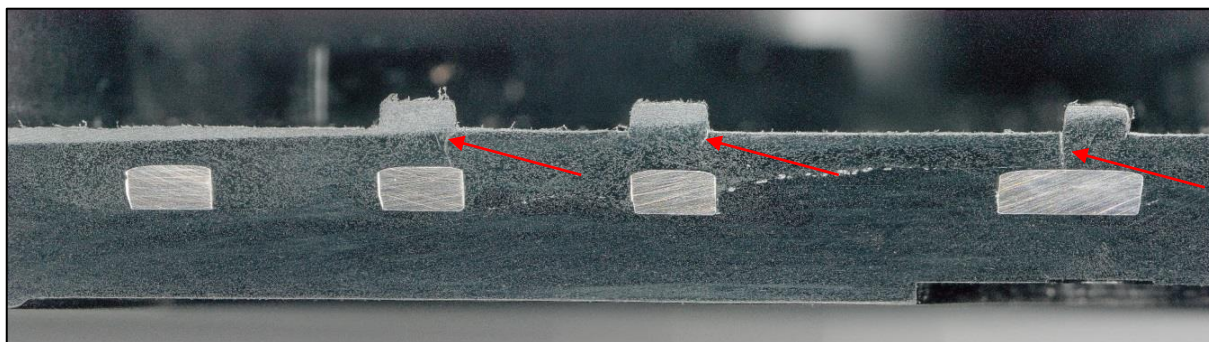
Při měření bylo použito zařízení Struers LaboPol-60 a na obrázku č. 108 je znázorněno místo řezu. Na obrázku č. 109 a č. 110 jsou vidět trhlinky v místech výstupků.



Obr. 108 Vyznačení místa řezu



Obr. 109 Trhlinky v místě výstupků vzorek č. 1



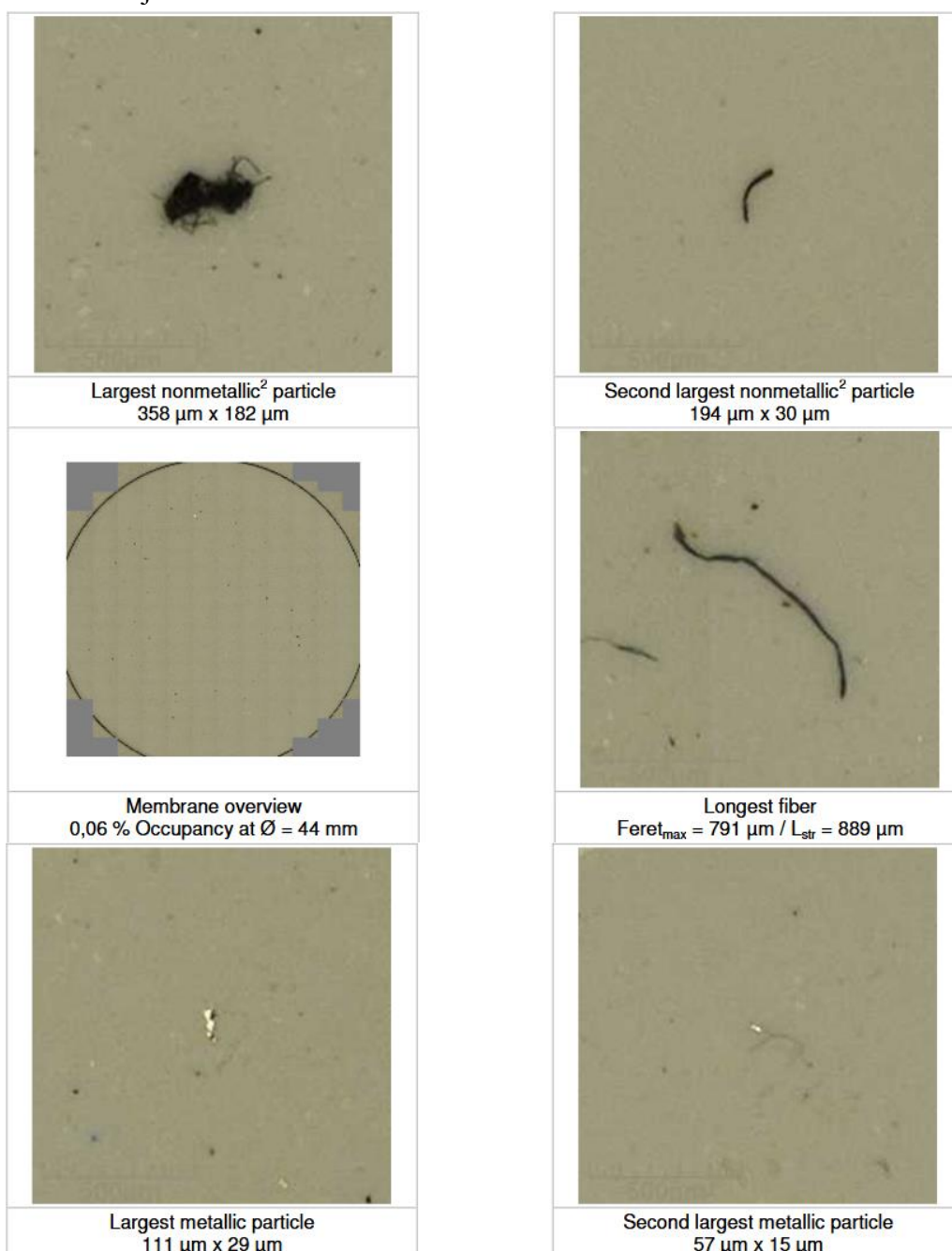
Obr. 110 Trhlinky v místě výstupků vzorek č. 2

Tento problém zatím nebyl vyřešen, tudíž vstříkovaný díl nespĺňuje požadavky.

- **Zkouška čistoty**

Zkouška probíhala v certifikované laboratoři externí firmy. Pro průběh zkoušky je nutné matematicky určit křivku poklesu, ze které je určeno množství tekutiny potřebné pro oplach testovaného dílu a tlak oplachu. Díl je poté oplachován tekutinou, která odtéká přes filtr, na kterém ulpívají nečistoty, které jsou analyzovány pod mikroskopem. Test spočívá v rozdělení podle velikosti, druhu materiálu a množství zachycených částí z testovaného dílu. Poté dojde k vyhodnocení.

Při této zkoušce díl nevyhověl. Důvodem je množství a velikost nečistot, které lze vidět na obrázku 111. Jako řešení je nutno umístit ofukovací zařízení do vnitřních prostorů vstříkovacího stroje.



Obr. 111 Různé druhy nečistot

## 10 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Bylo provedeno předběžné ekonomické zhodnocení nákladů na korekce forem. Dále vyčíslení zůstatku možných financí pro další nutné úpravy. Vše lze vidět v tabulce č. 11 a č. 12.

Tab. 11 Finance pro vstříkovací formu předvstříku.

<b>Finance uvolněné pro nákup a úpravy</b>	<b>Pořizovací cena formy</b>	<b>Cena materiálu</b>	<b>Cena personálu</b>	<b>Zůstatek pro možné úpravy</b>
166 859,00 €	129 520,00 €	97 864,72 €	31 655,28 €	37 339,00 €
První korekce	-	-204,55 €	-3143,55 €	33 581,80 €
Druhá korekce	-	-107,38 €	-2758,38 €	30 716,04 €
Další možné úpravy	-	X	X	X

Tab. 12 Finance pro vstříkovací formu hlavního stříku.

<b>Finance uvolněné pro nákup a úpravy</b>	<b>Pořizovací cena formy</b>	<b>Cena materiálu</b>	<b>Cena personálu</b>	<b>Zůstatek pro možné úpravy</b>
248 487,00 €	213 520,00 €	74 566 €	138 954,00 €	34 958,00 €
První korekce	-	-1385,58 €	-13 247,85 €	20 324,57 €
Druhá korekce	-	-859,38 €	-8759,38 €	10 705,81 €
Další možné úpravy	-	X	X	X

Tabulky č. 11 a č. 12 ukazují pouze orientační hodnoty. Nebylo možné stanovit přesné kalkulace v průběhu diplomové práce z důvodu dalších úprav forem.

## 11 ZÁVĚR

Z důvodu nevyhovující vysokonapěťové zkoušky byly provedeny pokusy eliminace probíjení a to tak, že docházelo ke změnám času odjezdu přidržovačů pinů. Testovaný čas byl 0,8 sekund. V následném testu byla upravena hodnota času na 0,5 sekund při, které došlo ke snížení probíjejících míst. Další snížení času pod hodnotu 0,5 bylo nevyhovující z důvodu změny polohy pinu vlivem toku taveniny. Chyby lze vidět na obrázku 112 v příloze. Návrhem možného řešení je pouze úprava konstrukce předvstříkové formy.

Další řešeným problémem byla deformace pinů v konektorové části hlavního vstříku. Dochází k vyosení pinů při chladnutí dílu po vyformování vlivem dodatečného smrštění (viz obrázky 113, 114 a 115 v příloze). Byly provedeny testy o zmírnění deformace pinů. Prvním testem bylo při stejných vstříkových parametrech nastavení maximální a minimální doporučené teploty formy, dle doporučení dodavatele granulátu. Následným testem byla upravena doba chlazení na 5 a 60 sekund. Posledním testem byla úprava velikosti dotlaku. Byly nastaveny tlaky 200, 600, 900 bar. Žádný z těchto testů neměl výraznější vliv na výslednou deformaci pinů.

Návrhem možného řešení je několik možností, mezi které patří dodatečné mechanické srovnání pinů vhodným přípravkem do správné polohy, nebo použití chladicího a kalibračního přípravku, který by při chladnutí zabránil deformaci vlivem chladnutí. Poslední možností je úprava tvaru formy, která se vzhledem ke konstrukci (hydraulické tvary) jeví problematicky.

Otevřeným bodem je deformace vstříkovaného dílu vlivem změny času cyklů při robotickém zakládání do formy oproti ručnímu. Robotizace nebyla prozatím odzkoušena v kalkulovaném taktu linky. Z toho vyplývá, že nebylo možné provést optimalizaci procesu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. SVOBODA, Rostislav. Historie plastů od prvního celuloidu po dnešní vstřikování. *Factory Automation* [online]. 18. 8. 2016 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historie-plastu-od-prvniho-celuloidu-po-dnesni-vstrikovani/>
2. Historie plastů. In: *LPM* [online]. Jičín ČR, 2020 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.lpm.cz/cs/geschichte-der-kunststoffe>
3. BENEŠ, Hynek. Biologicky rozložitelné plasty a bioplasty: Mýty, sny a skutečnost... In: *Docplayer* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/158221866-Biologicky-rozlozitelne-plasty-a-bioplasty-myty-sny-a-skutecnost-h-benes-ustav-makromolekularni-chemie-av-cr.html>
4. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
5. SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
6. *Whs-plastics* [online]. Birmingham: whs-plastics [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.whs-plastics.com/>
7. Struktura polymerů. In: *Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity: Sekce fyziky* [online]. Brno: Pedagogická fakulta MU, 2013 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
8. BĚHÁLEK, Luboš, KALINOVÁ, Jana a Radek HAVLÍK, ed. *Polymery* [online]. Svitavy: Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz, 2016 [cit. 2021-02-09]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
9. Dental polymers. *Pocketdentistry* [online]. pocketdentistry, 2015 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://pocketdentistry.com/dental-polymers-2/>
10. Lisování plastů: Sériová výroba plastových produktů se širokým uplatněním. *Wmw-production* [online]. Zábřovice: wmw-production, 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.wmw-production.cz/clanek/lisovani-plastu>
11. LENFELD, Petr. Vstřikování plastů. Technická univerzita Liberec: Technologie II [online]. Liberec: kpu.stl [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
12. LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. 1. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2021-03-09]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
13. SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů [online]. 1. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2021-03-09]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
14. KANDUS, Bohumil. HTZ – Technologie zpracování plastů: Přednášky a cvičení. 2020 Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno.
15. Vstřikovací formy. *Pfservice* [online]. Lysá nad Labem: pfservice, 2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://pfservice.cz/vstrikovaci-formy/>
16. ŽÁK, Ladislav. Vstřikovací formy [online]. VUT Brno [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf)

17. ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Brno: Sekurkon, 2007, 228 s.: il.; 30 cm. ISBN 978-80-86604-36-7.
18. NOVÁK, Jaroslav a Jindřiška JURNEČKOVÁ. ARBURG. Základy vstřikování termoplastů: Studijní text seřizovačů. Brno, 1996, 42 s.
19. BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. 1. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2021-03-13]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
20. NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků 1. díl. Průmyslové spektrum [online]. 2010, 3. 3. 2010 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>
21. NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. Průmyslové spektrum [online]. 2010, 30. 3. 2010 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>
22. SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů / Svazek 2*. Verlag Dashöfer: Odborné nakladatelství technické literatury, 2001.
23. KLEMENT, Rychard. Zkoušky pro stanovení odolnosti plastů proti korozi za napětí. In: *Techportal* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 1997 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/33/zkousky-pro-stanoveni-odolnosti-plastu-proti-korozi-za-napeti-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EhIUR5OAmw\\_\\_FeRnwfX-wQA/](https://www.techportal.cz/33/zkousky-pro-stanoveni-odolnosti-plastu-proti-korozi-za-napeti-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EhIUR5OAmw__FeRnwfX-wQA/)
24. *Roehling Industrial* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.roehling-industrial.com/cz/vlastnosti/odolnost-proti-vlivu-chemikalii>
25. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

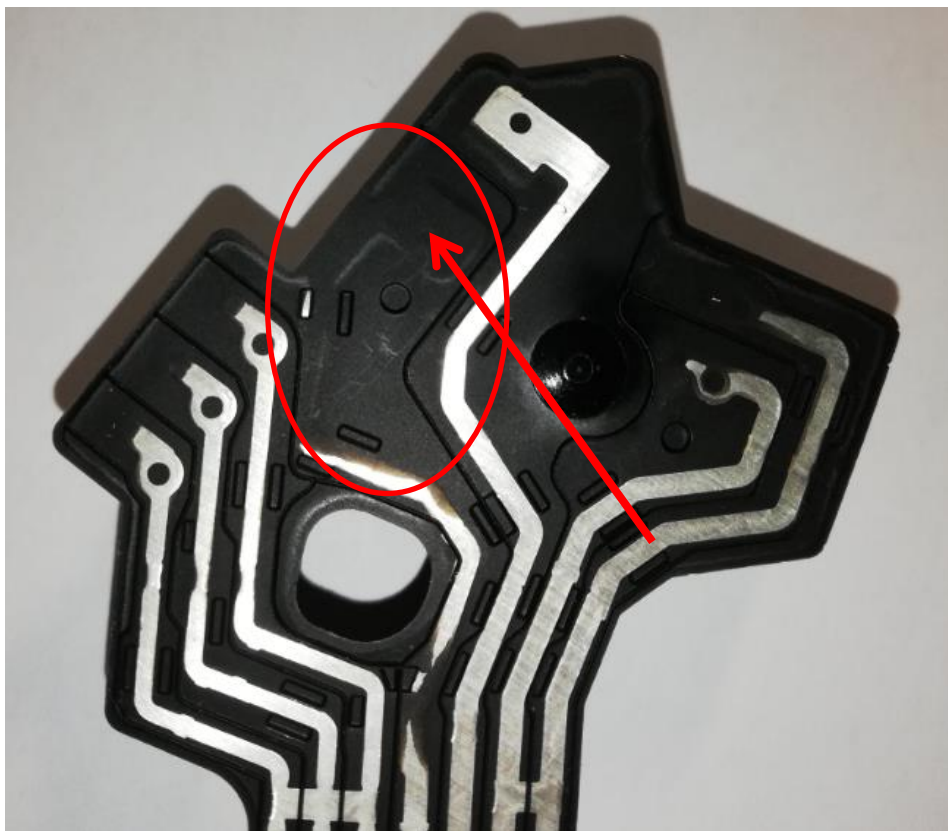
## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
$A_{proj}$	Plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny	[cm <sup>3</sup> ]
$C_{pmin}$	Minimální plastikační kapacita stroje	[kg/h]
$C_v$	Minimální vstřikovací kapacita stroje	[cm <sup>3</sup> ]
$D_K$	Průměr rozváděcích kanálů	[mm]
$K$	Koeficient využití času	[-]
$L$	Maximální délka dráhy toku	[mm]
$N$	Velikost výrobní série	[ks]
$n$	Termínová násobnost formy	[-]
$p_v$	Vstřikovací tlak	[bar]
$t_c$	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
$T_p$	Požadovaný termín dodání výrobků	[h]
$V$	Objem vstřikované součásti	[cm <sup>3</sup> ]
$V_k$	Celkový objem rozváděcích kanálů	[cm <sup>3</sup> ]
$F_{př}$	Minimální přidržovací síla vstřikovacího stroje	[kN]
$\rho$	Měrná hustota materiálu	[g/cm <sup>3</sup> ]

## **SEZNAM PŘÍLOH**

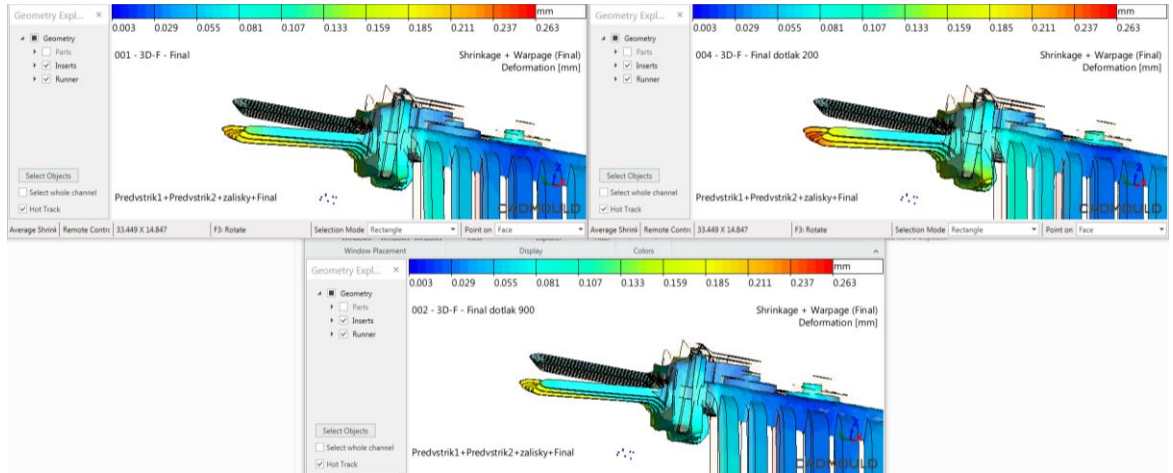
Příloha č.1	Obrázek uplavení konektoru
Příloha č.2	Obrázky změny hodnoty dotlaku

## Příloha č. 1

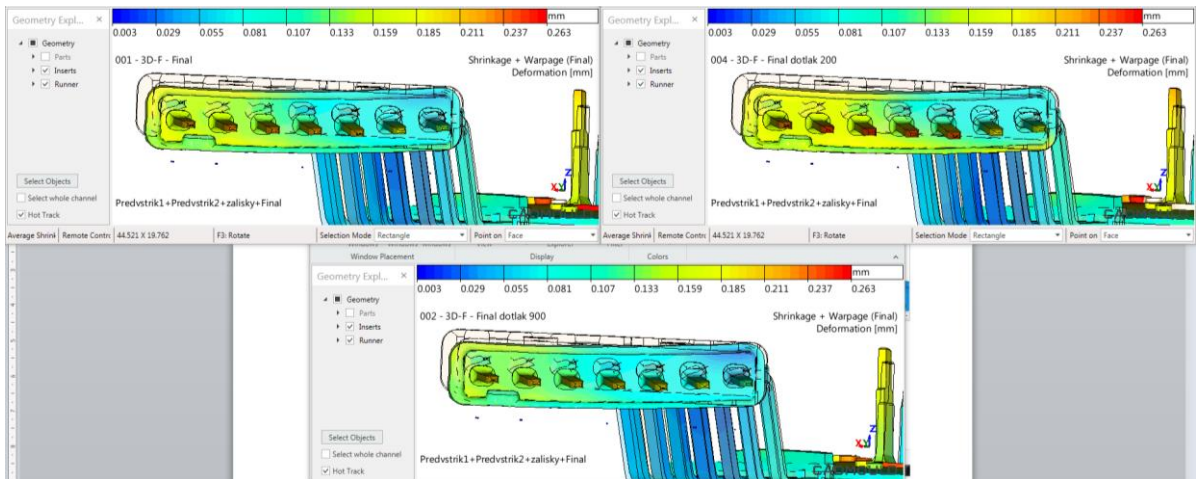


Obr. 112 Uplavání pinu vlivem tlaku vstřikované tekutiny

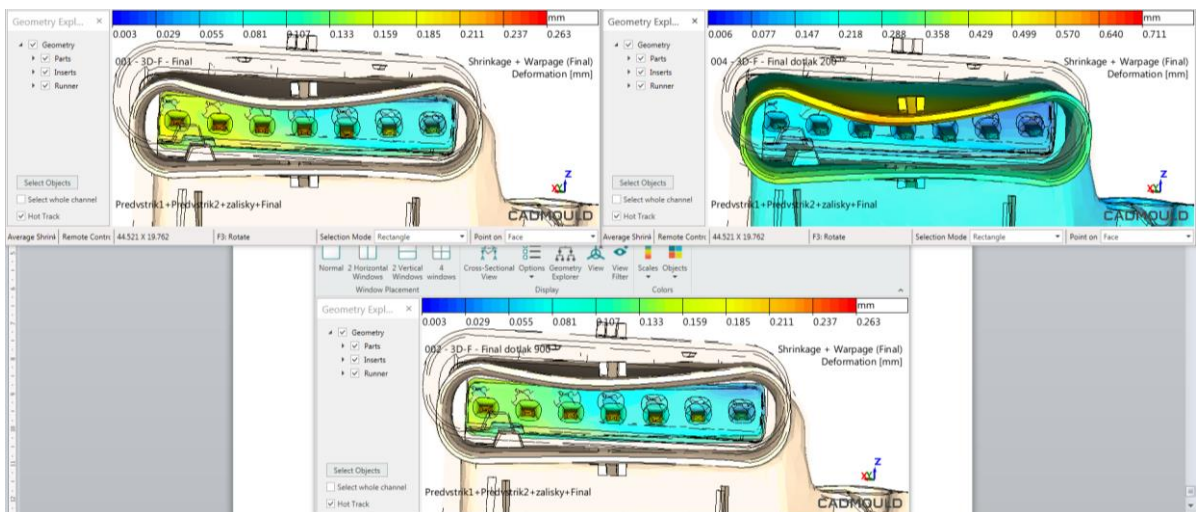
## Příloha č. 2



Obr. 113 Vyosení pinů při různém nastavení dotlaku pohled z boku



Obr. 114 Vyosení pinů při různém nastavení dotlaku pohled z čela



Obr. 115 Celková deformace finálního dílu při různém nastavení dotlaku