

# Vstřikování elastomerní směsi

Bc. Ondřej Zajíček

---

Diplomová práce  
2011/2012

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej ZAJÍČEK**  
Osobní číslo: **T10390**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Vstřikování elastomerní směsi**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Provedte analýzy vstřikovacího procesu v programu Cadmould Rubber
3. Navrhněte konstrukční řešení vstřikovací formy
4. Navrhněte jednotlivé geometrie tokových cest
5. Provedte výrobu vstřikovací formy s jednotlivými geometriemi
6. Vyhodnoťte a diskutujte získané výsledky

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Kamil Kyas**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012



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

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 nevýdělečně 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 vnitřní 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 nahlížení 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, opisy 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, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</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 dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o 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 výdělku 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

V teoretické části je rozebírána problematika vstřikování elastomerů. Dále je popsán průběh vulkanizace, vulkanizační křivky, skladba elastomerní směsi a chyby na výrobcích výstřiků.

Praktická část se skládá z analýz vstřikovacího procesu, návrhu modelu formy a výrobou tvarových desek. Ke konci je nastíněno využití výsledků práce pro budoucí výzkum.

Klíčová slova: vstřikování, vulkanizace, elastomer, chyby výrobků, analýza, CNC obrábění

## **ABSTRACT**

There is discussed the issue of injection moulding process of elastomeric compounds in the theoretical part. More over vulcanization process cure curve, elastomeric compound and product defects of injection molded products are described.

The practical part consists of computational analysis, design of injection mould model and manufacturing of its cavity plates. At the end of the work is outlined how to utilize results for the future research.

Keywords: injection moulding, vulcanization, elastomeric compound, product defect, analysis, CNC manufacturing

Děkuji Ing Kamilu Kvasovi za vedení diplomové práce a odbornou pomoc. Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D., Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., Ing. Jakubu Černému a Ing. Vladimíru Šumberovi za poskytnutí rad a odborných znalostí, které usnadnili vznik této práce.

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....                               | <b>12</b> |
| <b>1 VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ</b> .....                        | <b>13</b> |
| 1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....                                 | 13        |
| 1.2 VÝHODY A NEVÝHODY VSTŘIKOVÁNÍ .....                      | 16        |
| 1.3 VSTŘIKOVACÍ STROJE PRO ELASTOMERY .....                  | 17        |
| 1.3.1 Pístové vstřikovací stroje .....                       | 17        |
| 1.3.2 Šnekové vstřikovací stroje .....                       | 17        |
| 1.3.3 Vstřikovací stroje kombinované (s předplastikací)..... | 18        |
| 1.4 VSTŘIKOVACÍ FORMY .....                                  | 19        |
| 1.4.1 Návrh dutiny formy .....                               | 20        |
| 1.4.2 Vtokový systém.....                                    | 20        |
| 1.4.3 Odvzdušnění dutiny formy.....                          | 21        |
| 1.4.4 Temperace formy .....                                  | 22        |
| 1.4.5 Vyhazování výstřiků z formy.....                       | 23        |
| 1.5 NAVRHOVÁNÍ VÝROBKŮ Z PRYŽE – ZÁSADY A ZAFORMOVÁNÍ .....  | 24        |
| 1.5.1 Tloušťka stěn pryžových výrobků.....                   | 25        |
| 1.5.2 Různé tloušťky stěn a jejich přechody .....            | 25        |
| 1.5.3 Zaoblení hran .....                                    | 25        |
| 1.5.4 Vytváření děr.....                                     | 26        |
| 1.5.5 Vytváření závitů .....                                 | 26        |
| 1.5.6 Okraje pryžových výrobků.....                          | 26        |
| 1.6 VADY NA ELASTOMERNÍCH VÝSTŘICÍCH .....                   | 27        |
| 1.6.1 Smrštění a rozměrová stálost .....                     | 27        |
| 1.6.2 Soudržnost a přilnavost .....                          | 27        |
| 1.6.3 Propadliny .....                                       | 28        |
| 1.6.4 Předčasná vulkanizace .....                            | 28        |
| 1.6.5 Pomerančová kůra .....                                 | 28        |
| 1.6.6 Pórovitost .....                                       | 28        |
| 1.6.7 Vzduchové kapsy .....                                  | 29        |
| <b>2 KAUČUK</b> .....  | <b>30</b> |
| 2.1 HISTORIE KAUČUKU A JEHO ZPRACOVÁNÍ.....                  | 30        |
| 2.2 VLASTNOSTI KAUČUKU.....                                  | 31        |
| 2.2.1 Teplota skelného přechodu .....                        | 31        |
| 2.2.2 Viskozita .....  | 31        |
| 2.2.3 Vulkanizovatelnost.....                                | 32        |
| 2.3 ELASTOMERNÍ SMĚS .....                                   | 33        |
| 2.3.1 Příprava Kaučuku .....                                 | 33        |
| 2.3.2 Vulkanizační přísady.....                              | 34        |
| 2.3.3 Plniva.....  | 35        |
| 2.3.4 Změkčovadla .....                                      | 35        |
| 2.3.5 Antidegradanty .....                                   | 35        |
| 2.3.6 Zvláštní přísady .....                                 | 35        |



|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 2.4       | VULKANIZACE.....   | 36        |
| 2.4.1     | Vliv vulkanizace kaučuku na vlastnostech výsledného výrobku..... | 37        |
| 2.4.2     | Struktura pryže .....  | 37        |
| <b>3</b>  | <b>PRYŽ.....</b>   | <b>39</b> |
| 3.1       | VŠEOBECNÉ VLASTNOSTI ELASTOMERNÍCH MATERIÁLŮ .....               | 39        |
| 3.2       | NAMÁHÁNÍ PRYŽOVÝCH VÝROBKŮ .....                                 | 40        |
| 3.3       | STÁRNUTÍ PRYŽE .....   | 41        |
| 3.3.1     | Účinek ozonu .....   | 41        |
| 3.3.2     | Účinek kyslíku .....   | 41        |
| 3.3.3     | Anearobní stárnutí.....  | 42        |
| <b>4</b>  | <b>CAD/CAM SYSTÉMY A JEJICH VYUŽITÍ .....</b>                    | <b>43</b> |
| 4.1       | ZÁKLADNÍ POJMY .....   | 43        |
| 4.2       | ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÍ.....  | 44        |
| 4.2.1     | Vstupní informace pro řízení .....                               | 44        |
| 4.3       | PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....                         | 45        |
| <b>5</b>  | <b>VYUŽITÍ CAE ( COMPUTER-AIDED ENGINEERING) .....</b>           | <b>46</b> |
| 5.1       | CAD MOULD 3D-F .....   | 46        |
| <b>II</b> | <b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                                      | <b>48</b> |
| <b>6</b>  | <b>CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>                                 | <b>49</b> |
| <b>7</b>  | <b>NÁVRH A ANALÝZY TOKOVÝCH DRAH .....</b>                       | <b>50</b> |
| 7.1       | TVORBA 3D MODELŮ DRAH.....                                       | 50        |
| 7.1.1     | Přímý úzký kanál.....  | 51        |
| 7.1.2     | Přímý široký kanál .....   | 51        |
| 7.1.3     | Úzký kanál křivka .....  | 52        |
| 7.1.4     | Široký kanál křivka .....  | 52        |
| 7.1.5     | Úzký krátký kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku .....              | 53        |
| 7.1.6     | Široký krátký kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku .....            | 54        |
| 7.1.7     | Úzký dlouhý kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku .....              | 54        |
| 7.1.8     | Široký dlouhý kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku .....            | 55        |
| 7.2       | ANALÝZY V CAD MOULD 3D-F .....                                   | 55        |
| 7.2.1     | Modely výstřiků .....  | 55        |
| 7.2.2     | Materiál .....   | 57        |
| 7.2.3     | Nastavení Technologických parametrů.....                         | 58        |
| 7.3       | VYHODNOCENÍ ZJIŠTĚNÝCH HODNOT .....                              | 58        |
| <b>8</b>  | <b>3D MODEL VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>                          | <b>72</b> |
| 8.1.1     | Desky s tvarovými dutinami a tokovými kanály.....                | 74        |
| 8.1.2     | Čidla .....  | 75        |
| 8.2       | VÝROBA DESEK FORMY .....   | 76        |
| 8.2.1     | Programování v program NX 7.5.....                               | 77        |
| <b>9</b>  | <b>ZKUŠEBNÍ VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>                                 | <b>85</b> |
| 9.1       | VSTŘIKOVACÍ STROJ - REP V27 Y125 .....                           | 86        |
| 9.1.1     | Ovládání stroje .....  | 87        |
| <b>10</b> | <b>TESTOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ .....</b>                                  | <b>88</b> |

|      |  |            |
|------|--|------------|
| 10.1 | TAHOVÁ ZKOUŠKA .....                           | 88         |
| 10.2 | ZKOUŠKA TVRDOSTI, SHORE A .....                | 89         |
|      | <b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>                  | <b>92</b>  |
|      | <b>ZÁVĚR .....</b>                             | <b>94</b>  |
|      | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>          | <b>95</b>  |
|      | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b> | <b>96</b>  |
|      | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                    | <b>98</b>  |
|      | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                     | <b>101</b> |
|      | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                      | <b>102</b> |

## ÚVOD

Technologie vstřikování je samozřejmě doménou plastových materiálů, avšak vstřikování elastomerů se na poli jejich zpracování prosazuje stále ve větší míře.

Mezi oběma metodami vstřikování jsou určité rozdíly. Zásadním je ovšem doba, než můžeme být výstřik vyjmut z formy stroje. To je způsobeno dobou potřebnou ke zvulkanizování směsi. V technické praxi je snaha jakýkoliv proces zkrátit, tedy i proces vstřikování elastomerů. Různé trajektorie drah společně se správným nastavením stroje, mohou mít výrazný vliv na tuto úsporu.

Tato diplomová práce se tedy zabývá vlivem geometrie (délky a průřezu tokových kanálů) a různých technologických parametrů na výslednou dobu zpracování.

Tato studie je podpořena analýzami vstřikovacího procesu pomocí softwaru Cadmould Rubber. Pro budoucí testování jsou vyrobeny tvarové desky pro tlustostěnné i tenkostěnné výrobky, které byly navrženy a konstruovány v programu Catia V5R18 a CNC program byl generován v NX 7,5.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ

Je to takový způsob tváření, kdy se zplastikovaný materiál plní (vstřikuje) vysokou rychlostí do dutiny formy, která je temperovaná. Materiál se plastikuje v plastikační jednotce, která je součástí vstřikovacího stroje. Plastikací rozumíme převedení materiálu do plastického stavu, zpravidla účinkem tepla. [1]

Síla která působí na plastikovaný materiál při vstřiku se nazývá vstřikovací síla. Vstřikovací síla vztažená na plochu vstřikovacího pístu nebo šneku se nazývá vstřikovací tlak. Účinkem vstřikovacího tlaku teče plastikovaný materiál vstřikovací tryskou a vtokovými kanály do dutiny formy. Vstřikovací tryska dočasně zabezpečuje spojení plastikací jednotky s formou. [2]

Teplota vstřikovací trysky se často označuje jako teplota vstřikování. Forma je temperovaná, tj. udržovaná na přiměřené teplotě a uzavírána uzavírací silou. Během vstřiku je forma přidržována uzavírací silou, která musí zabezpečit její těsnost. [2]

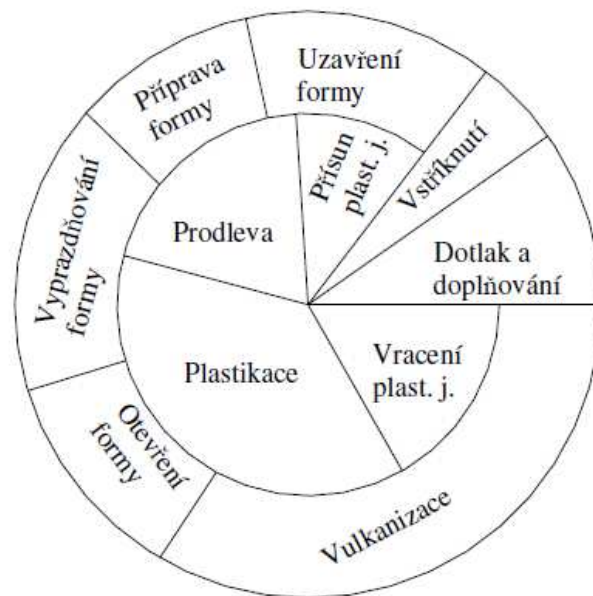
Teplota formy je při vstřikování termoplastů vždy vyšší než teplota vstřikování, při vstřikování reaktoplastů a kaučukových směsí je tomu obráceně. [2]

V dutině formy působí tlak, který je vždy menší než vstřikovací tlak, nazývá se také tvářecí tlak. Rozdíl je způsoben tlakovými ztrátami v plastikační jednotce i samotné dutině formy. [2]

Vstřikování tedy probíhá do uzavřených forem za vysokého uzavíracího a vstřikovacího tlaku. Účinky obou tlaků jsou oddělené, přičemž uzavírací tlak působí dříve, což umožňuje dokonalé bezpřetokové lisování i u velkých a tlustých výrobků. Směs se před vlastním vstřikování ohřívá, což vede ke zkrácení doby vulkanizace. [1]

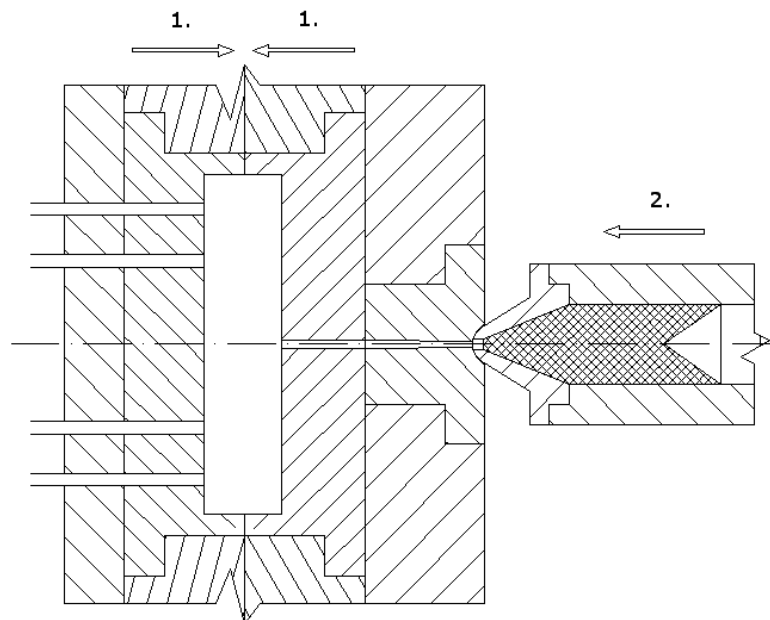
### 1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus zahrnuje dvě oblasti, jedna se vztahuje k plastikaci a druhá k formě. Z tohoto plyne poměrně velká produktivita této metody zpracování polymerních a gumárenských směsí. Vstřikovací cyklus nejlépe popisuje obrázek. [1]



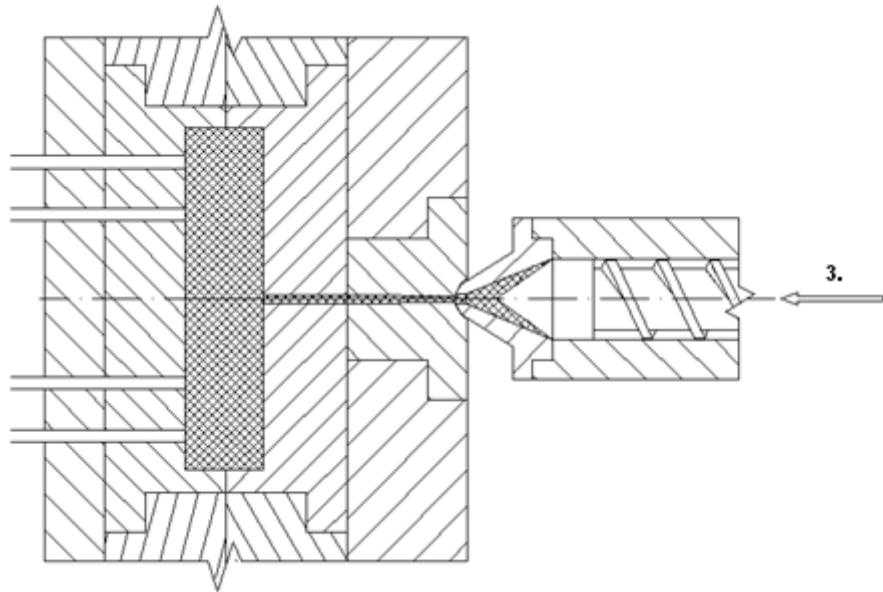
Obr.1. Vstříkovací cyklus

1. Nejdříve se vstříkovací forma uzavře a vstříkovací jednotka je ve výchozí poloze.
2. Vstříkovací jednotka se přisune k uzavřené formě a dosedne na ni.



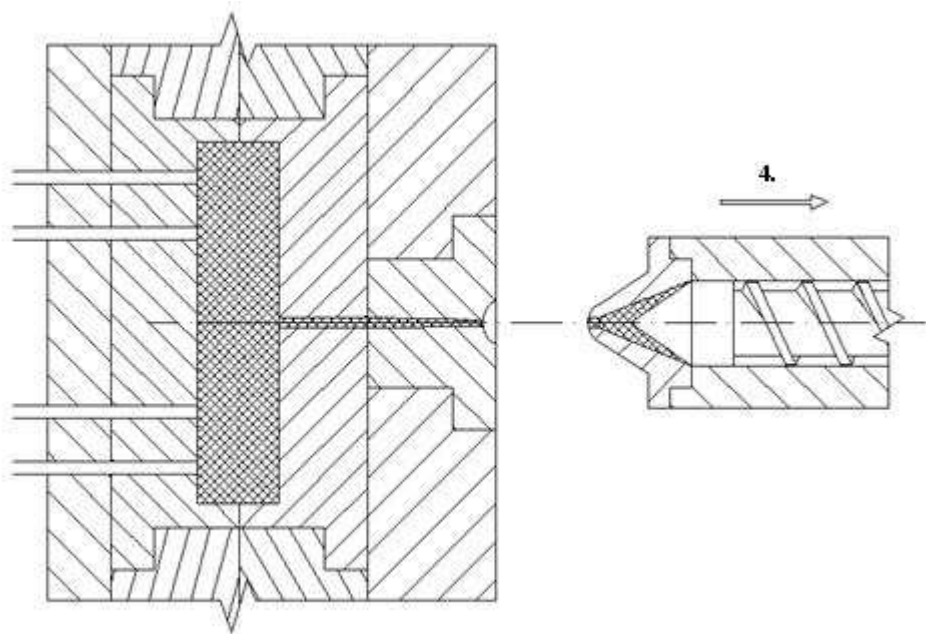
Obr.2. Vstříkovací cyklus 1.

3. Následuje vstříknutí kaučukové směsi a naplnění dutiny.



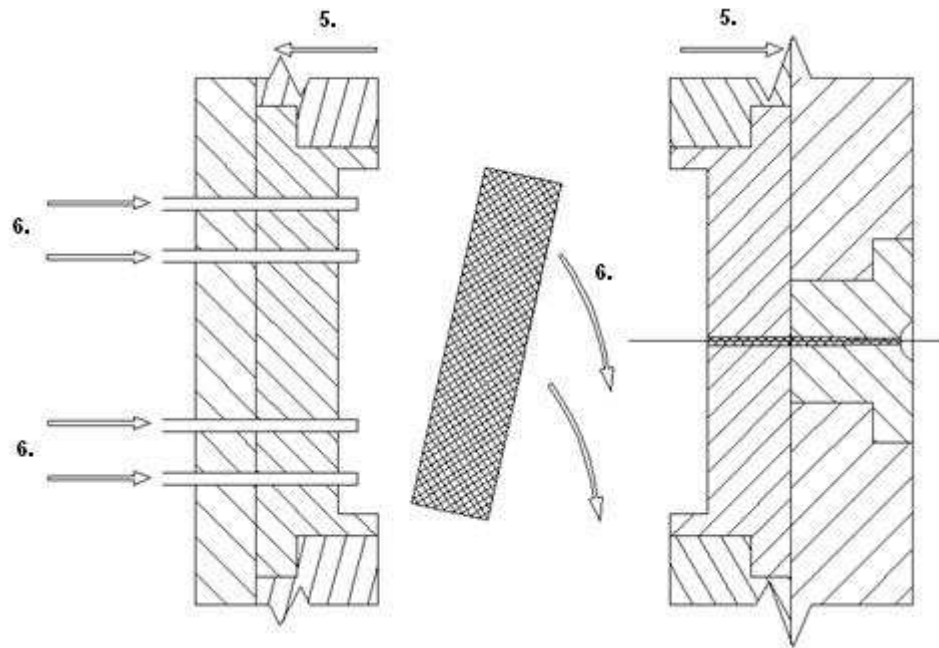
Obr.3. Vstřikovací cyklus 2.

4. Ve formě následuje proces vulkanizace a vstřikovací jednotka se vrací.



Obr.4. Vstřikovací cyklus 3.

5. Po vytvoření dostatečného množství vazeb (90%) se forma otevře.
6. Výstřik se vyhodí z dutiny a dovulkanizuje. Mezi tím už proběhla plastikace nové dávky.
7. Forma se připraví na další cyklus a ten se opakuje.



Obr.5. Vstřikovací cyklus 4.

Pro různé materiály musí být jednotlivé teploty a tlaky přizpůsobeny, pro gumárenské směsi udává orientační hodnoty tabulka:

Tab. 1. Orientační hodnoty pro vstřikování elastomerní směsi [1]

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Vstřikovací teplota | 80-100 °C  |
| Vstřikovací tlak    | 80-100 Mpa |
| Teplota formy       | 160-200 °C |

## 1.2 Výhody a nevýhody vstřikování

Výhody:

- poměrně velká produktivita (materiál se ve šneku připravuje už ve fázi kdy výrobek chladne či vulkanizuje ve formě)
- jednoduché dávkování materiálu
- snadná automatizace tohoto procesu
- menší materiálové ztráty než při přetlačování [1]

Nevýhody:

- složitější, draží zařízení – vstřikovací stroj
- složitější, náročnější výroba formy
- možné vnitřní pnutí ve výrobku [1]



### 1.3 Vstřikovací stroje pro elastomery

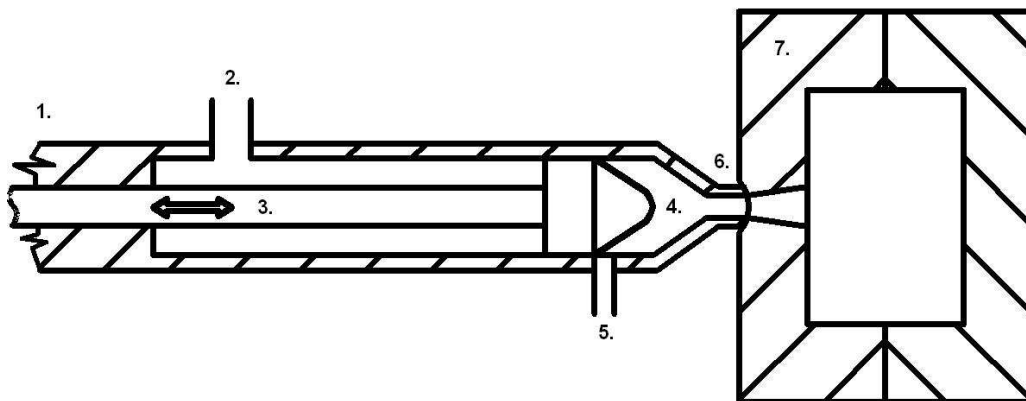
Stroje pro vstřikování mají mnoho důležitých funkcí. Od přípravy samotné směsi, zajištění její plastikace a dopravy, po vystříknutí. Vše musí probíhat za přesně daných technologických podmínek, aby se předešlo vadám a cyklus byl co nejefektivnější.

Vstřikovacích strojů existuje několik druhů, které se liší svou funkcí. Především přípravou směsi s ohledem na ohřev a dopravu materiálu a z toho plynoucí schopnost navodit homogenitu směsi. K dalším rozdílům patří vstřikovací tlak, velikost dávky a v neposlední řadě cena.

Podle konstrukce vstřikovacího stroje je můžeme rozdělit na tyto tři: Pístové vstřikovací stroje; Šnekový vstřikovací stroj; Kombinovaný vstřikovací stroj (s před plastikací).

#### 1.3.1 Pístové vstřikovací stroje

Jednodušší pístový stroj je levnější, než šnekový a protože píst lze vyrobit tak aby seděl velice přesně ve válci, dosahujeme vysokých vstřikovacích tlaků. Avšak směs získává teplotu pouze přechodem přes pracovní válec, proto je těžší udržet vstřikovací teplotu a teplotní homogenitu, a proto tyto stroje nemají širší uplatnění. [3]



*Obr.6. Pístový vstřikovací stroj*

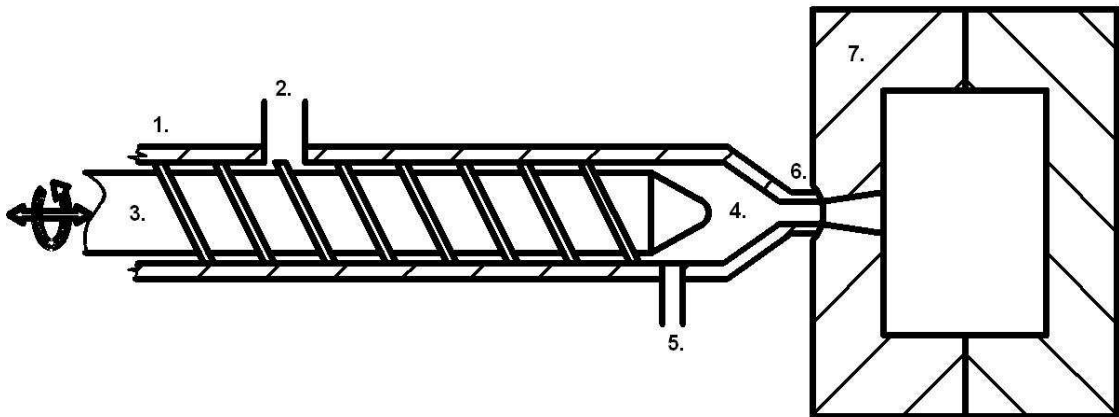
*1.Válec; 2.Plnění materiálem; 3.Píst; 4.Vstřikovací Komora;*

*5.Evakuace těkavých látek; 6.Tryska; 7.Forma*

#### 1.3.2 Šnekové vstřikovací stroje

Šnek ve šnekové vstřikovací stroji má funkci jak vytlačovací, tak vstřikovací jako píst. V tomto typu vstřikovacího stroje se směs ohřívá a plastikuje po celé délce šneku. Je nutné, aby se vstřikované množství materiálu nahromadilo před čelem šneku a pak vstříklo

dopředným pohybem šneku. S tímto systémem, bývá dosaženo mnohem lepší kontroly množství plnění materiálu, společně s mnohem lepším ohříváním dávky vycházejícího za mechanického tření při rotačním pohybu šneku, vyšší stupeň teplotní homogenity a teplotu o 20-30 °C vyšší než je teplota obalu. Avšak, během vstřikovací fáze, když šnek funguje jako píst, dochází nevyhnutelně k úniku materiálu zpět a to limituje velikost použitého vstřikovacího tlaku. [3]



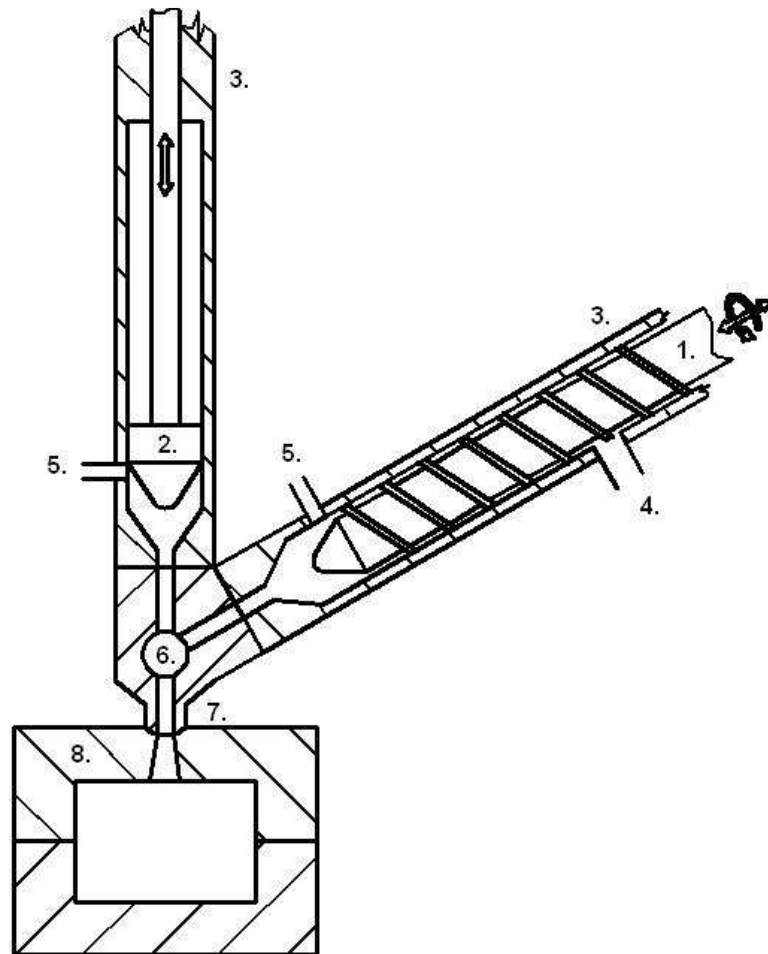
*Obr. 7. Šnekový vstřikovací stroj*

*1.Válec; 2.Plnění materiálem; 3.Píst; 4.Vstřikovací Komora;*

*5.Evakuace těkavých látek; 6.Tryska; 7.Forma*

### 1.3.3 Vstřikovací stroje kombinované (s předplastikací)

Nelineární, nepohyblivý šnekový stroj má oddělenou šnekovou a vstřikovací dutinu a kombinuje výhody obou dvou typů. Šnek plastikuje směs a dopravuje ji přes jednosměrný ventil, do oddělené vstřikovací komory. Stroje tohoto typu, mohou generovat vstřikovací tlak až 200 MPa a mohou efektivně zpracovat vysoce viskózní materiály a efektivně plnit vysoko objemové dutiny. [3]



*Obr. 8. Vstřikovací stroj s předplastikací*

*1.Šnek; 2.Píst; 3.Válec; 4.Plnění materiálem;*

*5.Evakuace těkavých látek; 6.Ventil; 7.Tryska; 8.Forma*

## 1.4 Vstřikovací formy

Vstřikovací formy pro kaučukové směsi se řeší podobně jako formy pro reaktoplasty s přihlédnutím k poměrně vysoké pružnosti vulkanisátů. Formy jsou udržovány na teplotě vulkanizace, které je vždy vyšší než teplota vstřikování, což má zásadní vliv na proudění ve vtokovém systému a v dutině formy. [4]

Používají se dvoudílné i třídílné formy, jednonásobné i mnohonásobné apod. Pro ploché výrobky se uplatňují formy etážové. Násobnost formy se stanoví podobně jako u vstřikovacích forem pro termoplasty. Uzavírací síla souvisí jak s násobností formy, tak i se vstřikovacím tlakem. Běžně leží vstřikovací tlak mezi 35 až 50 MPa, může však dosáhnout až 180 MPa. Tvářecí tlak (v dutině formy) je však nižší a obvykle bývá kolem 5 MPa. [4]

### 1.4.1 Návrh dutiny formy

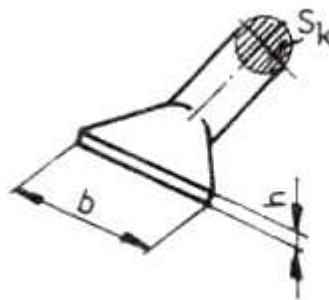
Návrh dutiny formy začíná od dělicí roviny. Poloha dělicí roviny musí vyhovovat požadavkům uvedeným u zaformování výrobku. Pro výrobky, které se obtížně vyjmají z formy, se používá tzv. snížené dělicí roviny. Výrobky jsou mezi sebou spojeny tenkou vrstvou pryže a vyjmají se pak z formy jako celek. Potom se musí ovšem opracovat.[4]

Rozměry dutiny formy se stanoví s ohledem na smrštění, které je větší než u lisování. Závisí na druhu kaučukové směsi. Může překročit i 3 % ve směru toku. Kolmo na směr toku je menší asi o polovinu. Nejmenší smrštění je ve směru kolmém na rovinu toku. Úkosy v dutině formy nejsou důležité vzhledem k pružnosti vulkanizátu. Pokud se volí, postačují minimální nebo střední hodnoty úkosů. Jádra se ukládají tak, aby jejich poloha byla spolehlivě zabezpečena.[4]

Tvarové vložky se mohou vyrábět s přesahem a opracovat až společně s kotevní deskou. Dlouhé tvarové vložky se púlí a upevňují do kotevních desek. Vodicí pouzdra a čepy se řeší stejně jako u jiných typů forem.[4]

### 1.4.2 Vtokový systém

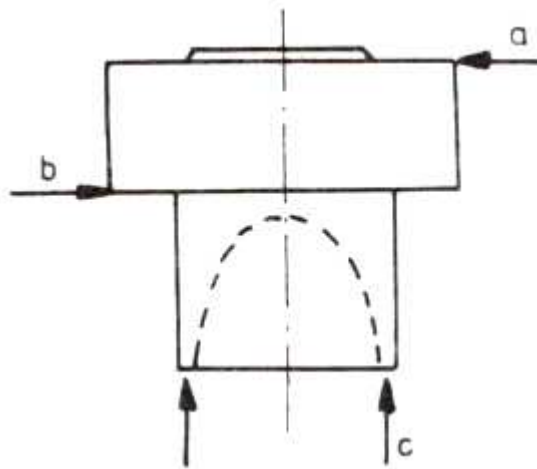
Vtokový systém se volí co nejkratší a vyvážený. Průřezy kanálů jsou kruhové nebo lichoběžníkové. Obvykle se vystačí a průměrem 2-4 mm. Ústí vtoku bývá nejčastěji vějířové. Jeho průřez bývá zhruba polovinou průřezu příslušného kanálku. [4]



Obr. 9. Vějířové ústí vtoku[4]

Ústí vtoku se umísťuje do nejmenšího průřezu výstřiku tak, aby se forma rovnoměrně vyplňovala a mohla se dobře odvdzdušnit. Možnost umístění ústí vtoku můžeme sledovat na Obr 10. V místě a není ústí vtoku vhodné, protože forma se nezaplňuje stejnoměrně. V místě b má ústí vtoku stejnou nevýhodu a navíc komplikuje odvdzdušnění formy.

Nejvhodnější je prstencové ústí vtoku c, které umožňuje rovnoměrné plnění formy a snadné odvzdušnění. [4]

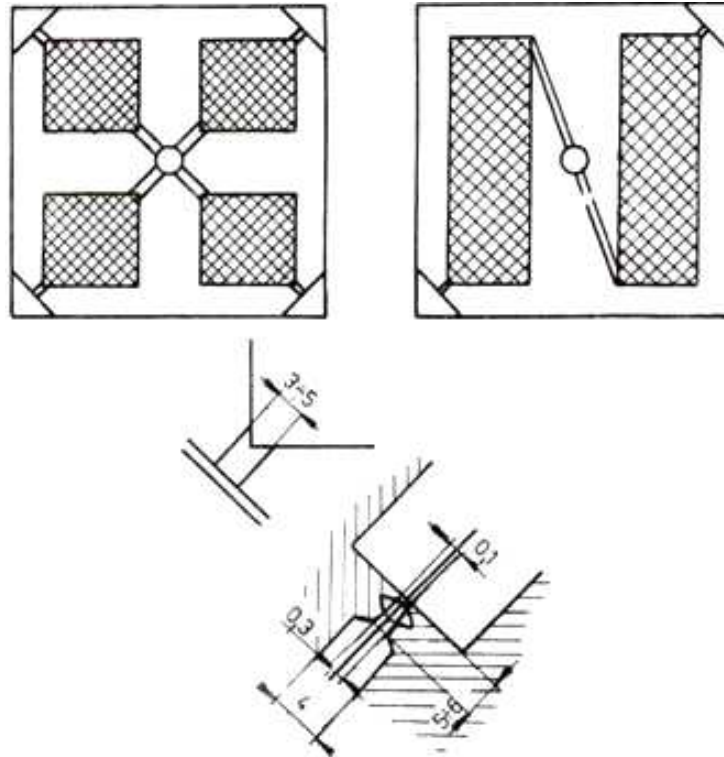


Obr. 10. Umístění ústí vtoku [4]

### 1.4.3 Odvzdušnění dutiny formy

Odvzdušnění dutiny formy je důležité zvláště u výstřiků a členitým povrchem. Odvzdušňovací štěrba se zařazuje do místa, kam materiál zatéká naposled. U souměrných výstřiků odvzdušňovací štěrba bývá naproti ústí vtoku. [4]

Odvzdušňovací štěrba má tloušťku asi 0,1 mm po přetokovou drážku, potom se prohloubí na 0,3 mm a vyústí do odlehčeného prostoru v dosedací ploše. Odvzdušňovací štěrby se také mohou napojit na pomocný sběrný kanál. Náročné formy se před vstřikem evakuují. [4]

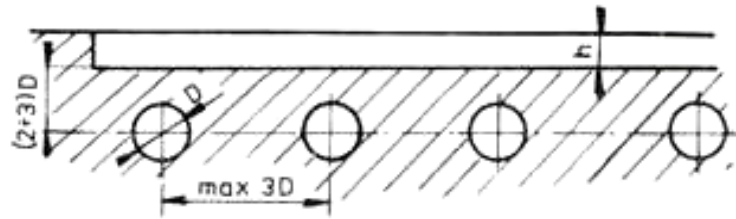


Obr. 11. Odvzdušnění formy [4]

#### 1.4.4 Temperace formy

Formy se ohřívají zpravidla na teplotu 140 - 200 °C. Vyšší teplota zkracuje dobu vulkanizace. Udává se, že přibližné zvýšení teploty asi o 20 °C zkracuje dobu vulkanizace na polovinu. Zvyšování teploty nad 200 °C však již nemá takový efekt. Překročení teploty 240 °C se již nedoporučuje. Teplota vulkanizace se udržuje s přesností + 2 °C. K zvýšení rovnoměrnosti teplotního pole se používá izolačních prvků nebo přídavných kompenzačních topení. Formy mají vlastní zabudované topení nebo se ohřívají od topných desek. Používá se elektrického nebo parního ohřevu. Používá se elektrického nebo parního ohřevu. [4]

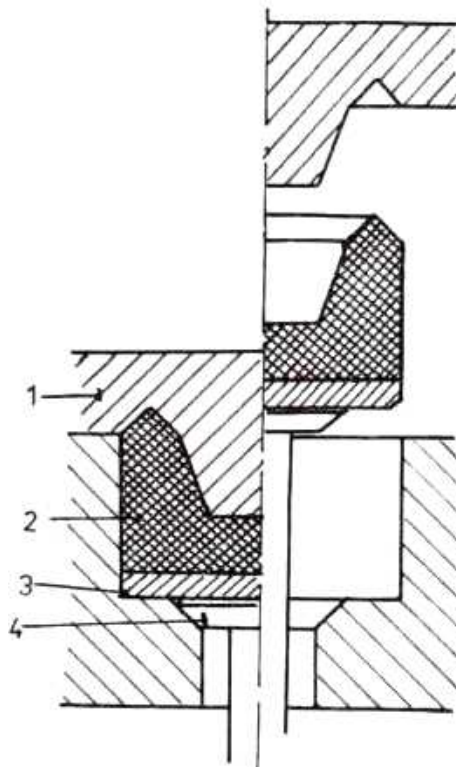
Teplota vstříkovaných směsí leží zpravidla v rozmezí 80 - 110 °C. Ohřevem v kanálcích (přestup a disipovaný výkon) se teplota zvyšuje o 20 - 50 °C, což výrazně ovlivňuje tokové poměry v dutině formy. Směs však nesmí předčasně navulkanizovat.[4]



Obr. 12. Umístění temperančních kanálů [4]

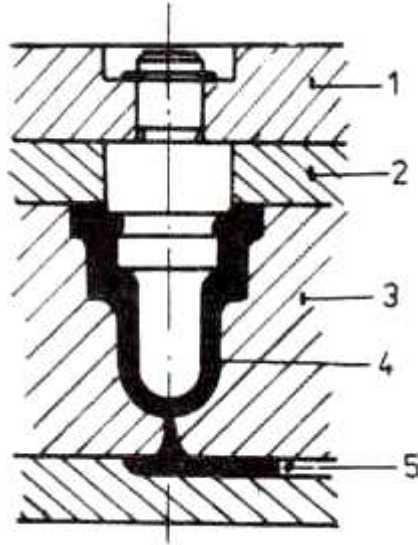
#### 1.4.5 Vyhazování výstříků z formy

Výstříky se vyhazují i forem mechanicky nebo pneumaticky. Jednoduchý případ mechanického vyhazování ukazuje obr. 13. Tohoto způsobu se používá často u pryžových dílců nebo výstříků a větší tvrdostí. Použití stírací desky je na obr. 14. [4]



Obr. 13. Mechanické vyhazování [4]

1 – Tvárník; 2 – Tvárnice; 3 – Kovová vložka; 4 – Talířový vyhazovač



Obr. 14. Forma se stírací deskou [4]

1 – Kotevní deska; 2 – Stírací deska; 3 – Tvárnice; 4 – Výstřík; 5 – Rozváděcí kanál

Pneumatické vyhazování se řeší obdobně jako u forem pro termoplasty. Při ručním vyjímání se s výhodou využívá snížené dělicí roviny. Některé výrobky je výhodné vyjmát z formy i s jádrem. Vytahování jader se pak zabezpečuje mimo formu ve speciálních přípravcích. [4]

### 1.5 Navrhování výrobků z pryže – Zásady a zaformování

Správná konstrukce výrobku z pryže musí splňovat všechny technologické parametry, které vyplývají z jeho funkce v daném zařízení a také se musí co nejjednodušeji vyrábět. Taky musíme myslet na to, aby konstrukce odpovídala zásadám gumárenských technologických postupů a zároveň aby spotřeba výrobní suroviny byla co nejmenší. Z tohoto plyne možnost snížení nákladů, ale také možnost zvýšení výskytu neshodných výrobků.[8]

Konstrukce musí splňovat některé základní parametry:

1. Volit nejjednodušší tvary.
2. Tvar upravit tak aby součásti měly co nejmenší hmotnost při zachování potřebné pevnosti a dalších mechanických a dynamických vlastností.
3. Volit takovou konstrukci, aby nevznikaly zmetky převulkanizováním nebo nedovulkanizováním rozdílných průřezů
4. U pryžových výrobků upravit plochy kovových součástí tak, aby byla zaručena vyrobiteľnosť i správná funkce



5. Omezit na nejmenší míru dokončovací práce [8]

### 1.5.1 Tloušťka stěn pryžových výrobků

Stejnomenosti základních vlastností pryže v různých místech výstřiku lze dosáhnout jen tehdy, je-li tloušťka všech průřezů stejná, Vulkanizace pak probíhá stejnoměrně a výroba je hospodárná. Tato zásada se má dodržovat při konstrukci výstřihů z měkké pryže a je nezbytné ji dodržet při navrhování tvarů z tvrdé pryže. [8]

Gumárenská směs je v zásadě špatným vodičem tepla. Získání dobrého vulkanizátu závisí na stejnoměrném prohřátí gumárenské směsi v celém průřezu. Tyto dvě okolnosti omezují rozsah tloušťky průřezu výstřiků při vulkanizaci. Tělesa s otvory menšími než 30mm musíme považovat za výstřiky plné. Je-li jádro vyhřívané, můžeme používat i větších otvorů. [8]

### 1.5.2 Různé tloušťky stěn a jejich přechody

Kvůli konstrukčním důvodům nemůžeme často dodržet stejnou tloušťku průřezu. V těchto případech musíme používat pozvolných přechodů mezi těmito různými průřezy. Při napojování několika stěn, kde je výstřik tlustější, musíme konstrukci upravit tak, aby tloušťka tohoto průřezu nebyla příliš rozdílná. Z této rozdílnosti tlouštěk plyne možnost vzniku trhlin, v důsledku nestejnomeného smršťování. [8]

### 1.5.3 Zaoblení hran

Ostré hrany, kouty, zářezy a vruby mají nepříznivý vliv na životnost pryžového výrobku. V ostrých hranách a zářezech se zvětšuje napětí vláken, tak rychleji podléhají únavě. Kouty a hrany musí být zaobleny a součást by měla mít kuželový tvar. Tím se zvětšuje mechanická pevnost výrobku, usnadňuje se tečení gumárenské směsi, předchází se tím vzniku zmetků a zlepšuje se vzhled výstřiku. [8]

Zaoblení bývá obvykle nejméně 1mm. U dynamicky namáhaných součástí by mělo být zaoblení ještě větší. Platí zásada, že čím větší jsou poloměry zaoblení, tím stejnoměrnější je zatížení všech povrchových vláken a tím menší je možnost vzniku trhlin. Avšak hrany v dělicí rovině se nedoporučuje zaoblovat, protože to zdražuje výrobu formy a znesnadňuje vytahování vylisku z formy. [8]

### 1.5.4 Vytváření děr

V pryžových součástech se při tváření mohou pomocí trnů vytvářet otvory různých průřezů. Při tváření gumárenské směsi je trn (jádro) namáhán značným tlakem, který musí být řízen tak, aby se trn nachýlil z předepsané polohy. Pro bezpečnou výrobu otvorů platí tyto zásady:

1. u průchozích otvorů, kde je jádro podepřeno na dvou koncích, má být průměr  $D=0,2$  délky otvoru. Nejméně však 1mm a tloušťka stěny mezi otvory má být minimálně 2mm
2. u slepých otvorů, kde je jádro uchyceno letmo, má být  $D=0,4$  délky, nejméně však 1mm a tloušťka stěny mezi otvory má být minimálně 2mm
3. u výstřiků s většími dutinami, než je uvedeno v bodu 2., musí být stěny tlustší, protože jinak by se trn tlakem a tokem gumárenské směsi vychýlil ze své osy. [8]

### 1.5.5 Vytváření závitů

Vnitřní i vnější závit se tváří závitovými trny nebo závitovou maticí. Součást pryže, jejichž tvrdost není větší než 90 Shore, se nedoporučuje upevňovat pomocí závitů tvářených v pryži, protože pevnost spoje je malá. Ve výstřicích z tvrdé pryže lze závit tvářet od průměru 6mm do 30mm. Závit má být zaoblen. [8]

### 1.5.6 Okraje pryžových výrobků

Okraje tenkostěnných výrobků z pryže mají být pokud možno zesílené. Jednak se tím chrání okraj proti roztržení (vzhledem k malé strukturní pevnosti pryže dochází po nepatrném narušení okraje k postupnému trhání i působením malých sil), jednak se takový okraj nemůže zaměnit s přetokem, který se odděluje od výstřiku. [8]

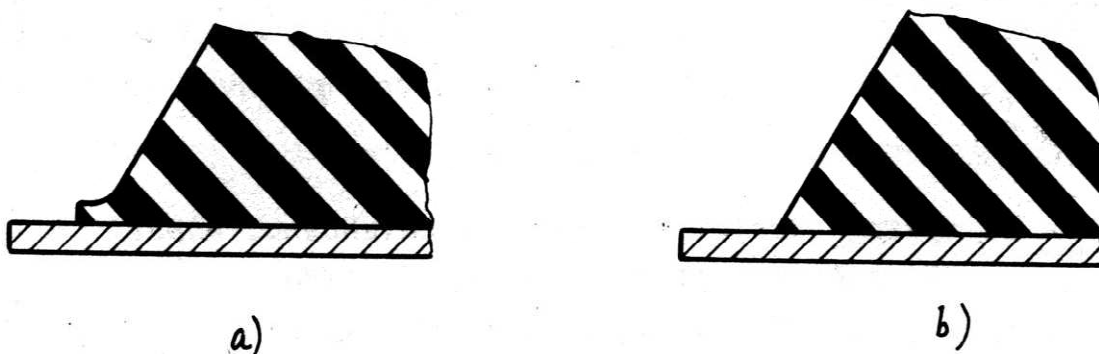


Obr. 15. Konstrukce okrajů [8]

a) dobře, tenký okraj je vyztužen b) špatně, tenký okraj může být zaměněn s přetokem

U pryžových výrobků může nevhodně ukončený okraj pryže způsobit vážné poruchy v provozu. Při namáhání pryžokovových prvků jsou zpravidla nejvíce namáhána okrajová a

povrchová vlákna. Proto musí být zakončení takové, aby se v pryži nekonzentrovalo napětí. [8]



Obr. 16. Okraje u pryžových výrobků [8]

a) dobře, okrajová vlákna jsou odlehčena

b) špatně, při zatížení se pryž v okrajích snadno odtrhne

## 1.6 Vady na elastomerních výstřicích

Při vstřikování elastomeru mohou nastat různé problémy (technologické, ekonomické, designérské atd.), ale existuje rada problému, které nelze zjistit, dokud se forma neotevře. Některé z nich jsou stručně popsány níže. [7]

### 1.6.1 Smrštění a rozměrová stálost

Během chlazení se smršťuje dutina formy i výrobek, obvykle s rozdílnou hodnotou, protože kovy a elastomery mají rozdílný koeficient tepelné roztažnosti. Smrštění je obvykle definováno jako rozdíl mezi rozměry dutiny formy a konečného výrobku, u obou za pokojové teploty. Smrštění by mohlo být lépe definováno, kdyby se vztahovalo k horké formě a zchlazenému výrobku, ale výše uvedenou definici je jednodušší použít v praxi na konkrétních případech. [7]

Smrštění se dělí na smrštění během vstřikování a dodatečné smrštění, které se projeví postupem času. Hodnota smrštění nemusí být pro konstrukci dutiny formy takový problém, pokud by tato hodnota nebyla proměnná, což ve většině případu je. [7]

### 1.6.2 Soudržnost a přilnavost

Přilnavost elastomeru k povrchu dutiny formy není žádána, naopak soudržnost výrobku je nutná. Aby nedošlo k přilepení kaučukové směsi k povrchu dutiny, používá se vhodný

separační prostředek. Většina separačních prostředků je založena na silikonové bázi a jsou nanášeny na povrch dutiny v dělicí rovině. [7]

### 1.6.3 Propadliny

Tento termín se používá pro vady na výrobcích, které vypadají jako trhliny, nebo propadlé dutiny. Jsou způsobeny tepelnou roztažností pryže po zesíťování, ta se může dostat během vulkanizace do dělicí roviny, nebo do vtokových kanálků, což je způsobeno změnou objemu během síťování a způsobí prasknutí (propadliny). Velmi záleží na tvaru (geometrii) výrobku (koule je nejzávažnějším případem). [7]

Redukce propadlin je možná zmenšením tloušťky stěny, zvětšením velikosti dotlaku a zvětšením velikosti vtoku. Lze také využít retardéru vulkanizace, protože oddalují dobu, kdy materiál začne vulkanizovat, tím se může zvýšit teplota taveniny i doba dotlaku a zajistí se vyplnění formy před začátkem vulkanizace. Jestliže není možné odstranit nebo redukovat propadliny změnou procesních parametrů, tak je lze eliminovat úpravou povrchu. [7]

### 1.6.4 Předčasná vulkanizace

U vstřikování elastomeru může dojít k předčasné vulkanizaci před vstříknutím elastomerní směsi do vstřikovací formy. Tím se zhorší tokové vlastnosti. Slabý tok taveniny do formy vede k deformaci nebo nedotečení výstřiku. K zabránění nebo odstranění předčasné vulkanizace je nutné, aby forma byla zcela vyplněna před tím, než kaučuková směs začne vulkanizovat a ujistit se, že dutina formy je rovnoměrně vyhřívána. Dále lze eliminovat přidáním retardéru vulkanizace do směsi. [7]

### 1.6.5 Pomerančová kúra

Pomerančová kúra je způsobena kontaktem první vstříknuté vrstvy s horkým povrchem formy. Tato vrstva začne síťovat před tím, než je dutina formy úplně zaplněna. Pomerančová kúra vzniká sloučením dříve a později zvulkanizovaným kaučukem. [7]

### 1.6.6 Pórovitost

Pórovitost bývá způsobena nedostatečnou vulkanizací a přítomností tekavých látek, nejčastěji vodou ve směsi. Vyšší vstřikovací teplota a vyšší teplota formy nebo delší doba vulkanizace můžou pomoci vyřešit tento problém. [7]

### 1.6.7 Vzduchové kapsy

Vzduchové kapsy v kaučukové směsi jsou velmi časté. Vznikají nejen uvnitř, ale i na povrchu výstřiku. To může vést k nedovulkanizování směsi. Mohou být eliminovány zvýšením dotlaku, snížením vstřikovací rychlosti nebo efektivním odvzdušněním formy.  
[7]

## 2 KAUČUK

Kaučuk je elastomer schopný vulkanizace, tj. polymer, převeditelný chemickou reakcí z lineárního do rovnoměrně zesíťovaného stavu. Síťovací reakci v kaučucích nazýváme vulkanizace.

Elastomer je každý lineární polymer, který je při běžné teplotě malou silou značně deformovatelný bez porušení, tj. vykazuje tzv. kaučukovou elasticitu. Kromě všech kaučuků patří mezi elastomery např. polyizobutylene, měkčený Polyvinylchlorid a měkčený polyvinylbutyral.

Vzhledem k prudkému rozvoji nových síťovacích systémů v poslední době je stále více lineárních polymerů převeditelných do zesíťovaného stavu. Proto se rozdíl mezi pojmy kaučuk a elastomer stále zmenšuje.

### 2.1 Historie Kaučuku a jeho zpracování

Do Evropy se přírodní kaučuk dostal již r. 1736. K jeho prvnímu použití došlo v r. 1791. Byla to výroba nepromokavých plachet a hlavně pytlů na přepravu pošty. Kaučuk se rozpouštěl v terpentýnové silici a roztokem se natíral textil, který byl po vyschnutí nepropustný pro vodu. Skutečný základ gumárenství však položil až v roce 1839 Charles Goodyear. Výrobu kaučukového zboží v USA zahájil se svými společníky nepříliš úspěšně v roce 1833. O pět let později se spojil s Nathanielem Haywardem a snažili se zlepšit kvalitu kaučukových výrobků jejich impregnací roztoky síry. Vypracovali postup modifikace kaučuku založený na solarizačním procesu, tj. vystavení kaučukové fólie nejdříve účinku oxidu siřičitého nebo síry a potom účinku slunečních paprsků, který Hayward v r. 1839 patentoval. Zápach vyrobeného zboží a jeho tvrdnutí v chladném počasí však patentovaný postup prakticky znehodnotily.

Goodyear pokračoval ve své výzkumné práci a ještě téhož roku zjistil, že v roztavené síře se kaučuk nerozpouští, ale naopak tuhne a stává se odolným vůči účinkům tepla, chladu a rozpouštědel. Svůj objev přihlásil k patentování a v r. 1844 mu byl patent udělen

Tím, čím byl pro americký gumárenský průmysl Charles Goodyear, byl pro průmysl Velké Británie Thomas Hancock. V r. 1842 mu jiný anglický výzkumník, William Brockendon, ukázal několik Goodyearových výrobků. Hancock zjistil, že páchnou po síře a jsou odolné vůči chladu. Hancock tehdy neznal Goodyearův způsob jejich přípravy a nezávisle na něm objevil, že změněných vlastností kaučuku lze dosáhnout jeho zahříváním v roztavené síře.

Stručně řečeno, Hancock, stejně jako Goodyear, objevil vulkanizaci. Tento termín však zavedl William Brockendon. Odvodil jej z řecké mytologie od jména boha Vulkána, jehož činnost je charakterizována právě působením síry a tepla.

Hlavní rozvoj gumárenského průmyslu nastal až po vynálezu pneumatiky. První ji patentoval v r. 1845 Robert Thomson. Byla to vlastně hadice z pogumovaného textilu, opatřená koženým pouzdem, přišroubovaná na obvod dřevěného kola. Thomsonův vynález však našel praktické uplatnění až po r. 1888, kdy obdobnou pneumatiku, určenou pro jízdní kola, patentoval John Dunlop.

## 2.2 Vlastnosti Kaučuku

Nejzákladnějšími vlastnostmi kaučuku jsou:

- Viskozita
- Vulkanizovatelnost
- Teplota skelného přechodu  $T_g$

### 2.2.1 Teplota skelného přechodu

Všechny kaučuky mají mít schopnost, aby vulkanizáty z nich připravené byly použitelné v rozmezí běžných teplot, při nichž pracuje člověk. Proto jejich teplota skelného přechodu bývá podstatně menší než  $0^\circ\text{C}$ . Hodnoty  $T_g$  běžných kaučuků uvádí tabulka:

*Tab. 2. Teploty skelného přechodu běžných kaučuků [5]*

| Kaučuk                        | Teplota skelného přechodu $T_g$ [ $^\circ\text{C}$ ] |
|-------------------------------|--|
| Silikonový kaučuk             | - 120  |
| Butadienový kaučuk            | - 100  |
| Butylkaučuk                   | - 80   |
| Přírodní a izoprenový kaučuk  | - 75   |
| Butadien-styrenový kaučuk     |  |
| • s 23% styrenu v kopolymeru  | - 60   |
| • s 53% styrenu v kopolymeru  | - 14   |
| Polynorbornen                 | + 35   |
| Polynorbornen s 200 dsk oleje | - 60   |

### 2.2.2 Viskozita

Charakteristickou vlastností, závislou na molární hmotnosti kaučuku a její disperzitě, je jeho viskozita (často, zejména ve starší literatuře, se setkáváme s nesprávně používaným

pojmem plasticita; tato veličina je totiž viskozitě nepřímo úměrná). Charakterizuje zpracovatelnost kaučuku, tj. schopnost být mechanicky hněten a dále zpracováván. K tomuto účelu se nejčastěji používá viskozita Mooney. Její hodnota se u tzv. přímo zpracovatelných kaučuků pohybuje většinou kolem 50 ML (1+4) při 100 °C. [5]

Střední molární hmotnost kaučuku a disperzita hmotností jeho makromolekul závisí na způsobu výroby kaučuku a mění se i při jeho zpracování. [5]

Viskozita kaučuků závisí na teplotě, se vzrůstem teploty v důsledku poklesu mezimolekulárních soudržných sil klesá. Snižováním teploty viskozita kaučuku vzrůstá, a to tím více, čím více se blížíme k jeho teplotě zesklenní ( $T_g$ ). Při pomalém ochlazení snadno krystalizujících kaučuků dochází k jejich samovolné krystalizaci a tím k tvrdnutí kaučuku nad teplotu zesklenní. Názorně to ukazuje obr. 4. Největší rychlost krystalizace má přírodní kaučuk při teplotě -25 °C. (Teplota tání krystalické fáze přírodního kaučuku však činí +30 °C.) [5]

### 2.2.3 Vulkanizovatelnost

Přímo zpracovatelné kaučuky (syntetické a novější druhy kaučuku přírodního) nebo lámaný kaučuk a jejich směsi s přísadami se vyznačují schopností měnit poměrně snadno tvar působením napětí. Vytvořená deformace má převážně nevratný charakter. Mají tedy dostatečnou plasticitu, zejména při teplotách nad 100 °C. Konečné výrobky (pryž) však musí mít stabilní tvar a dobré mechanické vlastnosti. Potřebné změny těchto vlastností se docilují vulkanizací. [5]

Vulkanizací kaučuk podstatně mění prakticky všechny svoje vlastnosti. Ztrácí také rozpustnost v rozpouštědlech; pouze v nich botná, a to tím méně, čím více je zvulkanizován. Teplota skelného přechodu se vulkanizací prakticky nemění (nepatrně vzrůstá). Vulkanizací přírodního a ostatních krystalizujících kaučuků se zmenšuje sklon k jejich samovolné krystalizaci. Tím se rozšiřuje teplotní oblast použitelnosti pryže (např. u přírodního kaučuku až do teplot kolem -50 °C), což je v mnoha aplikacích důležité (pneumatiky v zimě). Fyzikální vlastnosti pryže, tj. vulkanizovaného kaučuku, se však s teplotou mění málo. [5]



## 2.3 Elastomerní směs

Základní složkou kaučukové směsi je kaučuk. Kaučuková směs vzniká přidáním těch přísad do kaučuku, které umožňují jeho vulkanizaci a dávají výrobku (vulkanizátu) žádané vlastnosti. [5]

Vmícháme-li do kaučuku jen některé přísady a vynecháme některou ze složek kaučukové směsi (např. některou ze složek vulkanizačního systému nebo celý vulkanizační systém), připravíme předsměs. Nejběžnější jsou předsměsi složené z kaučuku, změkčovadla a plniva. Scházející složky se do předsměsi přidávají až před definitivním zpracováním kaučukové směsi a její vulkanizací. Předsměsi je možno velmi dlouho skladovat bez nebezpečí samovolného znehodnocení. [5]

Naproti tomu při dlouhodobém skladování kompletních kaučukových směsí by mohlo dojít k jejich navulkanizování. Vulkanizační systém totiž reaguje (i když pomalu) i při běžné teplotě (kolem 20 °C) a proto úplné kaučukové směsi mají omezenou dobu skladování. [5]

### 2.3.1 Příprava Kaučuku

Plastikace je první operací s kaučukem. Jejím účelem je upravit zpracovatelnost kaučuku. Intenzivním hnětením kaučuku dochází ke snižování jeho střední molekulové hmotnosti na hodnotu, která umožňuje rychlé vmíchání přísad a výrobu homogenní směsi s požadovanou zpracovatelností. U syntetických kaučuků mluvíme také často o jejich odbourávání. Dříve bylo odbourávání kaučuků časté, zejména při zpracování prvních typů butadien-styrenového kaučuku; zejména se odbourávala německá Buna S-3. Dnes se plastikují ještě některé starší typy přírodního kaučuku. Pracuje se většinou v hnětacích strojích. Většina syntetických kaučuků se však již dodává v přímo zpracovatelném stavu. Tyto kaučuky nepotřebují před zpracováním plastikaci (odbourávání). [5]

Proces plastikace přírodního kaučuku je často nazýván lámáním (též mastikací). Provádí se běžně při přípravě směsí v laboratoři hnětením mezi staženými válci laboratorního dvouválce po dobu pěti až třiceti minut, podle požadovaného stupně polámání kaučuku. Čím více je přírodní kaučuk polámán, tím snadněji se tvaruje, tím rychleji a ochotněji přijímá plniva, ale tím horší se získávají vlastnosti vulkanizátu. Proto stupeň polámání přírodního kaučuku má být pro daný způsob zpracování co nejmenší. [5]

### 2.3.2 Vulkanizační přísady

Jednu nebo častěji několik složek, přidávaných do kaučuku v poměrně malé koncentraci (několika dsk), které po vhodném zahřátí kaučukové směsi způsobí chemickou reakci s kaučukem jeho vulkanizaci, nazýváme souhrnně vulkanizačním systémem. Původně to byla samotná síra, později k ní přibyly další látky, které vulkanizaci urychlily anebo zlepšily její účinnost a vlastnosti vulkanizátu. Staly se tak se sírou složkami vulkanizačního systému.[5]

Při vulkanizaci sírou se dnes běžně přidávají aktivátory a urychlovače, někdy též retardéry vulkanizace, nověji inhibitory navulkanizace. [5]

1. **Vulkanizační činidlo** je základní složkou vulkanizačního systému. Nejběžnějším a současně nejdůležitějším vulkanizačním činidlem zůstala elementární síra. Používají se však také jiná vulkanizační činidla, jako dialkyl - a diacylperoxydy reaktivní pryskyřice, oxidy kovů a další látky.
2. **Urychlovače** mají při sírové vulkanizaci tyto účinky:
  1. Zvětšují podstatně rychlost vulkanizace.
  2. Zvětšují významně síťovací účinnost síry (v přítomnosti aktivátoru) a tím současně zmenšují modifikaci řetězců kaučukového uhlovodíku, čímž zlepšují i stárnutí pryže.
  3. Umožňují upravovat vulkanizační průběh podle požadavků technologie a současně podle požadavků na vlastnosti pryže.
  4. Zmenšuje závislost rychlosti vulkanizace na teplotě, tj. snižují její aktivační energii.
3. **Aktivátory** vulkanizace také zmenšují závislost rychlosti vulkanizace na teplotě, ale především podstatně zvětšují účinnost vulkanizační (síťovací) reakce.
4. **Retardéry** vulkanizace patří dnes již ke starším skupinám přísad. Prodlužují zpracovatelskou bezpečnost kaučukové směsi (dobu, po kterou může být směs zpracována bez nebezpečí předčasného navulkanizování), ale za cenu zpomalení síťovací reakce.
5. **Inhibitory** navulkanizace, které naopak tvoří moderní skupinu přísad do kaučukových směsí, naproti tomu prodlužují zpracovatelskou bezpečnost, aniž by prakticky ovlivňovaly rychlost vlastního síťování. Dobu vulkanizace tedy prodlouží

pouze o tolik, o kolik prodlouží dobu zpracovatelské bezpečnosti (navulkanizace).  
[5]

### 2.3.3 Plniva

Ve většině kaučukových směsí jsou obsažena plniva. Upravují vlastnosti pryže. Jsou to látky tuhé konzistence, většinou práškové. Přidávají se ke kaučuku ve velkých koncentracích, řádově 50 dsk až 100 dsk, v některých případech i více, např. až 200 dsk. Plnivavždy významně mění téměř všechny vlastnosti pryže. Podstatně zvětšují její tvrdost a modul, často zvyšují pevnost. Tzv. aktivní plniva velmi významně zvětšují odolnost pryže vůči oděru.[5]

### 2.3.4 Změkčovadla

Jsou to nízkomolekulární látky, většinou tekuté konzistence (oleje). Zlepšují zpracovatelnost kaučukových směsí. Snižují tvrdost vulkanizátů a jejich modul. Současně významně snižují teplotuzesklennění použitého kaučuku. Většinou zlevňují kaučukovou směs a tím i výrobek, neboť to bývají nejlevnější složky kaučukové směsi. Nejpoužívanějšími změkčovadly jsou olejovité produkty odpadající při zpracování ropy nebo dehtů jako destilační zbytky.[5]

### 2.3.5 Antidegradanty

Kaučuky jsou běžně stabilizovány proti degradaci během skladování a zpracování přísadou chemikálií, které v nich působí jako stabilizátory. Také vulkanizovaný kaučuk (pryž) je třeba chránit proti škodlivému vlivu prostředí, v němž je používán. Proto se do kaučukové směsi přidávají sloučeniny, které jsou schopny chránit výrobek po dlouhou dobu před degradací. Nazýváme je antidegradanty. Pro ochranu pryže před účinkem ozonu jsou přidávány do kaučukových směsí antiozonanty a pro ochranu před degradací kyslíkem a n t i - ozonanty. Jejich koncentrace se pohybují od 0,1 dsk (stabilizátory), do 3 dsk (antidegradanty) až 5 dsk (ve speciálních případech). Souhrnně také často mluvíme o antidegradiačním systému. [5]

### 2.3.6 Zvláštní přísady

Přidávají se jen do některých kaučukových směsí pro dosažení určitých speciálních vlastností pryže nebo směsi. Patří k nim zejména: nadouvadla, pigmenty, faktisy,

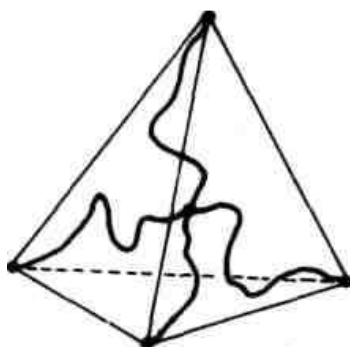
desodoranty, prostředky pro spojování pryže s kovy a vlákny, retardéry hoření (zhášedla), antistatické prostředky, brusný materiál, trhaviny apod.[5]

## 2.4 Vulkanizace

Zahříváním kaučukové směsi na vhodnou teplotu (např. 150 °C) dojde za určitou dobu k její vulkanizaci. Probíhají při ní chemické reakce mezi kaučukem a ostatními složkami kaučukové směsi za vzniku chemických příčných vazeb. Koncentrace vulkanizačního činidla (např. síry, dialkylperoxidu aj.) přitom postupně klesá, téměř až na nulovou hodnotu. Probíhající chemické reakce se řídí týmiž zákonitostmi jako v oblasti nízkomolekulárních sloučenin a jejich roztoků. [5]

Kaučukové směsi vulkanizujeme většinou za tlaku. Ten zde není důležitý z hlediska chemických reakcí, ale zabraňuje vzniku nežádoucích pórů ve výrobku v důsledku vývoje plynných látek, a zejména vypařování vody. Proto volíme vždy tlak na směs větší než je odpovídající tenze par při vulkanizační teplotě. Např. při 145 °C je tenze vodní páry 0,42 MPa, proto se používají tlaky, převyšující 0,5 MPa. Při vulkanizaci v kotli (autoklávu) je teplota vulkanizace limitována pracovním tlakem kotle (např. 0,3 MPa). [5]

Síťováním kaučuku neboli jeho vulkanizací dostáváme pryž. Struktura reálné trojrozměrné sítě je nedokonalá a je mnohem složitější než struktura ideální sítě, vycházející z lineárního polymeru propojeného pravidelně rozmístěnými příčnými vazbami. Kinetická teorie kaučukové elasticity se opírá o předpoklad, že z každého uzlového bodu sítě vycházejí čtyři řetězce o molekulové hmotnosti  $m$ , směřující do rohů pravidelného čtyř stěnu. Každý řetězec je zakotven na obou koncích v uzlových bodech. [6]



Obr.17. Model ideální sítě [6]

### 2.4.1 Vliv vulkanizace kaučuku na vlastnostech výsledného výrobku

Vytvořením prostorové sítě se zamezí volné pohyblivosti původních makromolekul kaučukového uhlovodíku a tím také toku ve hmotě. To se projeví typickými změnami vlastností původního kaučuku, resp. kaučukové směsi, především:

1. Vulkanizací mizí rozpustnost polymeru. V rozpouštědlech vulkanizát pouze botná. Rozpouštědlem se dají vyextrahovat jen nezesířované a nízkomolekulární podíly. Botnání se zastavuje na určitém poměru mezi množstvím kaučuku a rozpouštědla. Dostavuje se rovnováha, která je závislá především na stupni zesířování kaučuku. Proto lze experimentálním stanovením rovnovážného stupně zbotnání pryže stanovit stupeň její vulkanizace. [5]
2. Vulkanizací významně vzrůstá pevnost kaučuku až do určité hodnoty; po překročení optimálního stupně zesířování pryže její pevnost klesá, vzrůstají však moduly a tvrdost. S postupující vulkanizací po počátečním vzrůstu klesá tažnost pryže. Platí zde jednoduché pravidlo, že největší pevnost mají vulkanizáty při tažnosti kolem 500 % až 700 % (podle typu příčných vazeb). [5]
3. Se vzrůstajícím stupněm vulkanizace se zlepšuje odolnost proti trvalé deformaci. Mění se i další fyzikální vlastnosti pryže, zejména odolnost vůči dynamické únavě a tzv. strukturní pevnost, tj. odpor proti dalšímu trhání porušeného vzorku. Tato důležitá vlastnost má však největší hodnotu při poněkud menším stupni vulkanizace než je optimální stupeň zesířování z hlediska pevnosti. [5]

### 2.4.2 Struktura pryže

Struktura vulkanizátu závisí na podmínkách vulkanizace, tj. vulkanizační době a teplotě, povaze urychlovače, váhovém poměru urychlovače k síře a na přítomnosti aktivátoru, jako je například kysličník zinečnatý a kyselina stearová. Na struktuře vulkanizátu pak závisí jeho fyzikální vlastnosti a chování při stárnutí. [6]

Většina dnes běžných vulkanizačních systémů obsahuje buď elementární síru v kombinaci s urychlovačem, kterým je buď nějaký tiol, disulfid nebo sulfamid, nebo se používá donoru síry. [6]

Při sířování kaučuku sírovými vulkanizačními systémy vznikají tři základní typy příčných vazeb, a to mono-, di- a polysulfadické. Kromě toho jsou hlavní řetězce modifikovány

mono- a disulfidickými skupinami, dále konjugovanými dienovými skupinami a zavěšenými sírovými řetězci, zakončenými zbytky urychlovače. [6]

Celková koncentrace příčných vazeb je důležitá pro většinu fyzikálních vlastností jako je např. pevnost v tahu, relaxaci napětí, kríp nebo trvalou deformaci. [6]

Zvýšením koncentrace urychlovače při současném snížení koncentrace síry klesá ve vulkanizátu obsah polysulfidických vazeb a vzrůstá tak obsah poly- a disulfidických vazeb. Vzhledem k tomu, že energie jednotlivých druhů vazeb jsou různé, jsou vulkanizáty s nižším poměrným zastoupením polysulfidických vazeb obecně stálejších jak proti vlivům zvýšených teplot, tak proti vlivům korozního prostředí. [6]

### 3 PRYŽ

Pryž má určitý tvar, který získala vulkanizací. Ten již nelze dodatečně změnit tvářením, pouze opracováním. Pokud se pryží při používání dává v určitých mezích jiný tvar, je to změna pouze přechodná, způsobená účinkem vnější síly, např. tahem, tlakem, ohybem, smykem atd., která má za následek vznik napětí a z něj pak plynoucí tok anebo únavu.

Pryž je prakticky nestlačitelná, čehož se při její exploataci také využívá. Pokud se pryž "stlačuje", děje se tak vždy deformačně, tj. za změny některého rozměru příslušného předmětu (výrobku).

#### 3.1 Všeobecné vlastnosti elastomerních materiálů

Vlastnosti, které charakterizují materiál, je možné rozdělit z hlediska jejich využití pro konstrukční prvky do dvou základních skupin. První skupinou jsou vlastnosti fyzikální (mechanická odolnost) a druhou skupinou vlastnosti chemické (chemická odolnost). Tyto vlastnosti se mohou dále měnit na základě působení zejména způsobu jejich výroby, teploty, času atd. [1]

Fyzikální vlastnosti konstrukčních materiálů v praxi charakterizují zejména vlastnosti jako je pružnost, plasticita, pevnost, tvrdost a houževnatost. Fyzikálních vlastností materiálu, které jsou konstruktéry vyhodnocovány je však mnohem více. Pro potřeby konstruktéra se např. pružnost dále popisuje modulem pružnosti v tahu či tlaku  $E$  [MPa], modulem pružnosti ve smyku  $G$  [MPa], objemovým modulem pružnosti  $K$  [MPa] a koeficientem příčné kontrakce  $\mu$  (Poissonovo číslo). Důvodem toho je i povaha fyzikálních experimentů a měření. Fyzikální vlastnosti materiálu se experimentálně stanovují v průběhu jejich vývoje, výroby, použití, prodeje atd. [2]

Základní vlastnosti pryží by se dali shrnout do těchto bodů

- velká elasticita (pružiny, těsnění...),
- akumulace největší části energie při deformaci (tzv. Jouleův efekt má povahu převážně entropických změn, podobně jako při objemových změnách ideálního plynu),
- velká odolnost vůči opakovaným deformacím (pneumatiky),
- malá propustnost pro plyny a vodu (vzdušnice, míče, čluny),

- značná chemická odolnost (kyseliny, zásady; tvrdá pryž odolává i látkám oxidační povahy),
- elektroizolační vlastnosti (vodiče, kabely).

### 3.2 Namáhání pryžových výrobků

Pro praktické použití elastomerních výrobků jsou výsledky měření velikosti deformace při dynamickém namáhání mnohem důležitější než hodnoty deformace.[3]

zjištěné za statických podmínek. Hodnoty získané při statickém namáhání se v praxi používá jen pro základní klasifikaci materiálů (bez určení aplikace). [4]

Obecně jsou vlastnosti elastomerů funkcí času. Z tohoto důvodu dynamické zkoušky i zkoušky statické jsou prováděny vždy v určitém časovém úseku. Při dynamických zkouškách má čas (tj. rychlost změny velikosti působící síly, frekvence) rozhodující vliv na velikost měřených hodnot, u statických zkoušek má značný význam. Proto na příklad hodnoty získané při tahových a tlakových zkouškách elastomerů na trhacích strojích platí pouze pro normalizovanou rychlost zatěžování. Při jiné rychlosti zatěžování získáme jiné hodnoty. [5]

Další okolností, která ovlivňuje (v míře mnohem větší než u klasických materiálů) velikost naměřených hodnot, je tvar a rozměry zkušebního tělesa. U tahových zkoušek je nutno udávat, zda byla hodnota získána na normalizovaném kroužku nebo na normalizovaném zkušebním tělísku. [6]

Lze konstatovat, že hodnoty tahových vlastností získané na zkušebních tělesech odlišných tvarů a rozměrů vykazují u některých směsí velké odchylky i pro stejné napětí. [7]

Také vliv teploty na všechny vlastnosti elastomerů je značný. Např. elastomery (podle typu) se při teplotách pod  $-40^{\circ}\text{C}$  se elastomery svými vlastnostmi blíží kovům (do jisté míry i strukturou). Při teplotách kolem  $100^{\circ}\text{C}$  se mnohé vlastnosti elastomerů ve srovnání s jeho vlastnostmi při normální provozní teplotě (okolo  $20^{\circ}\text{C}$ ) silně mění (zhoršují se). [8]

Shrneme-li všechny statické i dynamické vlastnosti elastomerů jsou naměřené výsledky ovlivňovány zejména tvarem a rozměry zkušebního tělesa (a samozřejmě i výrobku), rychlostí změny velikosti vnějších sil a teplotou. U vulkanizátů různého složení se vliv těchto podmínek projevuje s nesterjnou intenzitou. [9]



### 3.3 Stárnutí pryže

Vulkanizovaný kaučuk - pryž - během dlouhodobého uskladnění (např. 10 let) a exploatace stárne, tj. mění poněkud své vlastnosti. Hlavní příčinou těchto změn bývají chemické rakce vyvolané účinkem vzdušného kyslíku, ozonu nebo zvýšené teploty. Nejvíce jsou vřim odolné kaučuky neobsahující dvojné vazby. Většina pryže je však právě z kaučuků nenasycených, tj. obsahujících dvojné vazby. Ty je nutno chránit vůči stárnutí přísadou antidegradantů. [5]

#### 3.3.1 Účinek ozonu

Největší účinek na pryž má ozon, obsažený ve vzduchu, byť jen ve velmi malé koncentraci (1 ppm až 6 ppm). Ozon nechráněnou pryž napadá tím, že velmi snadno reaguje s dvojnými vazbami kaučukového uhlovodíku na křehký ozonid. Proto, je-li pryž napadena ozonem, vznikají na jejím povrchu charakteristické praskliny (kolmé ke směru napětí). Vznikem prasklin dochází k obnažování dosud nenapadené pryže a původně malé prasklinky rostou opakováním cyklu vytvoření ozonidu - vznik praskliny. Tímto způsobem prohlubující se praskliny nakonec vedou k mechanické destrukci pryžového výrobku. [5]

#### 3.3.2 Účinek kyslíku

Vzdušný kyslík způsobuje tzv. oxidační stárnutí pryže. Při běžné teplotě se toto stárnutí projeví až za velmi dlouhou dobu (např. po deseti i více letech). Zvýšenou teplotou se však oxidační stárnutí pryže velmi urychluje. Podléhají mu nejvíce kaučuky s velkou koncentrací dvojných vazeb, neboť kyslík napadá nejreaktivnější místo v řetězci kaučukového uhlovodíku a to je v případě nenasycených kaučuků umístěno v a-poloze k dvojně vazbě (na uhlíkovém atomu sousedícím s uhlíkovým atomem, z něhož vychází dvojná vazba). Vznikají tak hyperoxidy, které se účinkem zvýšené teploty nebo katalyticky (účinkem světla, případně tzv. kaučukových jedů, zejména mědi a manganu) rozpadají na volné radikály. Ty pak dále reagují s kaučukovým uhlovodíkem řetězovými reakcemi. Dochází tak k vázání kyslíku na kaučuk, doprovázenému štěpením a síťováním řetězců makromolekul kaučuku.

Ochrana pryže proti stárnutí spočívá v zabránění řetězového průběhu radikálových oxidačních reakcí, které mají v nechráněné pryži autokatalytický průběh. Proto již např. při navázání 1 % kyslíku na pryž z přírodního kaučuku klesá její pevnost až o 50 %. [5]

### 3.3.3 Anearobní stárnutí

Sírné vulkanizáty i v nepřítomnosti ozonu a kyslíku prodělávají při stárnutí změny, které jsou tím větší, čím více polysulfidických vazeb pryž obsahuje. Mluvíme o tzv. anaerobním stárnutí pryže. Polysulfidické vazby přecházejí z části na di- a monosulfidické a z uvolněné síry vznikají nové příčné vazby. Stoupá tím modul pryže a současně se mění i její ostatní fyzikálně-mechanické vlastnosti, především klesá tažnost a odolnost dynamickému namáhání.

Změny struktury pryže probíhají rychleji, je-li při exploataci zahřívána. Tak je tomu např. u pneumatik, které se za jízdy, zejména při teplém počasí, ohřívají až nad 100°C. Proto se k výrobě teplovzdorné pryže nepoužívá při vulkanizaci elementární síra (poskytující polisulfidické příčné vazby), ale donory síry (dávající většinu příčných vazeb monosulfidických), nebo při ještě větších nárocích na teplovzdornost, vulkanizační činidla vedoucí k příčným vazbám typu uhlík - uhlík.[5]

## 4 CAD/CAM SYSTÉMY A JEJICH VYUŽITÍ

Číslicově řízené obráběcí stroje představují nosný prvek pružné automatizace obráběcích procesů v oblasti středně-sériových, malosériových a v řadě případů také kusových výrob. Při opakované výrobě je snadno aplikovatelný řídicí program, který byl již dříve zpracován a využit. Číslicové řízení daleko překračuje funkce jednoho stroje, ale umožňuje návaznost na ostatní prvky celých obráběcích systémů. S velkou výhodou využívá všech předností a možnosti výpočetní techniky a zasahuje do struktury a organizace výroby v nejširším slova smyslu. [9]

Vlastní řezný proces probíhá analogicky jako při práci na standardním obráběcím stroji, avšak technologické postupy při aplikaci číslicově řízených obráběcích strojů vykazují řadu specifických složek. [9]

### 4.1 Základní pojmy

Pro číslicově řízenou obráběcí techniku a příslušnou technologii se využívají normativní pojmy a symboly, které jsou dále v abecedním pořadí stručně charakterizovány.

#### *Absolutní programování*

- Programování používající slov pro vyjádření absolutních rozměrů. [9]

#### *AC (Adaptive Control)*

- Řídicí systém, který upravuje odezvy podle podmínek zjištěných během práce. [9]

#### *CAD (Computer-aided design)*

Programy (a pracovní stanice) používané při navrhování nástrojových, architektonických a vědeckých modelů od jednoduchých nástrojů až po složité celky, např. letadla. Různé aplikace CAD vytváří dvou až třírozměrné objekty, přičemž výsledkem mohou být "kostry" objektů složené z čar (wire frame), náročnější modely se stínovanými částmi, nebo skutečné zobrazení objektů. Některé programy taktéž umožňují rotaci objektů nebo změnu jejich velikosti, poskytují pohled zevnitř, vytvářejí seznamy materiálů potřebných ke konstrukci a provádějí jiné příbuzné funkce. [9]

*CAD/CAM (projektování pomocí počítače/projektování pomocí počítače)*

Použití počítačů při projektování a výrobě produktů. Metoda CAD/CAM spočívá v tom, že výrobek, jako např. část stroje se navrhne v CAD programu a konečný tvar se přeloží do soustavy instrukcí, jež lze přenést jako vzor do zpravidla číslicově řízených obráběcích strojů, které podle ní příslušný výrobek vyrobí. [9]

*CAM (Computer-aided manufacturing)*

Aplikace počítačů v automatizaci výroby, technologické přípravě výroby a kontrole výrobků. Uplatňuje se jak při kusové výrobě, tak i při výrobě hromadné, za použití robotů a automatizovaných linek. [9]

*CNC (Computer numeric control)*

Systém, jehož zvlášť k tomu určený počítač s programem uloženým v paměti je používán k provádění některých nebo všech základních funkcí číslicového řízení. [9]

## **4.2 Číslicové řízení**

Číslicově řízené (NC) obráběcí stroje jsou stroje univerzálního charakteru, vybavené vysokým stupněm automatizace pružně přizpůsobitelné změnám výroby. Data potřebná pro řízení NC stroje jsou předem připravena ve formě řídicího programu a zaznamenána na nositeli informací nebo pomocí partprogramu zaznamenána přímo v paměti počítače. [9]

### **4.2.1 Vstupní informace pro řízení**

Informace, které jsou nutné pro řízení NC stroje, je možné rozdělit do tří skupin :

1. Informace o geometrii obrábění, udávají rozměry obrobku a určují trajektorii dráhy,
2. Informace o technologii obrábění, které udávají další funkce, nutné k vlastnímu obrábění, tj. velikost posuvu, otáčky vřetena, kód aktivního nástroje, start a stop chladicí kapaliny atd.
3. Informace nutné k organizaci programu, které jsou potřebné k vyvolání požadované posloupnosti jednotlivých bloků a slov programu, jako např. start a stop programu, začátek a konce bloku, číslo bloku atd.

Uvedené informace jsou automaticky zpracovány a slouží jako výchozí podklad k řízení činnosti NC stroje. [9]

### 4.3 Programování CNC obráběcích strojů

Postupy a základní pravidla programování jsou v této části zaměřeny na programování CNC soustruhu, jehož programový systém vychází z normy DIN 66025. V případě zvládnutí znalostí tohoto systému je aplikace na další typy CNC strojů relativně snadná. Uživatel má k dispozici CNC editor vybavený syntaktickou kontrolou správnosti CNC programu. [9]

Vytvořený program lze průběžně ověřovat grafickou simulací. Výhodná je i možnost zobrazení třírozměrného modelu součásti. Hotové programy mohou být přeneseny na řídicí systém CNC obráběcího stroje pomocí sériové linky RS 232, případně pomocí diskety a přímo prováděny. [9]

Tvorba programů může probíhat v prostředí CAD/CAM, které se vyznačuje plnou možností návaznosti tvorby CNC programu ze zadaného výkresu součásti.

Tvorba programu pak zpravidla obsahuje dva kroky:

- část CAD, kde je definována uzavřená kontura obráběného dílce na základě převzatých informací z výkresu kresleného v systému CAD,
- část CAM, kde je zpravidla dialogovým způsobem vytvářen vlastní CNC program s možností jeho doplnění a upravení (výběhy závitů, tolerované rozměry, normalizované zápichy atd.).[9]

Tento postup nabízí řešení ve formě počítačového přístupu k modelování složitých tvarů a následné generování řídicích programů pro obráběcí stroj.[9]

## 5 VYUŽITÍ CAE ( COMPUTER-AIDED ENGINEERING)

Mezi jedny z nejvyžívanějších systémů CAE patří program od německých vývojářů Cadmould. Program slouží především k analýzám vstřikovacích procesů jak plastů, tak i elastomerů. Jeho schopnost vyhodnocovat poměry během vstřikování, ale i stavy výstřiku po dokončení a jeho vyjmutí z formy nachází mnoho uplatnění v postupném vývoji výrobku, od návrhu až k jeho zrealizování. Může také dobře posloužit v samotném a nacházení nových postupů vstřikovacího procesu jako takového.

Software Cadmould Rubber dokáže zobrazit více důležitých a zajímavých informací vycházejících z výsledků analýz. Analýza nám ukáže velice obdobné chování, jako při skutečném procesu. Můžeme říct, že Cadmould je důležitý výpočetní nástroj pro proces vstřikování elastomerech směsí. [10]

### 5.1 CAD Mould 3D-F

Procesní simulace Cadmould (produkt vyvinutý německou firmou Simcon GmbH) se podílejí nejen na odhalování chyb a nedostatků konstrukcí plastových dílců a konstrukcí forem, ale pomáhají také stanovit optimální technologické parametry či získat výpočtové podklady pro návrh opatření, vedoucích k minimalizaci technických rizik, ke snížení doby výrobního cyklu a mnohem přesnějšímu stanovení výrobních nákladů.

Základním formátem, využívaným simulační analýzou Cadmould, je STL. Do tohoto formátu se převede konstrukce dílce, která byla určena k výpočtu. STL je výchozím podkladem pro automatickou tvorbu speciální výpočtové sítě konečných prvků, kterou má firma Simcon přihlášenou k patentové ochraně. I když simulační software Cadmould vykazuje velmi dobré opravné prostředky, je výhodné - a to mj. i z důvodu výpočtových časů - použít pro analýzu kvalitní soubor STL bez závažnějších chyb, především bez nespojitostí (gaps) a bez vnořených falešných konstrukcí. Připravit dobrou výpočtovou konstrukci STL přitom zabere maximálně několik minut, důležité je však znát, jaké by STL síť měla splňovat výpočtové požadavky.

S ohledem na konstrukční požadavky, můžeme vytvořit vtokový i temperační systém přímo v softwaru Cadmould. K tomuto účelu má k dispozici chytře připravené konstrukční prostředky. V případě, že zvl. temperační systém (ale i vtoky) jsou již navrženy CAD konstruktérem, pak je optimální uložit temperační systém v podobě os funkčních částí temperačních kanálů ve formátu IGES a tento soubor přenést do výpočtového softwaru

Cadmould. Uživatel programu poté osy jednoduše "obalí" kanály a temperační (vtokový) systém je hotový. Občasnou, nicméně nepříjemnou chybou bývá zjištění, že výpočtový model a temperační systém leží v různých osových souřadnicích.

Do simulačního výpočtu je nutné zadat konkrétní obchodní typ zpracovávaného materiálu z materiálové databanky Cadmould. Vyplatí se však alespoň přibližně znát, která materiálová data potřebuje software pro výpočty. Přehled těchto dat udává tabulka. [11]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

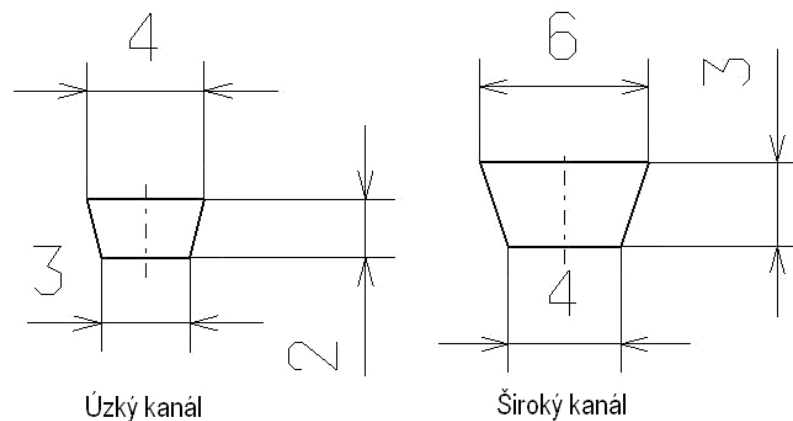
Praktická část si klade za cíle analyzování vlivu technologických parametrů a tvarů rozvodných kanálů a ukázat vliv změny na čas vulkanizace. Dále je praktická část rozdělena do těchto fází:

- Návrh univerzální vstřikovací formy pro více trajektorií s ohledem na snadnou výměnu tvarových desek.
- Návrh a výroba jednotlivých tvarových desek s vhodnými dutinami pro budoucí testování mechanických vlastností.
- Simulace vstřikovacího procesu za účelem porozumění vlivu různých tokových kanálů. Nalezení vhodných procesních parametrů pro nastavení vstřikovacího cyklu.
- Provést orientační vstříknutí vzorků.
- Vyhodnotit výsledky z analýz a diskutovat získané data.

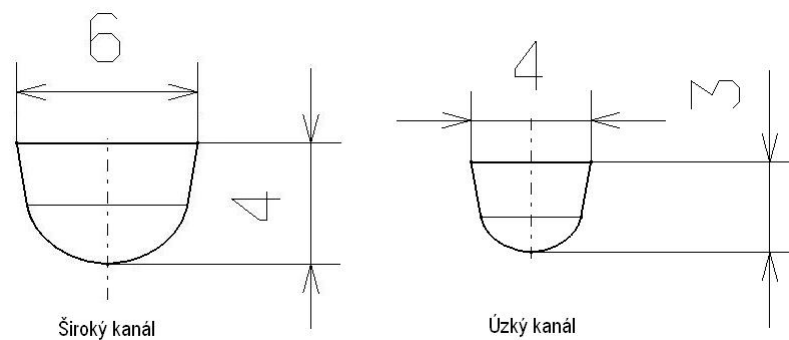
## 7 NÁVRH A ANALÝZY TOKOVÝCH DRAH

Pro analyzování byly vytvořeny celkem čtyři různé dráhy s různou délkou a různou střednicí trajektorie. Každá z drah byla navržena ve dvou provedeních, jako úzká a široká. Taktéž byly vymodelovány různé výstřiky. Dva byly navrženy jako zkušební tělesa pro tahovou zkoušku.

Třetí má tvar krychle. Ta by se pro pozdější výzkum, měla nařezat na plátky a zkoumat mikrotvrdot a tvrdost Shore A v různých místech řezné plochy.



Obr. 18. Průřezy drah rovného kanálu a kanálu křivka



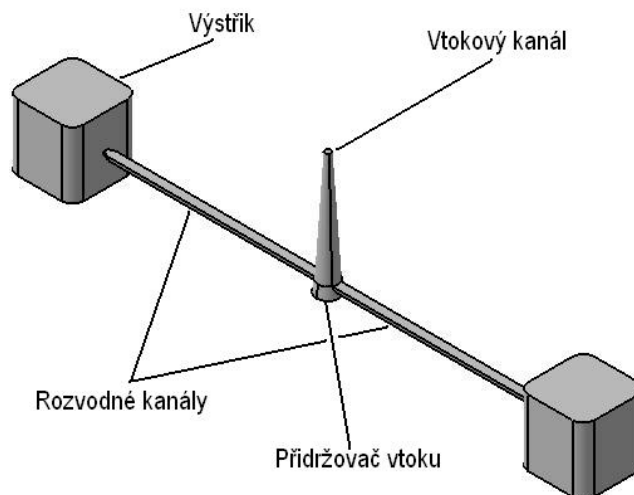
Obr. 19. Průřezy drah krátkého a dlouhého kanálu

### 7.1 Tvorba 3D modelů drah

3D modely byly vytvořeny pomocí programu Catia V5R18. Jednotlivé části jako, výstřiky, tokové dráhy a tokové ústí s přidržovačem, byly vymodelovány odděleně a spojeny funkcí „Boolend operation; Add“. Celý, již zkompletovaný model, se uložil s příponou CATpart. a s příponou STL. Přípona STL. byla použita pro analýzy v programu CAD Mould 3D-F.

### 7.1.1 Přímý úzký kanál

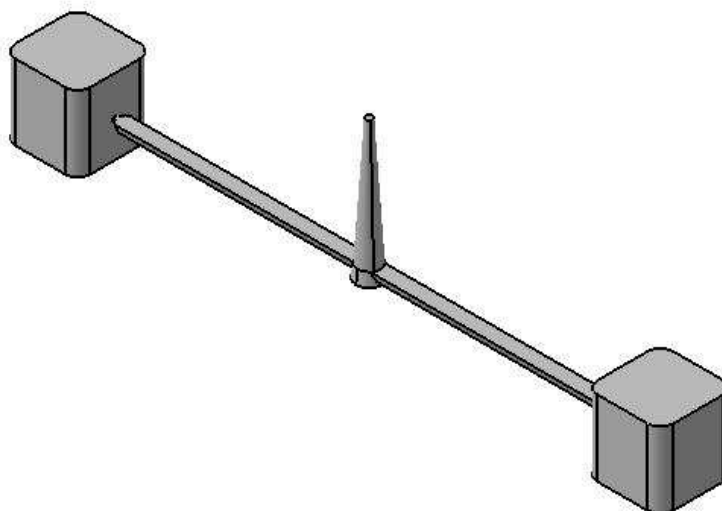
Prvním typem kanálu je přímý úzký kanál. Průřez je lichoběžníkového tvaru Tavenina by měla urazit kratší dráhu od vtokového kanálu do dutiny formy.



Obr. 20. Přímý úzký kanál

### 7.1.2 Přímý široký kanál

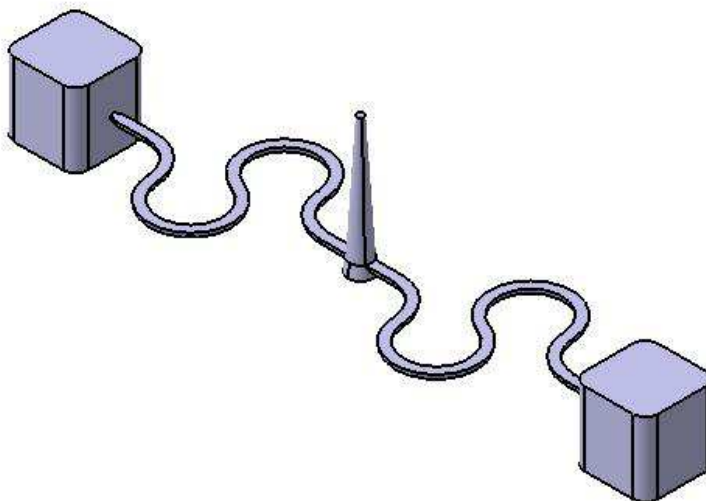
Jde o modifikaci předchozího typu. Kanál má zvětšenou plochu průřezu, tvar stále zůstává lichoběžníkový. Teoreticky by tedy měla tavenina snáze téci kanálem.



Obr. 21. Přímý široký kanál

### 7.1.3 Úzký kanál křivka

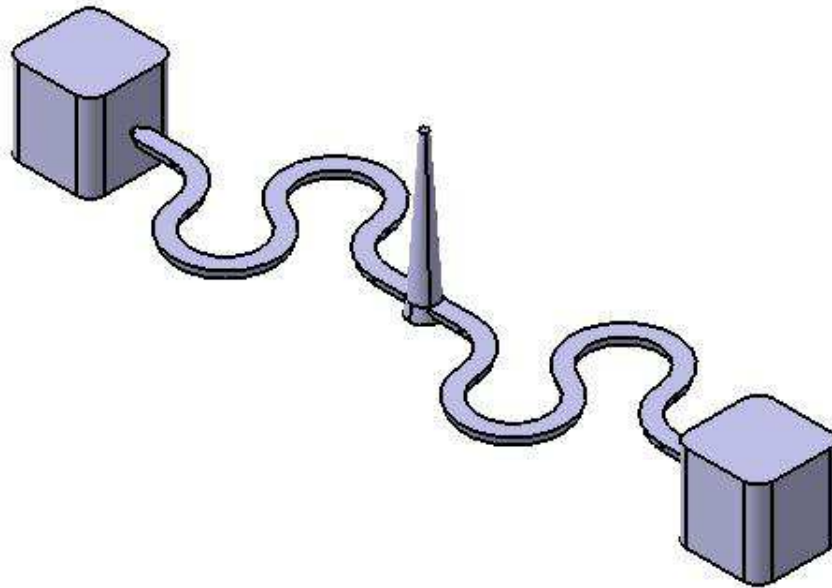
Lichoběžníkový kanál s přibližně dvounásobnou délkou střednice, než předchozí případ. Tavenina urazí delší dráhu, po kterou se více ohřeje. Teoreticky by se tedy měl snížit čas potřebný k vulkanizaci, jelikož materiál ohřátý na vyšší teplotu v dutině formy, bude potřebovat méně tepelné energie pro dosažení vulkanizační teploty.



*Obr. 22. Úzký kanál křivka*

### 7.1.4 Široký kanál křivka

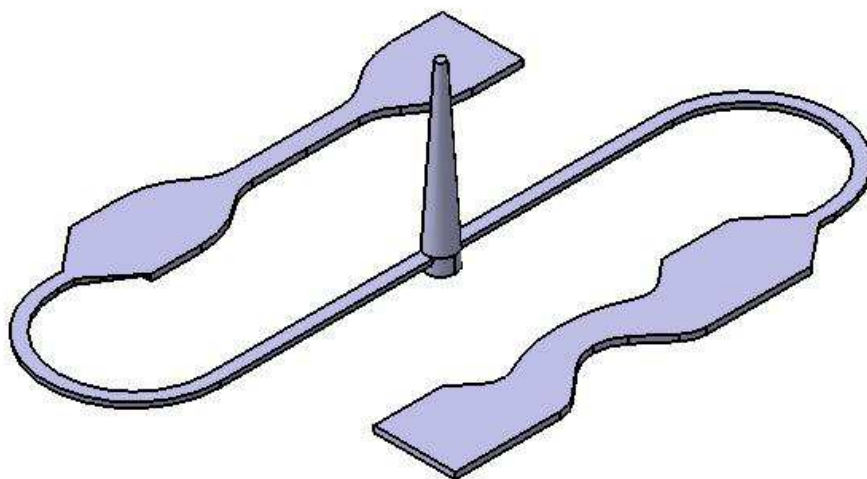
Jde o modifikaci předchozího užšího typu. Kanál má zvětšený průřez, tvar stále zůstává lichoběžníkový. Teoreticky by tedy měla tavenina snáze téci kanálem, jako v případě přímého lichoběžníkového kanálu. Speciálně v tomto případě, kdy je dráha dvounásobná, je důležité při vyhodnocování výsledků uvažovat i množství materiálu, který zůstává v rozvodných kanálech s ohledem na ekonomičnost výroby.



Obr. 23. Široký kanál křivka

#### 7.1.5 Úzký krátký kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku

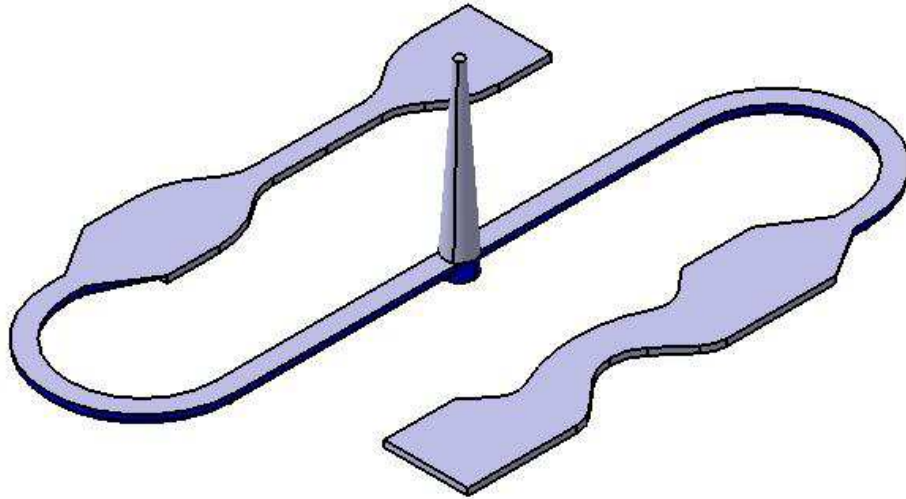
Na rozdíl od předchozích lichoběžníkových průřezů, má kanál půlkruhový průřez. Teorie je stejná jako u předešlých kanálů s tím rozdílem, že výstřik má tvar tenkostěnných zkušebních tělísek. To by mohlo přinést rozdílné výsledky.



Obr. 24. Úzký krátký kanál

### 7.1.6 Široký krátký kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku

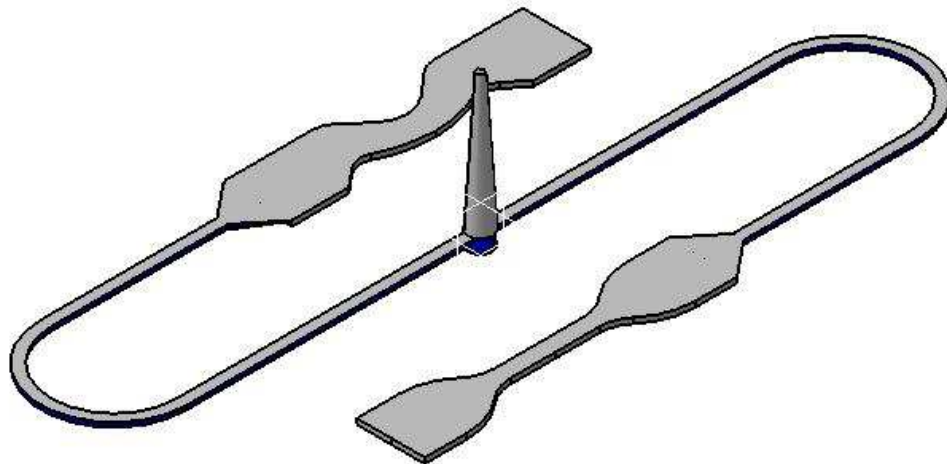
Modifikace předešlého kanálu s větší plochou průřezu. Teorie snazšího toku taveniny, platí i v tomto případě.



*Obr. 25. Široký krátký kanál*

### 7.1.7 Úzký dlouhý kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku

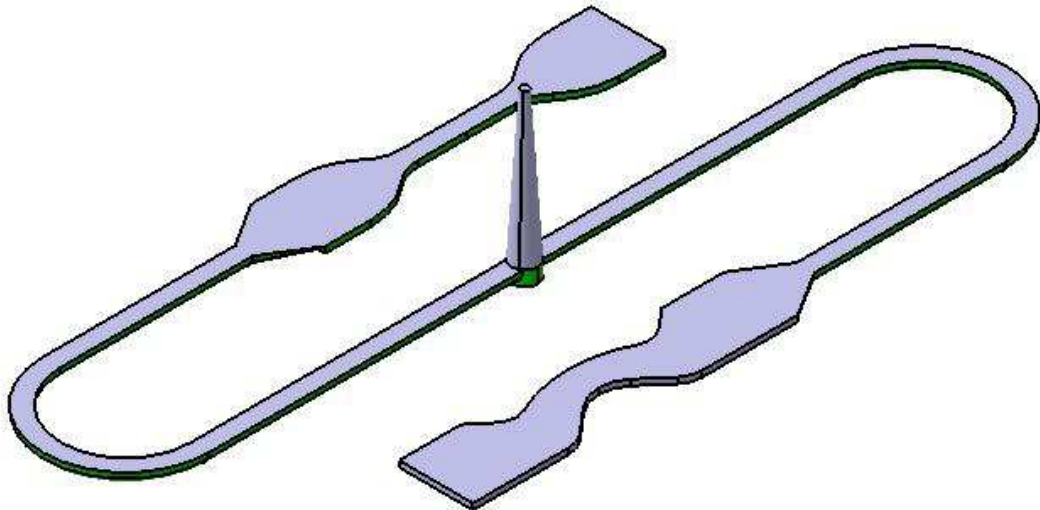
Taktéž v tomto případě, jde o stejnou teorii většího ohřevu materiálu během toku delším kanálem. Určujícím faktorem zde pravděpodobně bude opět tenkostěnnost výstřiků.



*Obr. 26. Úzký dlouhý kanál*

### 7.1.8 Široký dlouhý kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku

Modifikace úzkého dlouhého kanálu. K porovnání s výsledky analýz, byla vytvořena verze s větší plochou průřezu.



Obr. 27. Široký dlouhý kanál

## 7.2 Analýzy v CAD Mould 3D-F

Analýzy byly provedeny pro všechny dráhy s různými podmínkami technologických parametrů, množstvím vystřikovaného materiálu (Flow rate [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ]) a pro tři různé teploty ( $160^\circ\text{C}$ ;  $170^\circ\text{C}$ ;  $180^\circ\text{C}$ ).

Na obrázku 29. můžeme vidět rovný úzký kanál s umístěním vtoku a dvou čidel, tak jak byl použit pro analýzy. Stejné umístění, bylo použito u dalších tří drah (rovného širokého kanálu; úzkého kanálu, křivka; širokého kanálu, křivka). Zjištěné hodnoty mohou být v dalším výzkumu porovnávány z reálnými hodnotami, které čidla Kistler naměří.

Obrázek 30. ukazuje úzký krátký kanál se zkušebními tělesy. U této dráhy se vzhledem ke kruhovému tvaru základny od umístění čidel upustilo.

### 7.2.1 Modely výstřiků

Modely výstřiků byly pro práci v programu CAD Mould uloženy spříponou .STL a byly do něj importovány.

### - Tvorba sítě

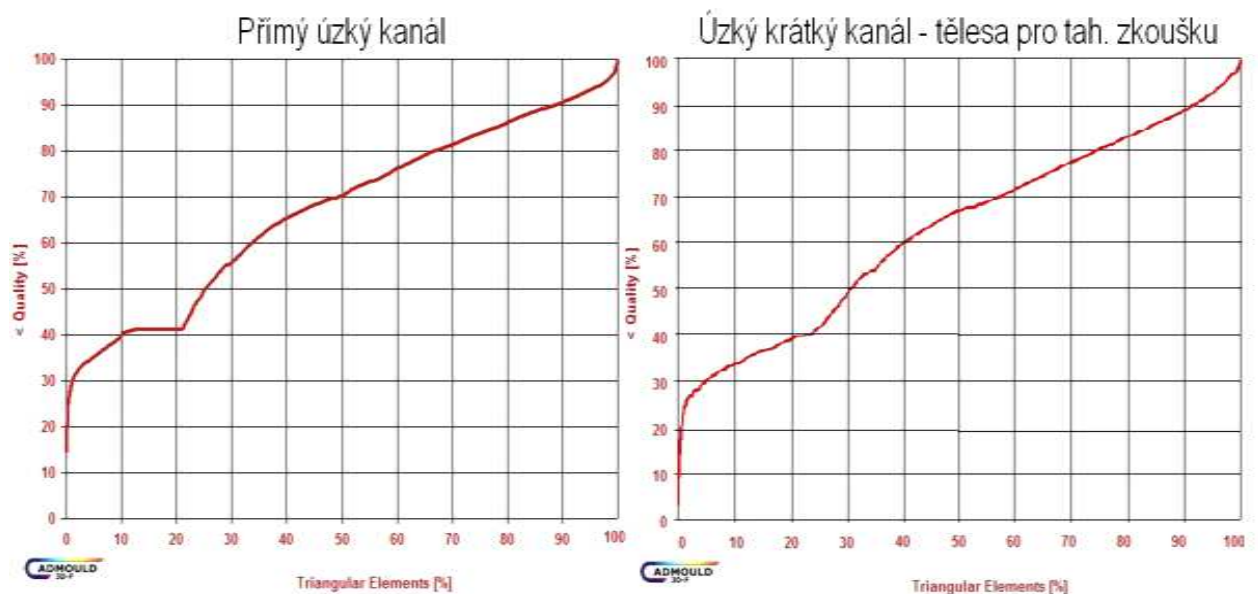
Pro přesnější výpočet byla zvolena menší délka elementu, tím ovšem stoupl čas analýzy.

Při tvorbě sítě byly voleny tyto parametry:

- Délka elementu 1,5
- Minimální tloušťka stěny 0,1 mm

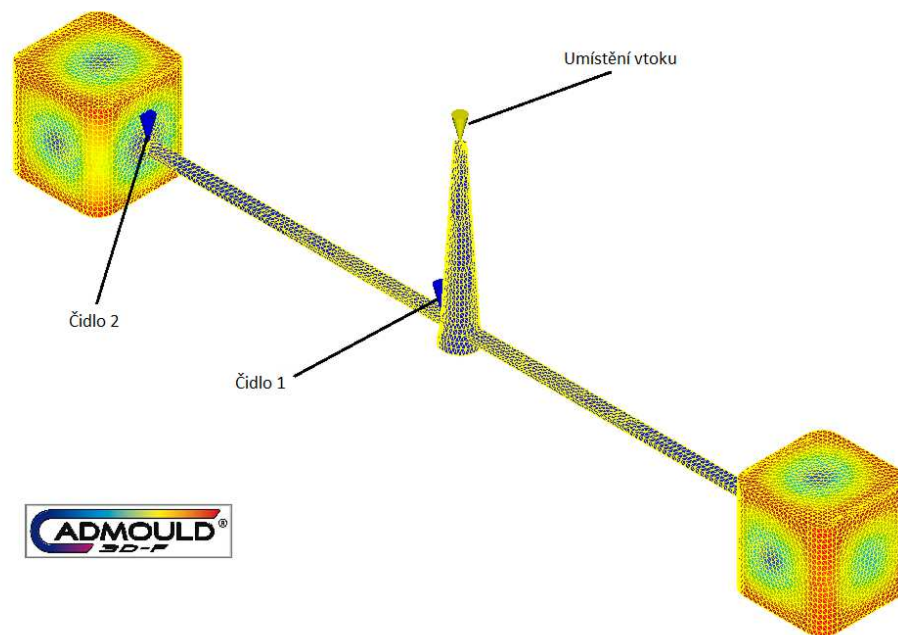
### - Kontrola sítě

Síť byla zkontrolována pomocí funkce Meshstatistic, Quality. Pokud by se ukázalo, že se křivka odklání od osy y před hodnotou 10, znamenalo by to že síť není kvalitní. Jak vidíme na obrázcích, k odklonu došlo až po hodnotě 10, kvalita sítě je tedy dobrá.

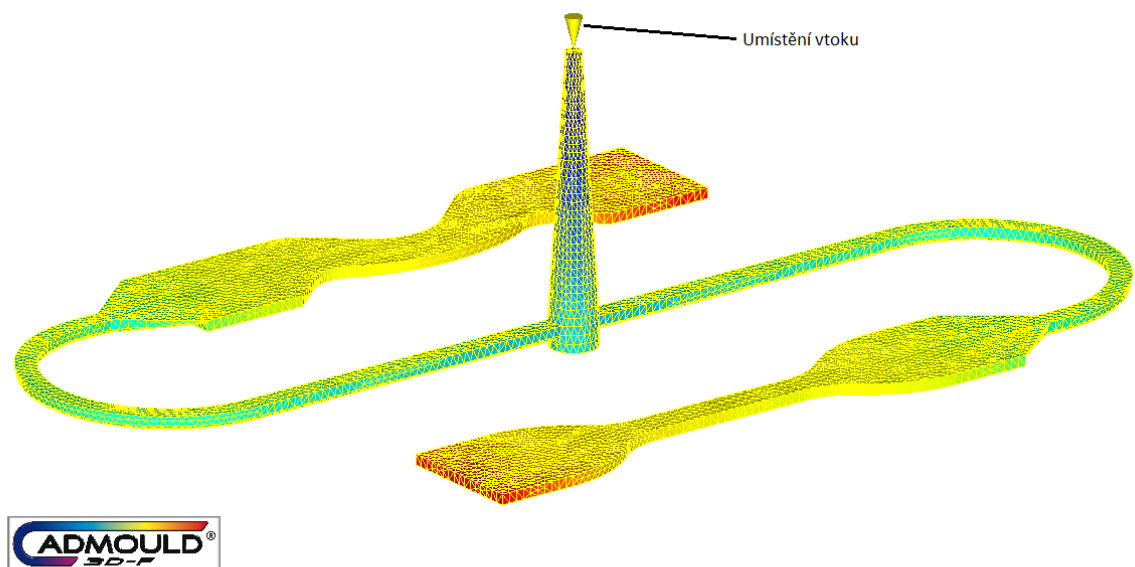


Obr. 28. Mesh statistic; Quality





Obr. 29. Rovný úzký kanál; Analýza CADMOULD



Obr. 30. Úzký krátký kanál; Analýza CADMOULD

### 7.2.2 Materiál

Pro analýzy byl použit NBR Shore 60 z materiálové tabulky programu CADMOULD.

Tab. 3. Zpracovatelské teploty

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| Melt Temperature [°C] | 100     |
| Mold Temperature [°C] | 160-180 |

### 7.2.3 Nastavení Technologických parametrů

Hodnota Flow rate se nastavovala v závislosti na rychlosti pístu vstřikovacího stroje REP. Závislost je popsána v tabulce 4. V manuálu ke stroji je popsán vztah, kdy nastavená hodnota rychlosti pístu 1 na ovládacím panelu, se rovná hodnotě  $0,152 \text{ cm}^3$  směsi. Vzorec pro výpočet: Rychlost píst  $\times 0,152 = \text{Flow Rate}$

Tab. 4. Vztah rychlosti pístu a Flow rate

| Rychlost pístu [mm/s] $\times 10^{-1}$ | Flow Rate [cm <sup>3</sup> /s] |
|--|--------------------------------|
| 2                                      | 0,3                            |
| 5                                      | 0,7                            |
| 8                                      | 1,2                            |
| 10                                     | 1,5                            |
| 30                                     | 4,5                            |
| 40                                     | 6,1                            |
| 50                                     | 7,6                            |
| 250                                    | 38                             |

Další technologické parametry jsou popsány v tabulce 5.

Tab. 5. Technologické parametry

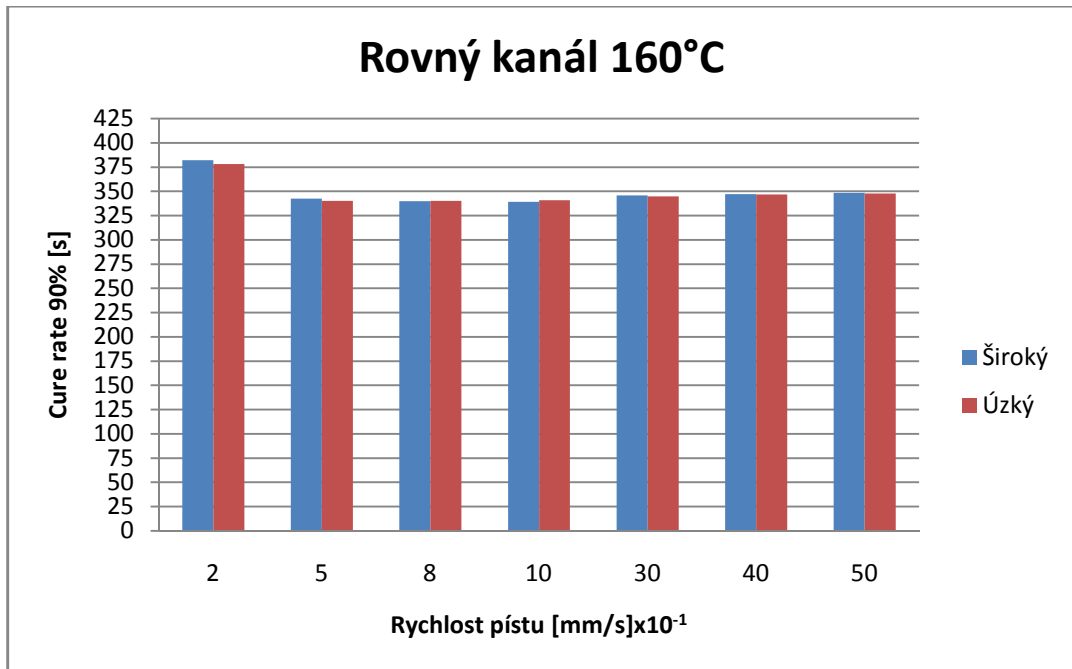
|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Mass temperature [°C]         | 100         |
| Uniform wall temperature [°C] | 160;170;180 |
| Heating [s]                   | 600         |
| Post curing [s]               | 200         |

### 7.3 Vyhodnocení zjištěných hodnot

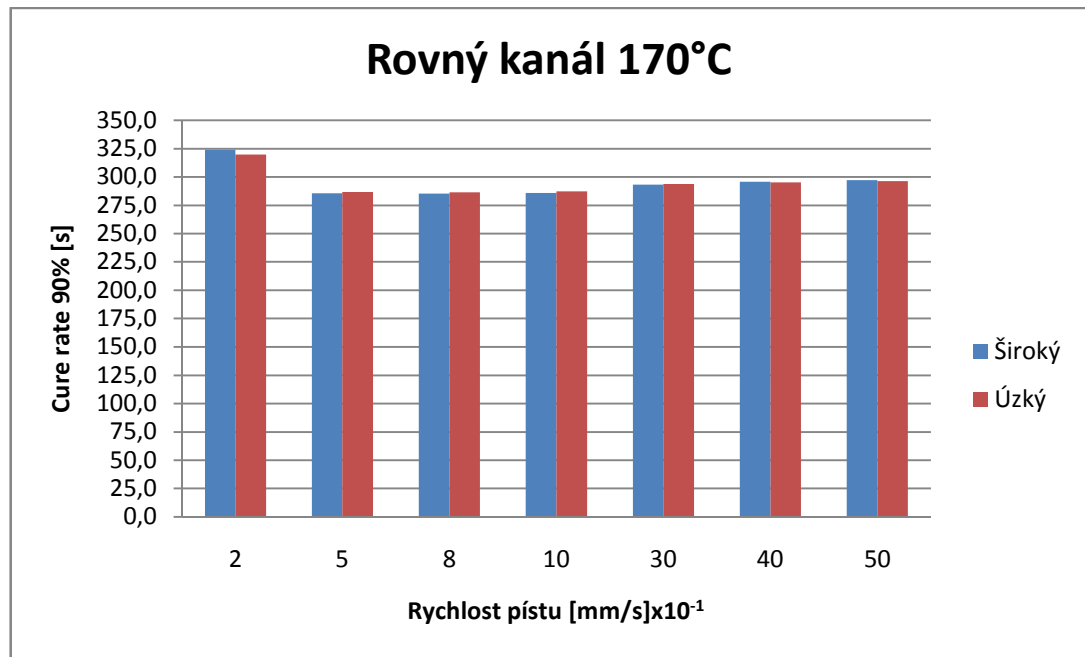
U drah byla zjišťována především hodnota Cure rate (zvulkanizování 90% všech vazeb). Hodnota byla zjištěna pro všechny dráhy, za různých technologických podmínek. Dále jsme u vybraných drah zjišťovali změny teplot a tlaků mezi dvěma čidly, mezi vtokovým kanálem (čidlo 1) a vtokovým ústím (čidlo2). Byly vytvořeny grafy, pro vizualizaci závislosti nastavení technologických parametrů na hodnotě Cure rate.

Tab. 6. Rovný kanál; Cure rate

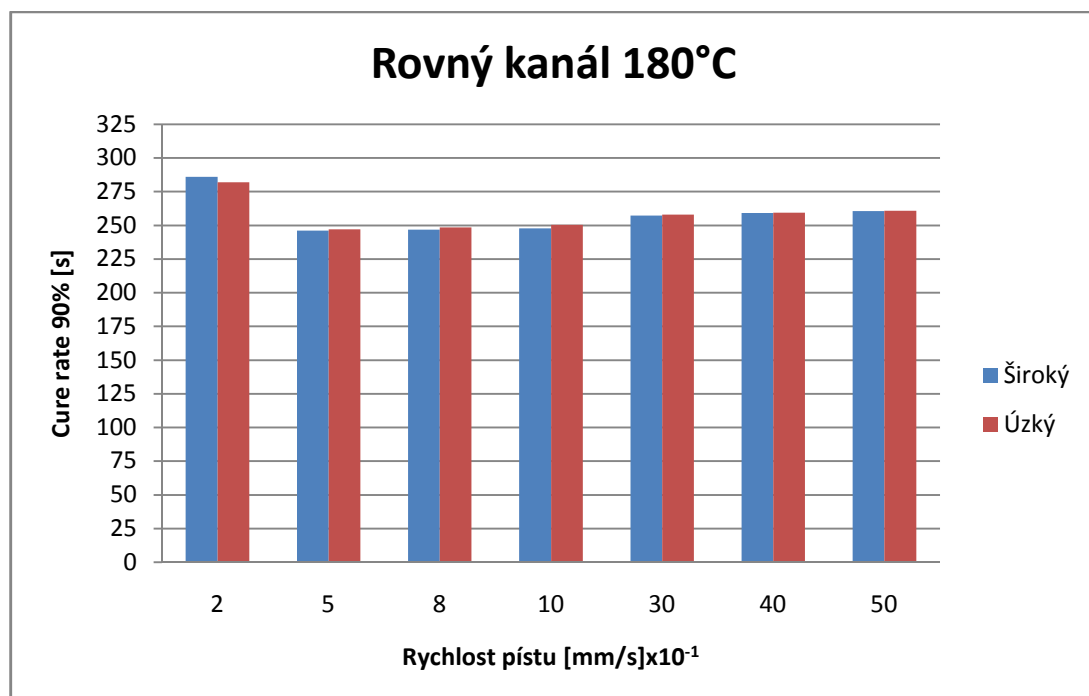
| Rovný kanál - Cure Rate 90% [s] |                      |       |       |                        |       |       |
|---------------------------------|----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
|                                 | Úzký - Teplota formy |       |       | Široký - Teplota formy |       |       |
| Rychlost pístu                  | 160°C                | 170°C | 180°C | 160°C                  | 170°C | 180°C |
| 2                               | 378,1                | 319,7 | 282,0 | 382,1                  | 324,0 | 286,0 |
| 5                               | 340,3                | 286,6 | 247,1 | 342,6                  | 285,5 | 246,0 |
| 8                               | 340,1                | 286,3 | 248,5 | 339,9                  | 285,4 | 246,9 |
| 10                              | 340,8                | 287,3 | 250,3 | 339,2                  | 285,9 | 247,9 |
| 30                              | 344,8                | 293,9 | 258,0 | 345,7                  | 293,2 | 257,2 |
| 40                              | 346,8                | 295,1 | 259,4 | 347,0                  | 295,9 | 259,3 |
| 50                              | 347,6                | 296,4 | 260,8 | 348,4                  | 297,1 | 260,6 |
| 250                             | 350,3                | 299,3 | 265,2 | 351,7                  | 300,8 | 265,8 |



Obr. 31. Graf; Rovný kanál 160°C



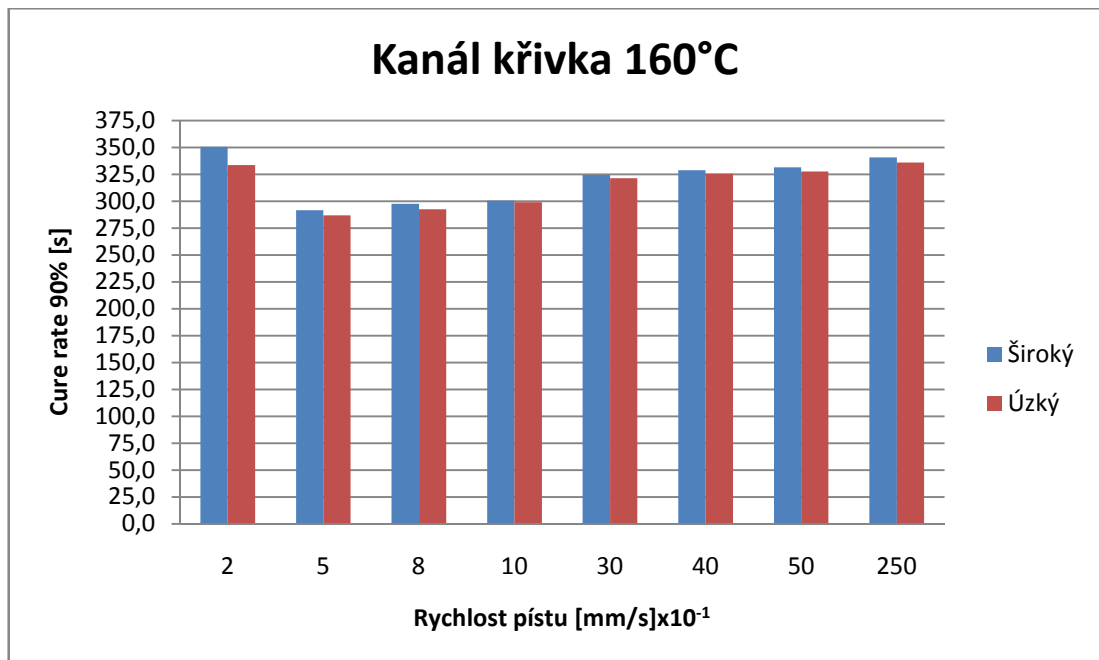
Obr. 32. Graf; Rovný kanál 170°C



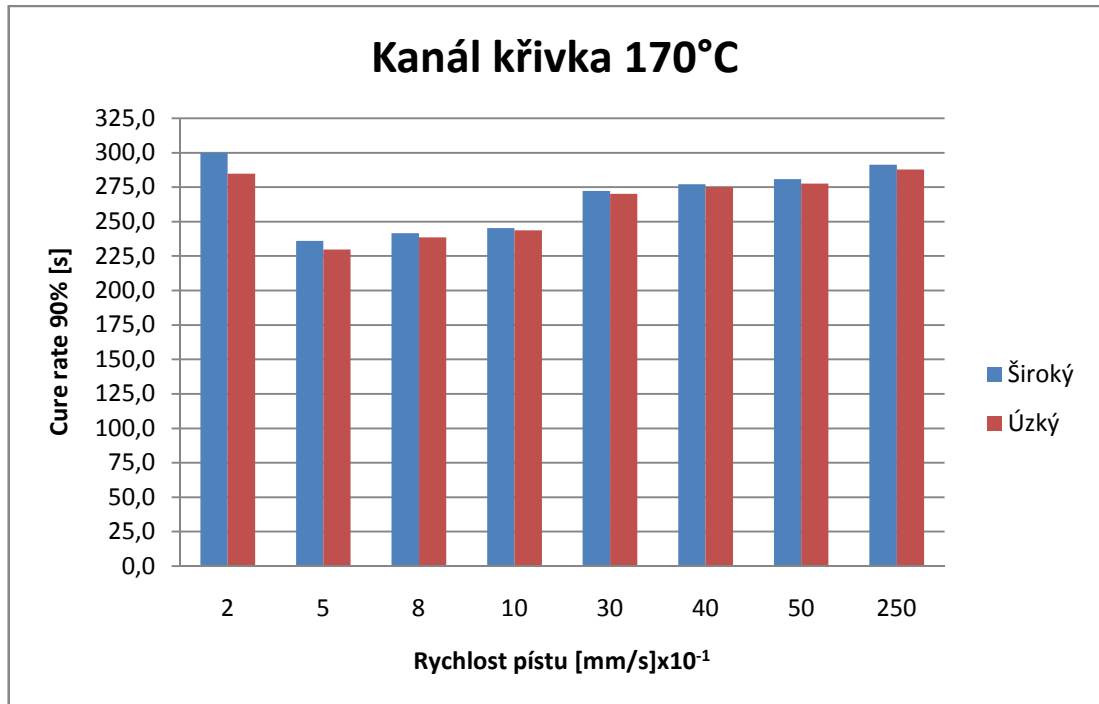
Obr. 33. Graf; Rovný kanál 180°C

Tab. 7. Kanál křivka; Cure rate

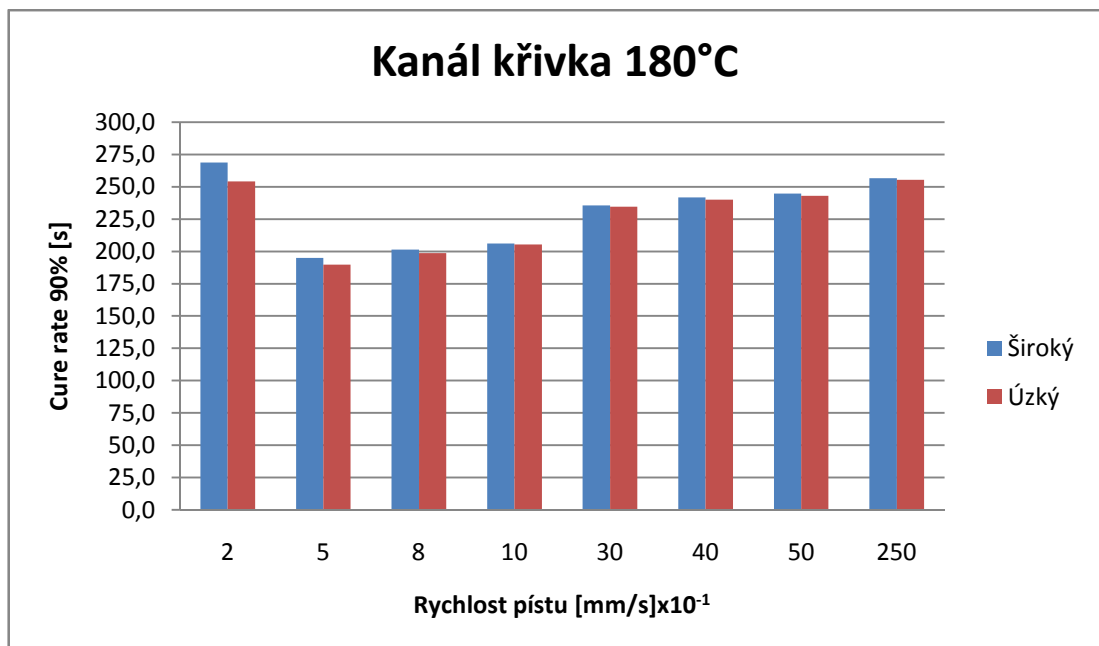
| Kanál křivka - Cure Rate 90% [s] |                      |       |       |                        |       |       |
|----------------------------------|----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| Rychlost pístu                   | Úzký - Teplota formy |       |       | Široký - Teplota formy |       |       |
|                                  | 160°C                | 170°C | 180°C | 160°C                  | 170°C | 180°C |
| 2                                | 333,7                | 284,7 | 254,1 | 350,6                  | 299,8 | 268,8 |
| 5                                | 286,8                | 229,7 | 189,8 | 291,7                  | 235,9 | 194,9 |
| 8                                | 292,6                | 238,5 | 198,7 | 297,7                  | 241,5 | 201,3 |
| 10                               | 299,1                | 243,7 | 205,3 | 300,6                  | 245,3 | 206,1 |
| 30                               | 321,5                | 270,2 | 234,6 | 324,3                  | 272,4 | 235,7 |
| 40                               | 325,5                | 275,0 | 239,9 | 328,9                  | 277,3 | 241,8 |
| 50                               | 327,5                | 277,5 | 243,1 | 331,6                  | 280,9 | 244,8 |
| 250                              | 336,1                | 287,7 | 255,3 | 340,8                  | 291,4 | 256,6 |



Obr. 34. Graf; Kanál křivka 160°C



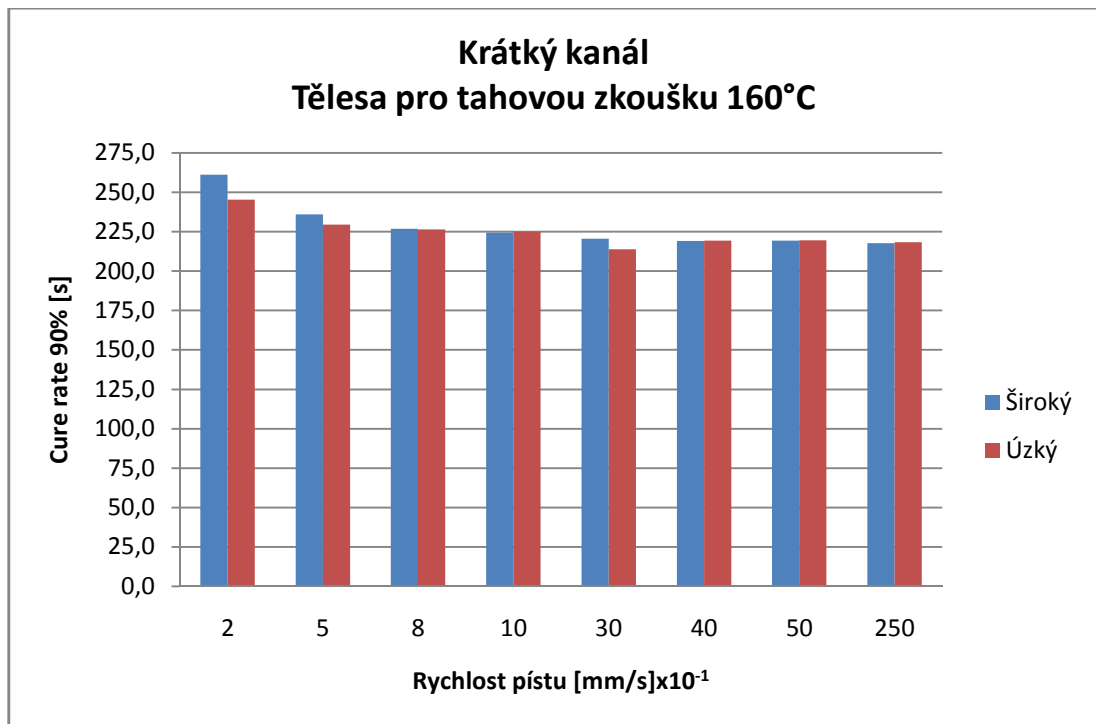
Obr. 35. Graf; Kanál křivka 170°C



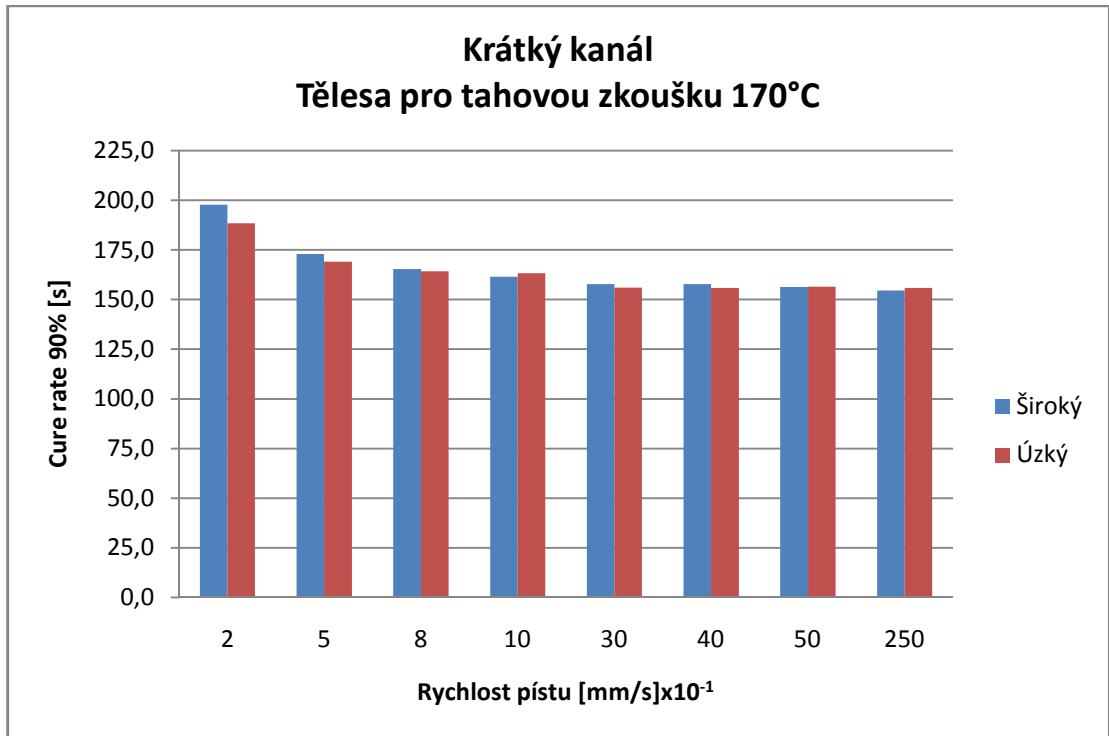
Obr. 36. Graf; Kanál křivka 180°C

Tab. 8. Krátký kanál; Cure rate

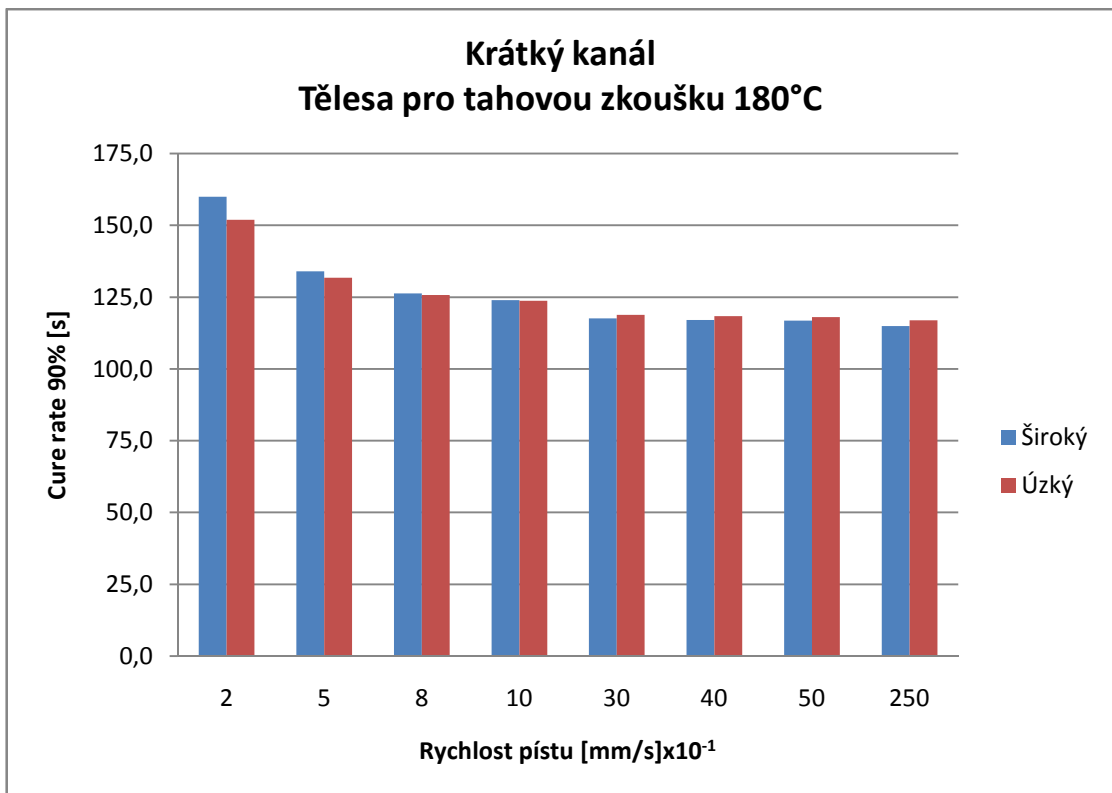
| Krátký kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku - Cure Rate 90% [s] |                      |       |       |                        |       |       |
|--|----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| Rychlost pístu   | Úzký - Teplota formy |       |       | Široký - Teplota formy |       |       |
|  | 160°C                | 170°C | 180°C | 160°C                  | 170°C | 180°C |
| 2  | 245,4                | 188,5 | 151,9 | 261,2                  | 197,7 | 160,0 |
| 5  | 229,6                | 169,1 | 131,7 | 236,1                  | 173,0 | 134,0 |
| 8  | 226,5                | 164,2 | 125,7 | 227,0                  | 165,3 | 126,3 |
| 10   | 225,0                | 163,3 | 123,8 | 224,4                  | 161,4 | 124,0 |
| 30   | 213,9                | 156,1 | 118,8 | 220,6                  | 157,8 | 117,6 |
| 40   | 219,4                | 155,8 | 118,3 | 219,1                  | 157,8 | 117,0 |
| 50   | 219,6                | 156,4 | 118,0 | 219,4                  | 156,4 | 116,8 |
| 250  | 218,3                | 155,8 | 117,0 | 217,7                  | 154,6 | 114,9 |



Obr. 37. Graf; Krátký kanál 160°C



Obr. 38. Graf; Krátký kanál 170°C

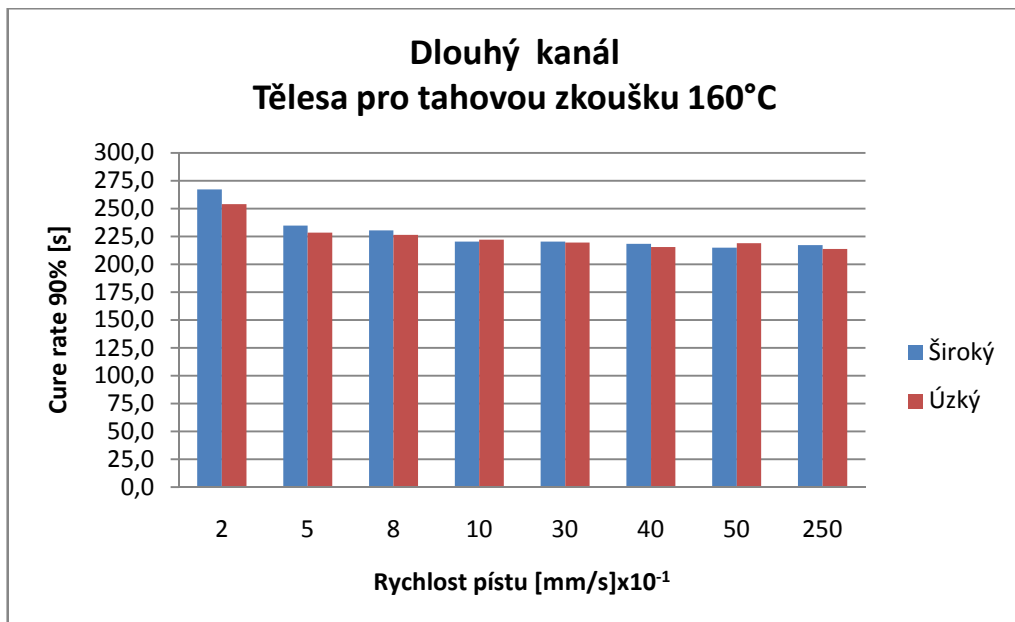


Obr. 39. Graf; Krátký kanál 180°C

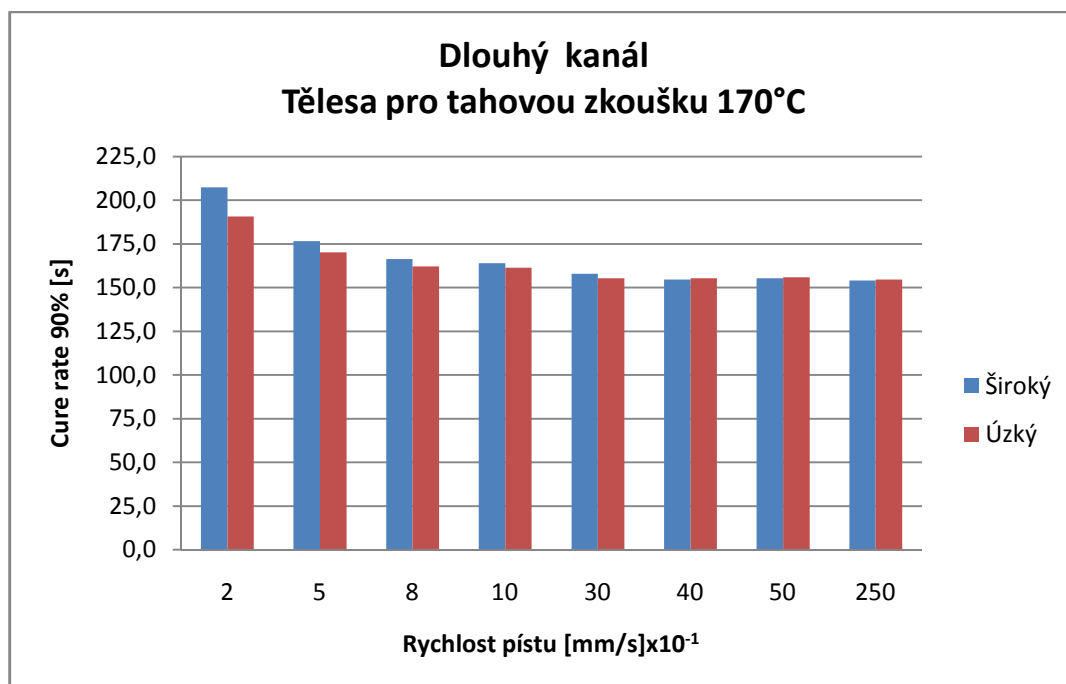


Tab. 9. Dlouhý kanál; Cure rate

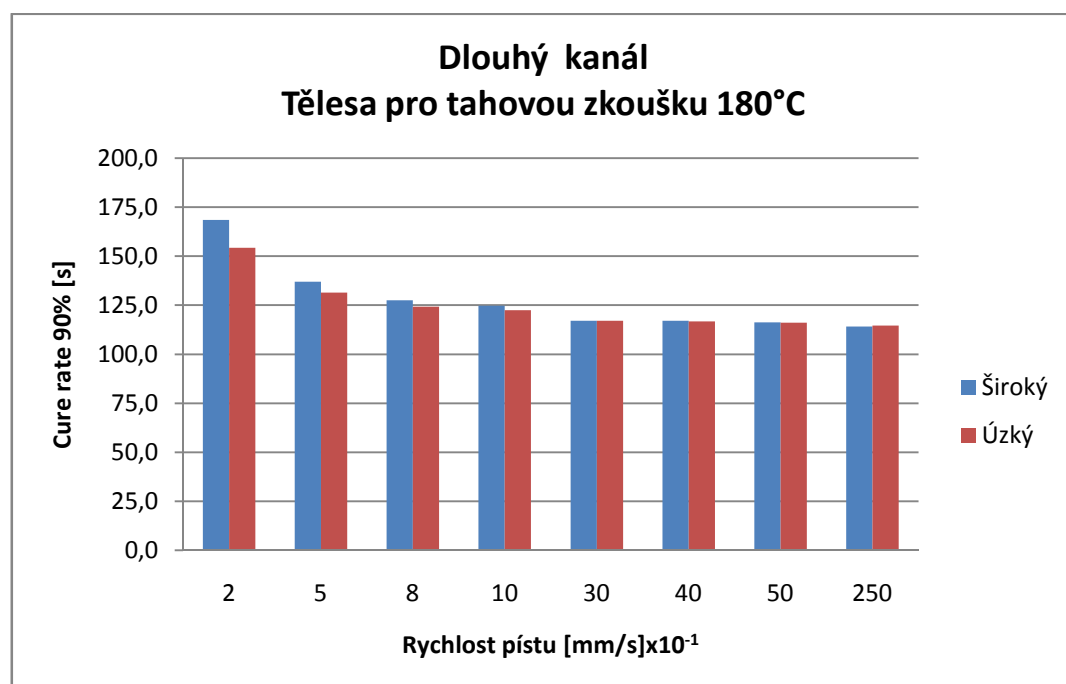
| Dlouhý kanál; Tělesa pro tahovou zkoušku - Cure Rate 90% [s] |                      |       |       |                        |       |       |
|--|----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| Rychlost pístu   | Úzký - Teplota formy |       |       | Široký - Teplota formy |       |       |
|  | 160°C                | 170°C | 180°C | 160°C                  | 170°C | 180°C |
| 2  | 254,1                | 190,8 | 154,3 | 267,2                  | 207,5 | 168,5 |
| 5  | 228,6                | 170,3 | 131,4 | 234,9                  | 176,7 | 136,9 |
| 8  | 226,4                | 162,2 | 124,3 | 230,3                  | 166,3 | 127,5 |
| 10   | 222,0                | 161,5 | 122,4 | 220,3                  | 163,9 | 124,7 |
| 30   | 219,5                | 155,4 | 117,1 | 220,5                  | 157,9 | 117,1 |
| 40   | 215,6                | 155,5 | 116,8 | 218,4                  | 154,7 | 117,0 |
| 50   | 218,9                | 155,8 | 116,0 | 214,8                  | 155,4 | 116,3 |
| 250  | 213,9                | 154,6 | 114,6 | 217,3                  | 154,0 | 114,1 |



Obr. 40. Graf; Dlouhý kanál 160°C



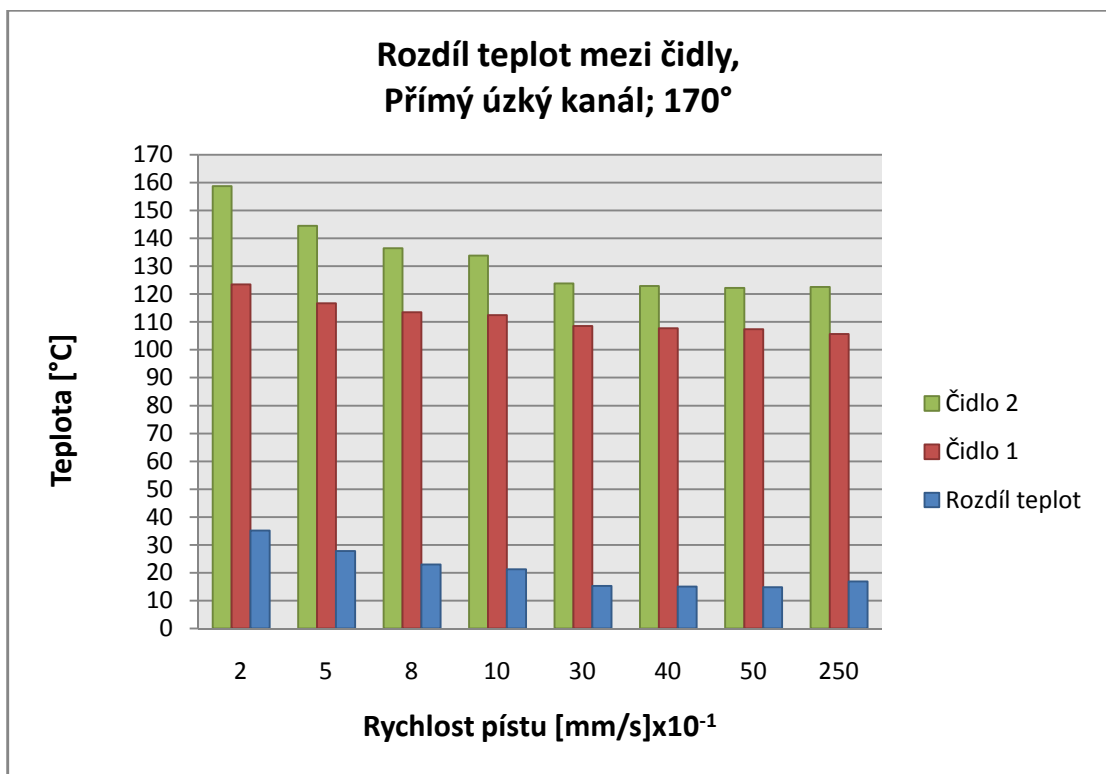
Obr. 41. Graf; Dlouhý kanál 170°C



Obr. 42. Graf; Dlouhý kanál 180°C

Tab. 10. Přímý úzký kanál; Rozdíl teplot

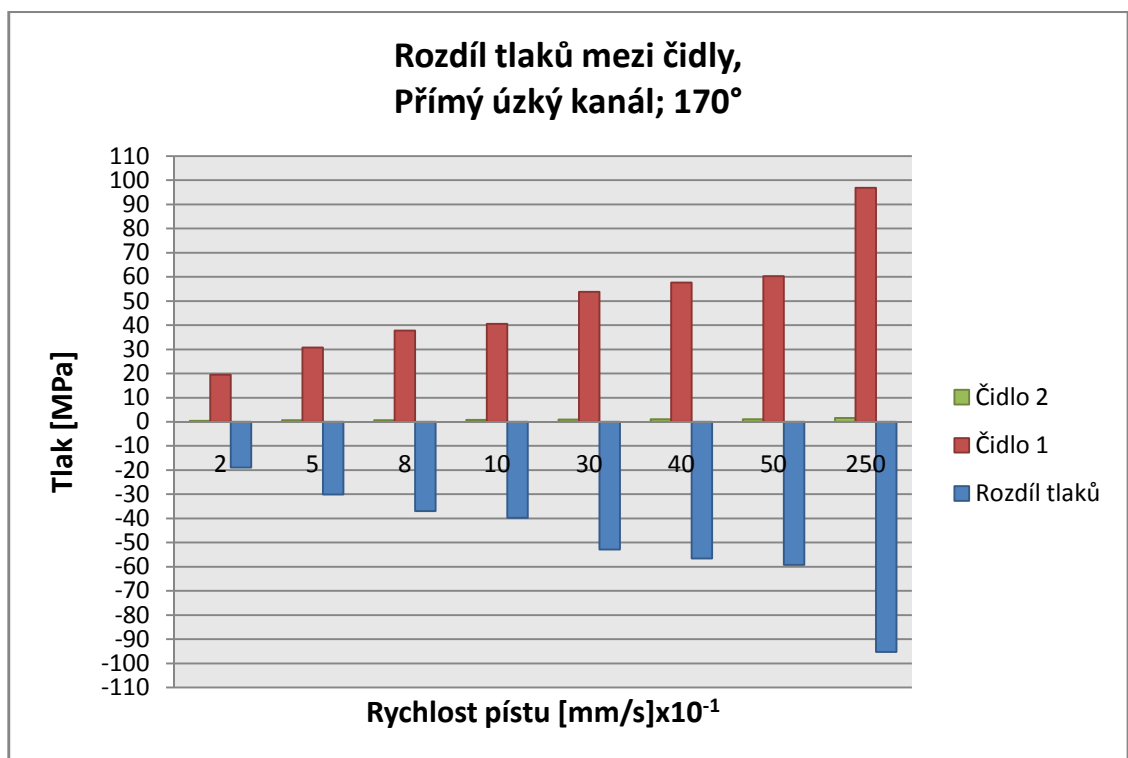
| Přímý úzký kanál |                        |                        | 170°C       |
|------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| RYCHLOST PÍSTU   | ČIDLO 1 (TEPLOTA [°C]) | ČIDLO 2 (TEPLOTA [°C]) | ROZDÍL [°C] |
| 2                | 123,5                  | 158,7                  | 35,2        |
| 5                | 116,7                  | 144,5                  | 27,8        |
| 8                | 113,5                  | 136,5                  | 23          |
| 10               | 112,5                  | 133,8                  | 21,3        |
| 30               | 108,5                  | 123,8                  | 15,3        |
| 40               | 107,8                  | 122,9                  | 15,1        |
| 50               | 107,4                  | 122,2                  | 14,8        |
| 250              | 105,7                  | 122,6                  | 16,9        |



Obr. 43. Graf; Rozdíl teplot, přímý úzký kanál 170°C

Tab. 11. Přímý úzký kanál; Rozdíl tlaků

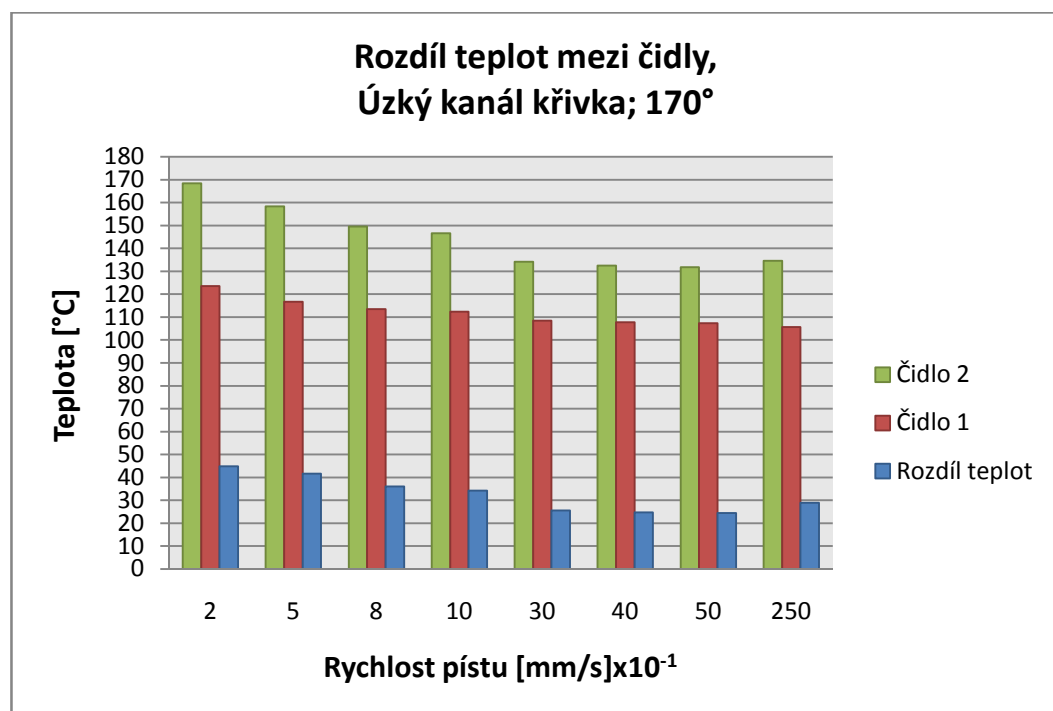
| Přímý úzký kanál |                      |                      | 170°C        |
|------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| RYCHLOST PÍSTU   | ČIDLO 1 (TLAK [MPa]) | ČIDLO 2 (TLAK [MPa]) | ROZDÍL [MPa] |
| 2                | 19,45                | 0,46                 | -18,99       |
| 5                | 30,74                | 0,62                 | -30,12       |
| 8                | 37,74                | 0,72                 | -37,02       |
| 10               | 40,52                | 0,76                 | -39,76       |
| 30               | 53,8                 | 0,96                 | -52,84       |
| 40               | 57,62                | 1,02                 | -56,6        |
| 50               | 60,25                | 1,06                 | -59,19       |
| 250              | 96,85                | 1,57                 | -95,28       |



Obr. 44. Graf; Rozdíl tlaků, přímý úzký kanál 170°C

Tab. 12. Úzký kanál křivka; Rozdíl teplot

| Úzký kanál křivka |                        |                        | 170°C       |
|-------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| RYCHLOST PÍSTU    | ČIDLO 1 (TEPLOTA [°C]) | ČIDLO 2 (TEPLOTA [°C]) | ROZDÍL [°C] |
| 2                 | 123,6                  | 168,4                  | 44,8        |
| 5                 | 116,7                  | 158,4                  | 41,7        |
| 8                 | 113,5                  | 149,6                  | 36,1        |
| 10                | 112,4                  | 146,6                  | 34,2        |
| 30                | 108,5                  | 134,1                  | 25,6        |
| 40                | 107,8                  | 132,5                  | 24,7        |
| 50                | 107,3                  | 131,8                  | 24,5        |
| 250               | 105,7                  | 134,6                  | 28,9        |

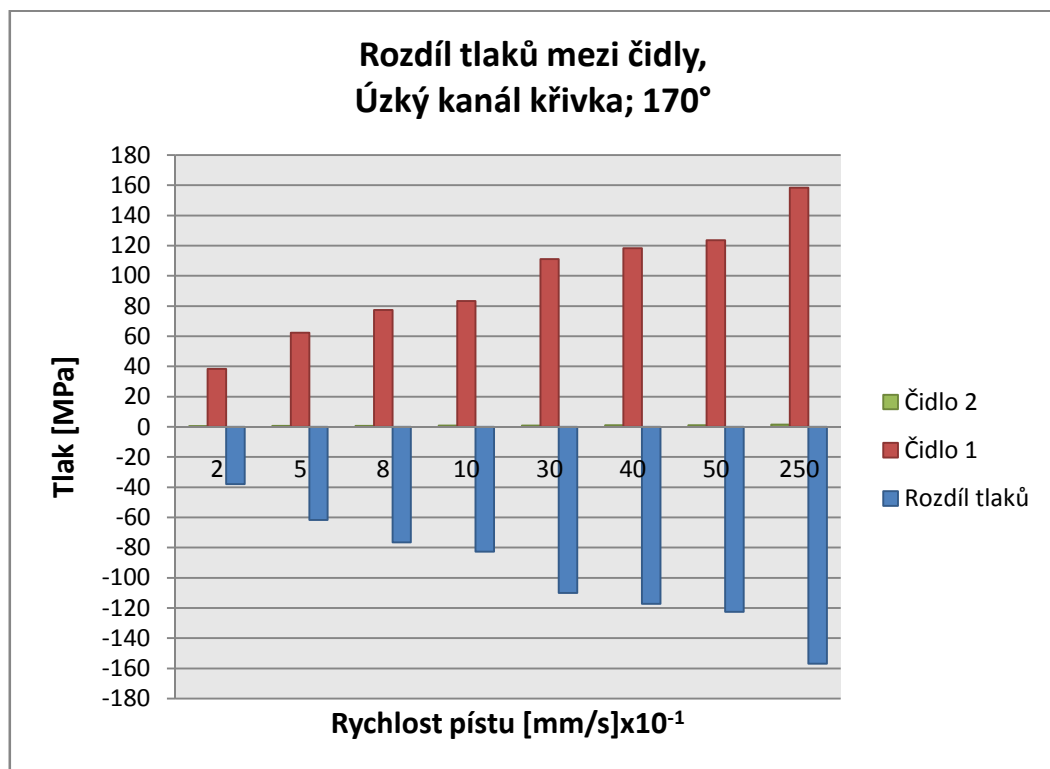


Obr. 45. Graf; Rozdíl teplot, úzký kanál křivka 170°C

Tab. 13. Úzký kanál křivka; Rozdíl tlaků

| Úzký kanál křivka |                      |                      | 170°C        |
|-------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| RYCHLOST PÍSTU    | ČÍDLO 1 (TLAK [MPa]) | ČÍDLO 2 (TLAK [MPa]) | ROZDÍL [MPa] |
| 2                 | 38,38                | 0,45                 | -37,93       |
| 5                 | 62,27                | 0,61                 | -61,66       |
| 8                 | 77,35                | 0,72                 | -76,63       |
| 10                | 83,35                | 0,77                 | -82,58       |
| 30                | 111,02               | 0,94                 | -110,08      |
| 40                | 118,37               | 1,04                 | -117,33      |
| 50                | 123,61               | 1,08                 | -122,53      |
| 250               | 158,27               | 1,45                 | -156,82      |

Pozn.: Tlak u zakřiveného kanálu stoupá postupně na zaznamenanou hodnotu, kde se po dobu vstřikování ustálí.



Obr.46. Graf; Rozdíl teplot, úzký kanál křivka 170°C

Z grafů Cure rate plyne velký rozdíl mezi tlustostěnným a tenkostěnným výstřikem. Zatím co u tlustostěnných vidíme počáteční pokles a následný růst, u tenkostěnných pozorujeme postupný pokles. Lze usuzovat, že na čas vulkanizace, mimo technologických podmínek má velký vliv tvar samotného výstřiku.

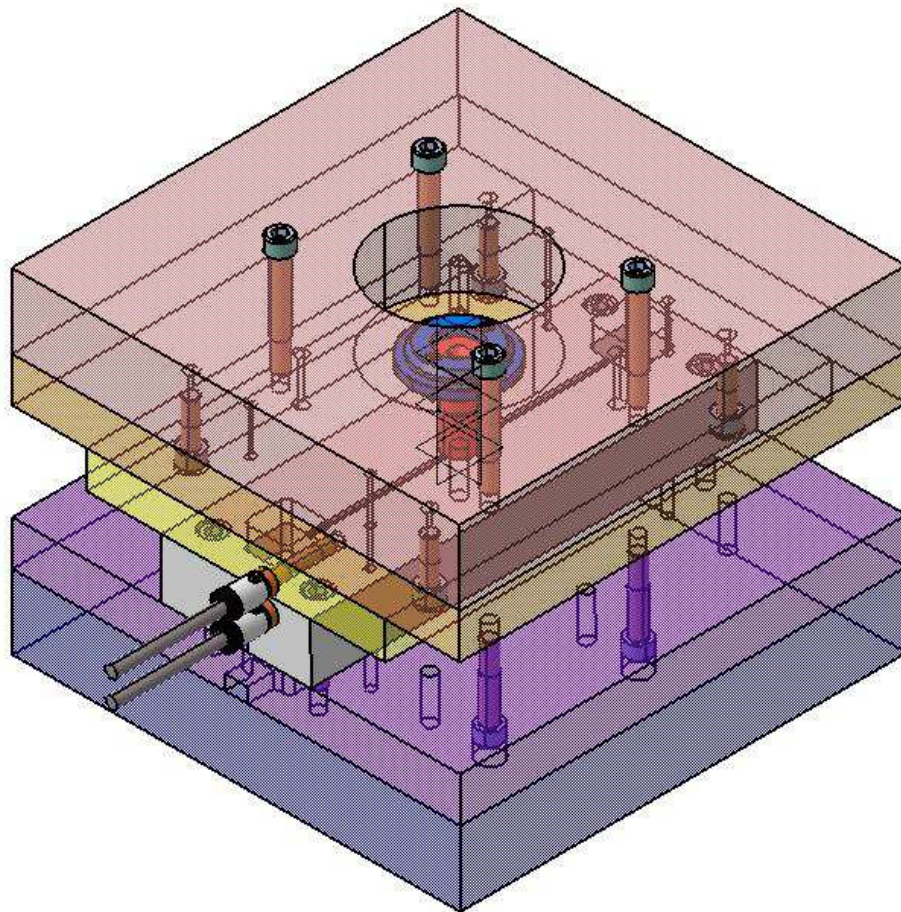
S ohledem na technologické podmínky zase z grafů pro tlustostěnné výstřiky plyne nejen to, že velký vliv na čas vulkanizace má teplota temperance formy, ale jak se ukázalo tak i hodnota Flow rate (návaznost na čas vstřikování) a tvar trajektorie kanálů. U delších kanálů (kanál křivka, dlouhý kanál), je čas vulkanizace nižší.

Z dalších grafů plyne, že v průběhu toku materiálu rozvodnými kanály, se mění její teplota a tlak v kanálech. Grafy byly provedeny jen pro dvě dráhy, protože u ostatních drah byly průběhy obdobné.

## 8 3D MODEL VSTŘIKOVACÍ FORMY

Forma byla vytvořena pro vstřikovací stroj REP. Upínací desky, byly již vytvořeny jako univerzální rám. To usnadnilo práci a vyráběny byly nakonec jen desky s rozvodnými kanály a dutinami pro výstřiky. Model formy byl vytvořen v programu Catia V5R18. Kotevní deska formy, je vytvořena jako univerzální, aby bylo možno upnout na ni větší množství různě velikých desek s tvarovými dutinami.

Na obrázku 47 je vidět zkompletovaná forma se všemi náležitostmi. Na obrázku můžeme vidět všechny desky, se šrouby a dvěma teploměry.

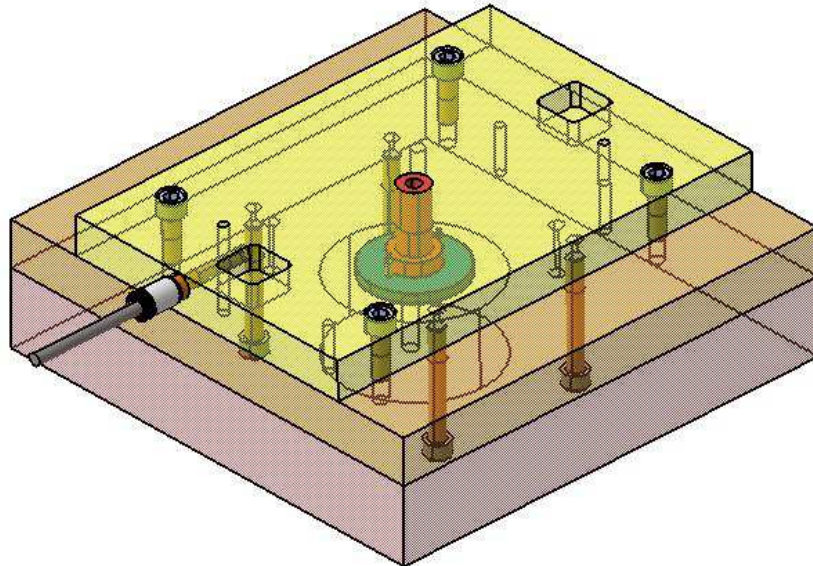


Obr. 47. Model formy (deska s přímým úzkým kanálem)

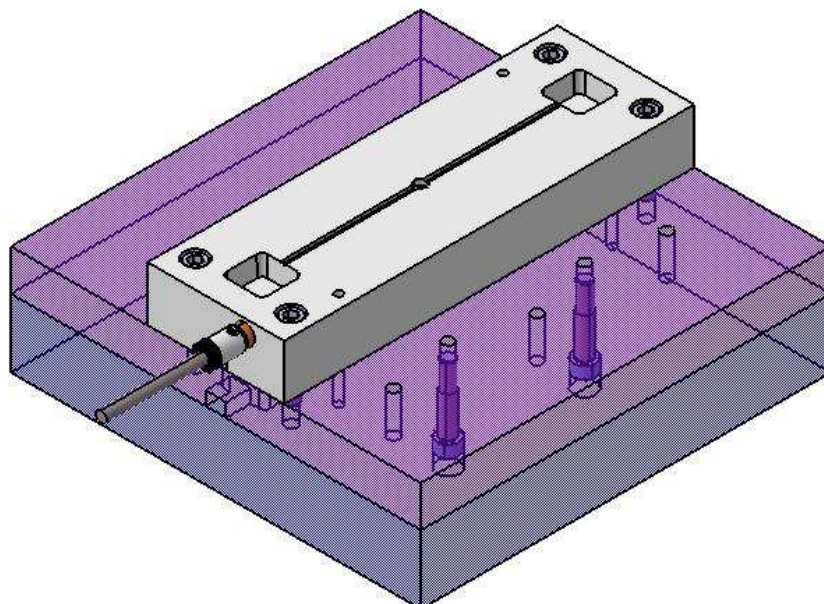
Na obrázku 48 je zobrazen pohled do dělicí roviny horní strany formy. Vidíme vložku s vtokovým kanálem, který ústí do dělicí roviny. Dále dvě horní poloviny dutiny formy a teploměr pro měření teploty temperace formy.



Dělicí rovina spodní strany formy je na obrázku 49, kde je vidět přídržovač vtoku, rozvodné kanály společně se spodní polovinou dutiny formy. I zde je umístěn teploměr v desce s dutinou.



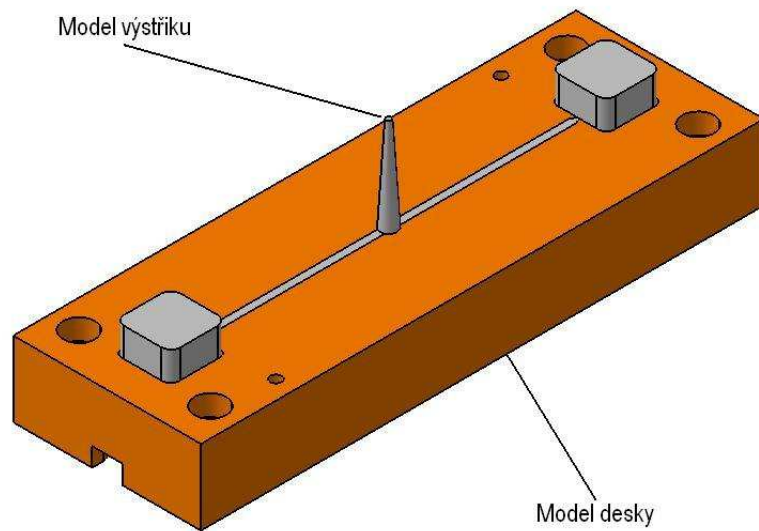
Obr. 48. Horní strana formy (deska s přímým úzkým kanálem)



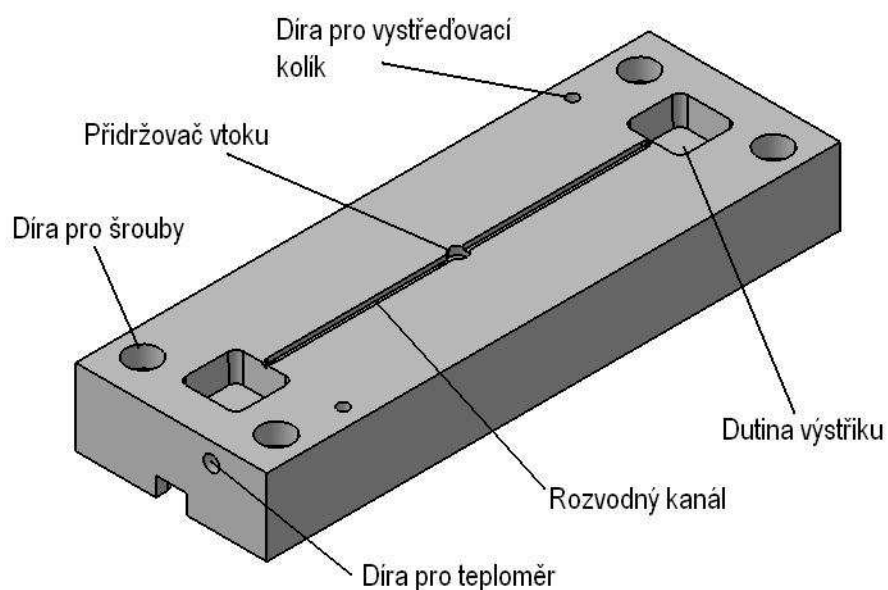
Obr.49. Spodní strana formy (deska s přímým úzkým kanálem)

### 8.1.1 Desky s tvarovými dutinami a tokovými kanály

Dvě tvarové dutiny, rozvodné kanály a přídržovač v toku, byly vytvořeny pomocí funkce „BooleanOperations; Remove“. Tím se tvarově a rozměrově analyzované dráhy s vytvořenými v deskách shodují. Modely desek, byly po uložení ve formátu CATpart a STP. Tento formát byl využit pro vložení do programu NX 7,5. Obráběcí proces každé desky byl uložen s příponou \*.PRT. Nakonec tedy bylo navrženo a vyrobeno osm desek, které jsou nachystány pro další výzkum, kde se budou ověřovat výsledky z analýz.



Obr. 50. Boolean Operations; Remove



Obr. 51. Deska s přímým úzkým kanálem

### 8.1.2 Čidla

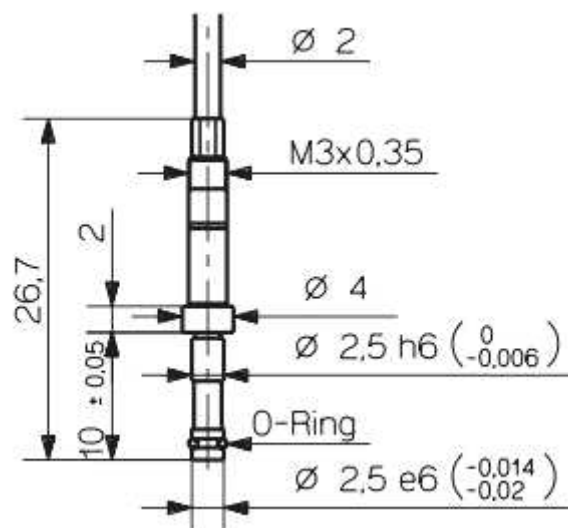
Do desek s přímými kanály a se zakřivenými kanály, byly vyvrtány díry pro čidla. Jedna na začátku rozvodného kanálu, druhá na konci. Čidla slouží k měření teplotních a tlakových rozdílů, ke kterým během toku materiálu kanály dochází.

Aby nedošlo k poškození čidel, například při vyjmutí výstřiků s vtokovými kanály z dutiny formy, nesmí přesahovat nad povrch kanálu. Proto bylo potřeba čidla zabezpečit. K tomu byly navrženy šrouby, které potřebnou polohu zajistí.

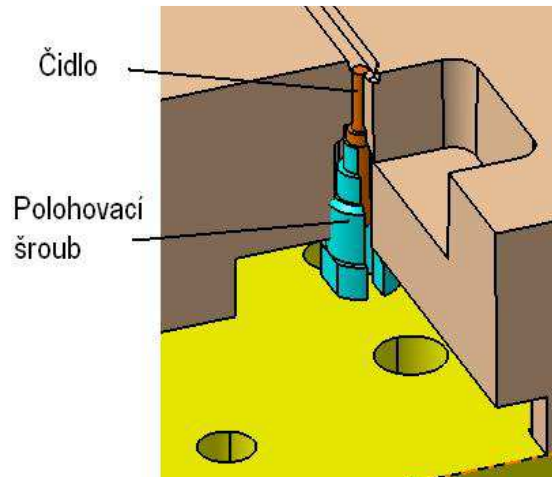
Pro měření byly použity a do forem instalovány čidla firmy Kistler. Přesně Type 6189A, SN 1906541 a SN 1906542. Níže jsou uvedeny obrázky pořízené přímo ze stránek firmy Kistler.



Obr. 52. Type 6189A



Obr. 53. Rozměrová specifikace



Obr. 54. Umístění čidla a šroubu

## 8.2 Výroba desek formy

Desky s rozvodnými kanály a dutinami pro výstřiky byly vymodelovány a následně převedeny na formát STP. Tento formát se užívá v programu NX 7.5, od firmy Siemens. Pro vymodelovaný capart, se v programu NX 7.5 vytvoří obráběcí CNC program, se všemi dráhami nástroje, obráběcí rychlostí a posuvy. Výsledný obráběcí program si můžeme prohlédnout v podobě animace.

CNC program byl uložen a přenesen do obráběcího stroje, frézy AZK HWT C-442 CNC.



Obr. 55. AZK HWT C - 442 CNC

### 8.2.1 Programování v program NX 7.5

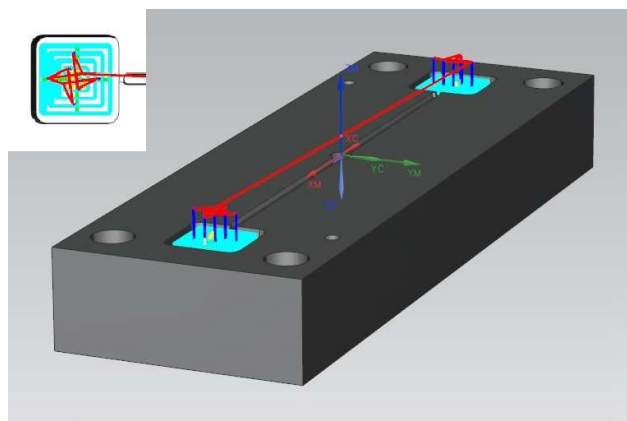
Obráběcí programy, byly sestaveny z následujících částí v této posloupnosti:

- Hrubování dutiny formy frézováním.
- Dokončování dutiny formy frézováním
- Frézování přídržovače vtoku.
- Hrubování rozvodného kanálu frézováním.
- Dokončování rozvodného kanálu frézováním.
- Frézování vtokového ústí do dutiny.
- Vrtání děr pro vystředovací kolíky.
- Navrtání děr pro šrouby.
- Frézování drážky pro přetoky.
- Frézování dutiny pro kabely.
- Vrtání děr pro čidla a polohovací šrouby.

ISO kód s příponou \*.ANC byl načten do stroje. Pro tuto výrobu byly použity jednotlivé typy obrábění (frézování, vrtání, hrubování, dokončování), patřičný nástroj a pro něj byly zadány parametry obrábění (řezná rychlost, pracovní posuv, rychloposuv, atd.).

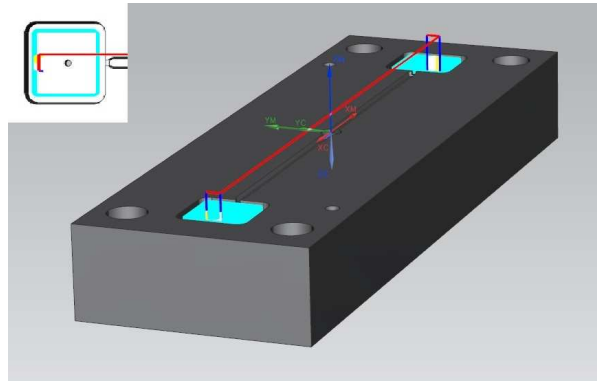
Postup je zobrazen na následujících obrázcích na příkladu Rovného úzkého kanálu pro tlustostěnné výstřiky.

Jako nástroj byla použita toroidní fréza: SECO Dc 8; Re 1



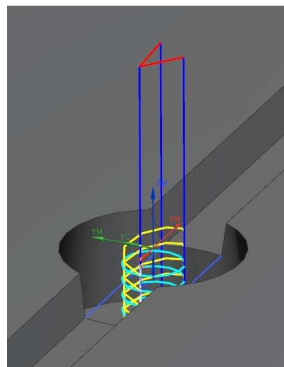
Obr. 56. Hrubování dutiny formy

Jako nástroj byla použita toroidní fréza: SECO Dc 8; Re 1



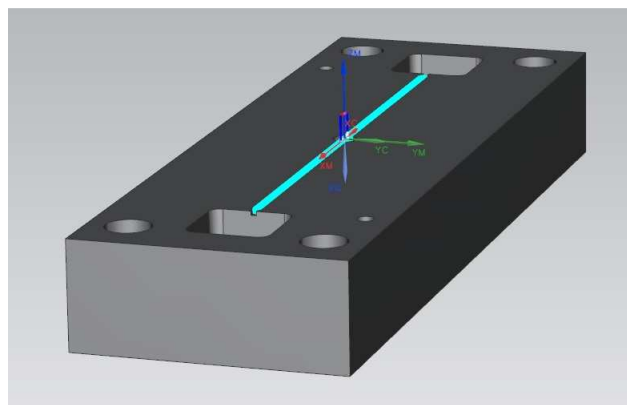
*Obr.57. Dokončování dutiny formy*

Pro frézování byla vytvořena speciální jednobřítá fréza.



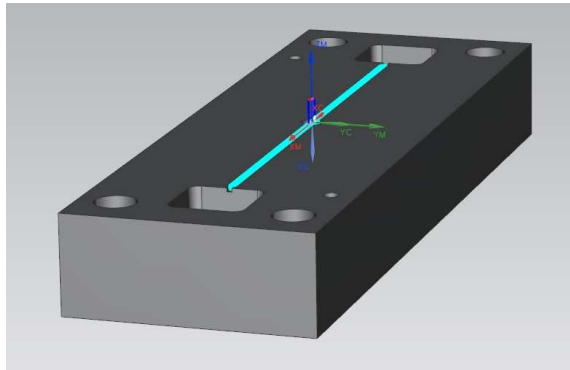
*Obr. 58. Frézování přídržovače vtoku*

Jako nástroj byla použita toroidní fréza: SECO Dc 3; Re 0,2



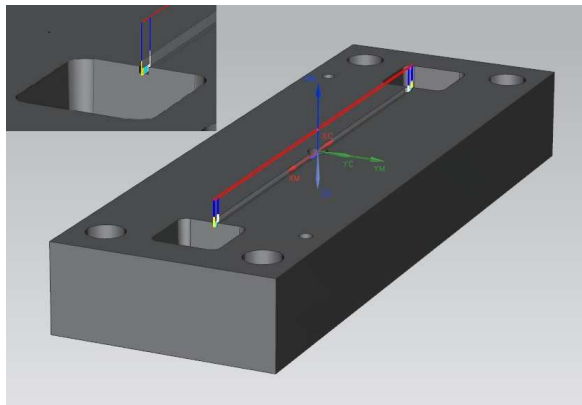
*Obr. 59. Hrubování rozvodného kanálu*

Jako nástroj byla použita toroidní fréza: SECO Dc 3; Re 0,2



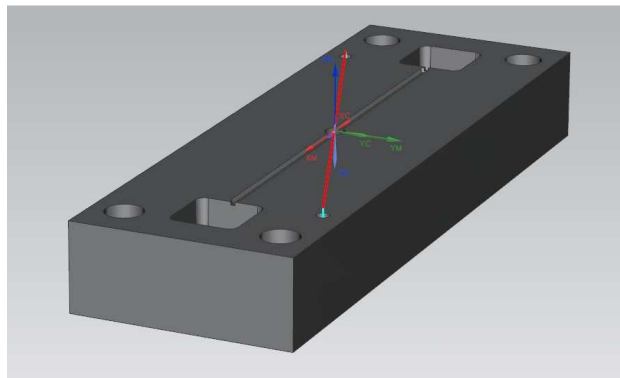
*Obr. 60. Dokončování rozvodného kanálu*

Jako nástroj byla použita kulová fréza: SECO Dc 2



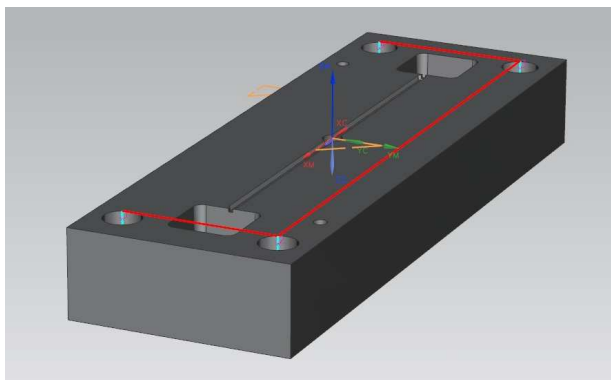
*Obr. 61. Frézování vtokového ústí*

Pro navrtání děr byl použit vrták: SECO Ø 2,5



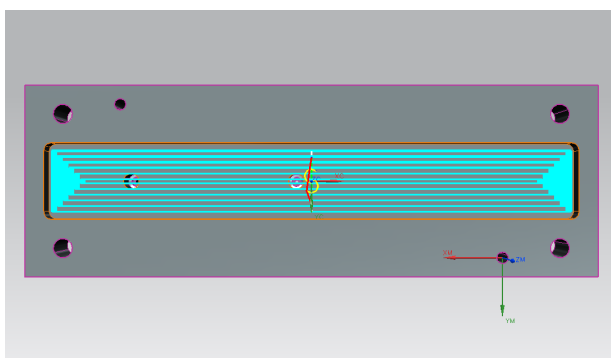
*Obr. 62. Vrtání děr pro vystřed'ovací kolíky*

Pro navrtání děr byl použit vrták: SECO Ø 2,5



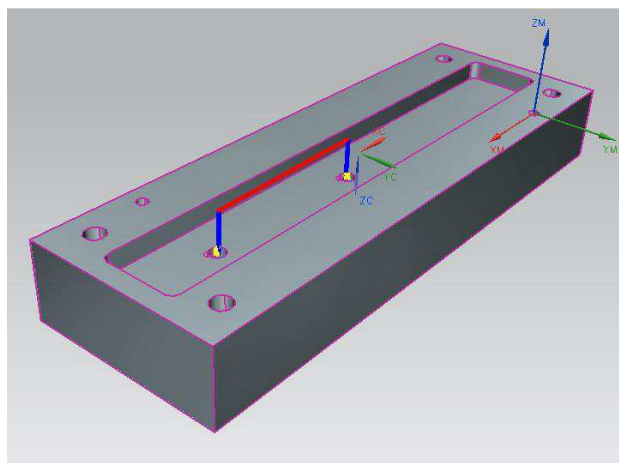
Obr. 63. Navrtání děr pro šrouby

Jako nástroj byla použita toroidní fréza: SECO Dc 8; Re 1



Obr. 64. Frézování dutiny pro kabely čidel

Pro navrtání děr byl použit vrták: SECO Ø 2,5



Obr. 65. Vrtání děr pro čidla a šrouby

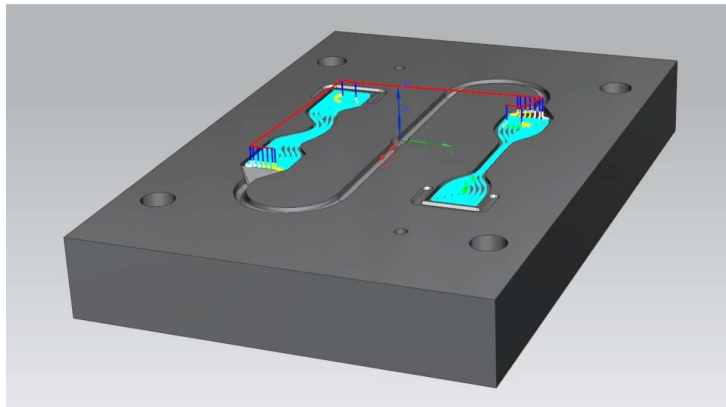


U drah Rovný kanál široký, Úzký kanál křivka, Široký kanál křivka, byl vytvořen obdobný program, který se lišil jen drahou rozvodných kanálů.

Pro vizualizaci výroby desek s dutinami na zkušební tělíska byla zvolena deska se širokým krátkým kanálem. Tak jako v předchozím případě i zde se výroba ostatních desek lišila jen změnou dráhy rozvodných kanálů.

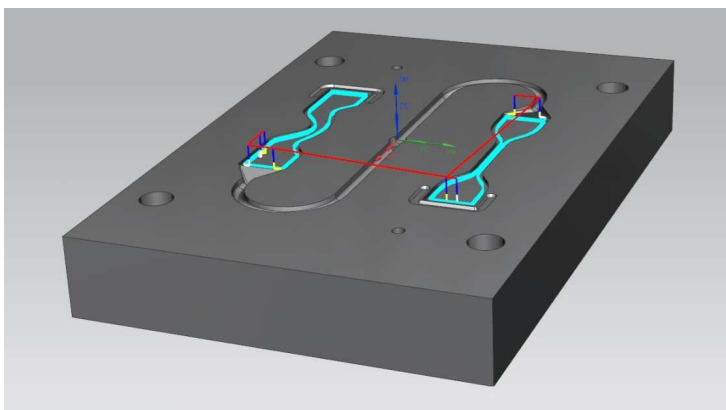
Pro tenkostěnné výstřiky je postup výroby je zobrazen na příkladu Krátkého úzkého kanálu. U ostatních drah pro tenkostěnné výstřiky byl program opět až na dráhy kanálů stejný.

Jako nástroj byla použita válcová fréza: SECO Dc 6



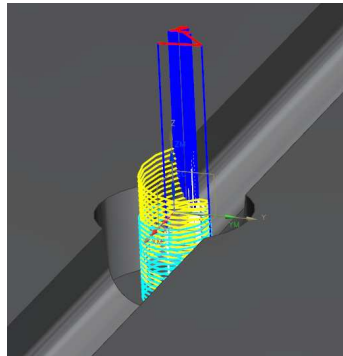
*Obr. 66. Hrubování dutiny formy*

Jako nástroj byla použita válcová fréza: SECO Dc 6



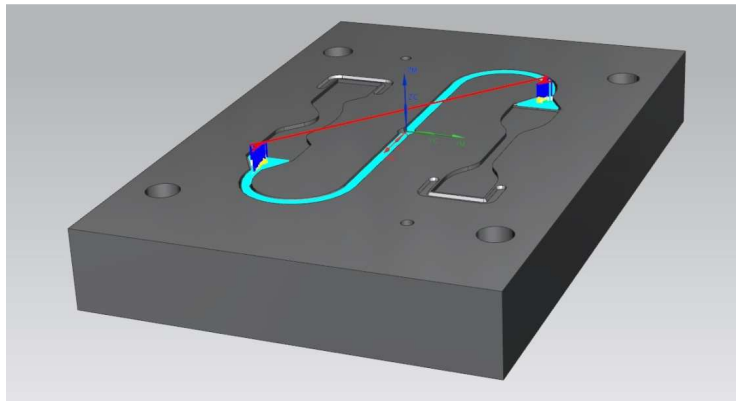
*Obr. 67. Dokončování dutiny formy*

Pro frézování byla vytvořena speciální jednobřítá fréza.



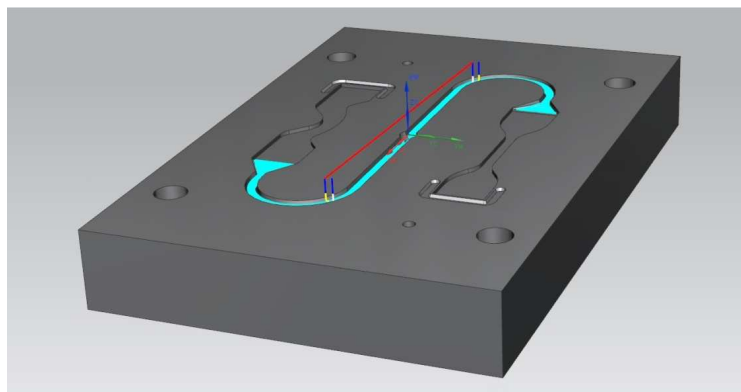
*Obr. 68. Frézování přídržovače vtoku*

Jako nástroj byla použita kulová fréza: SECO Dc 6; Re 1,5



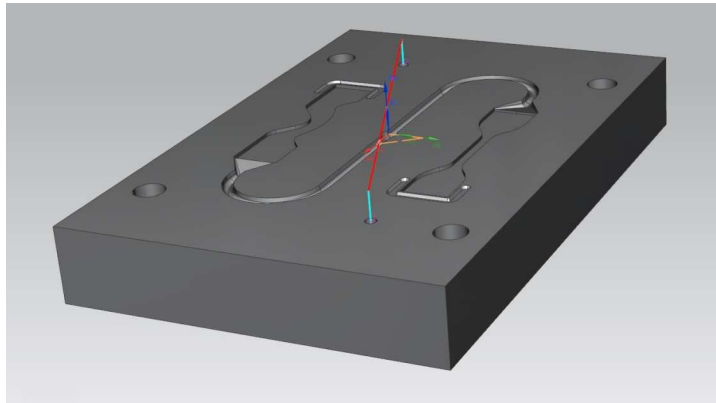
*Obr.69. Hrubování rozvodného kanálu*

Jako nástroj byla použita válcová fréza: SECO Dc 6



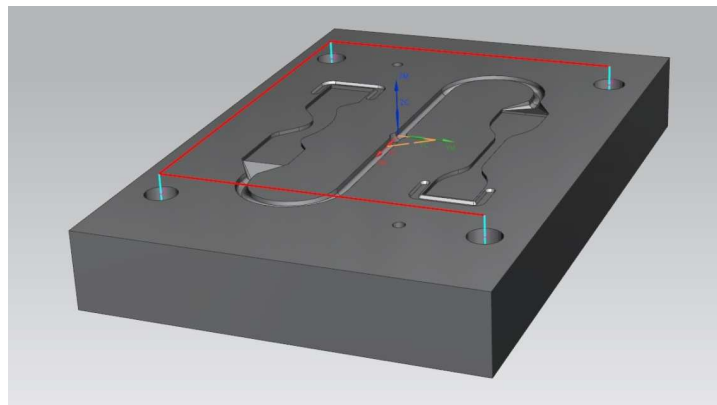
*Obr. 70. Dokončování rozvodného kanálu*

Pro navrtání děr byl použit vrták: SECO Ø 2,5



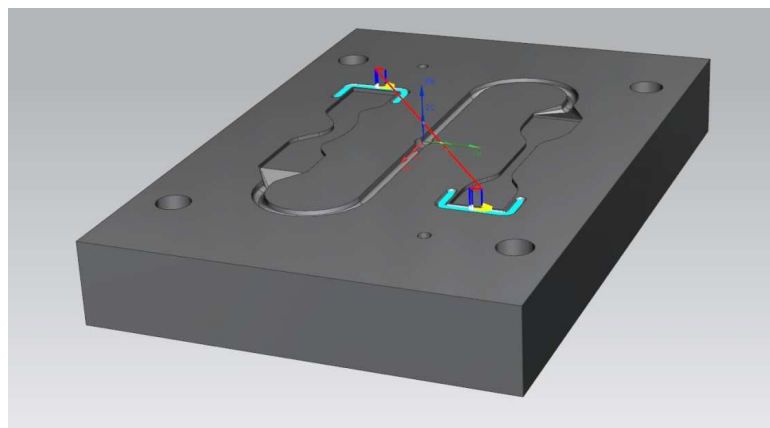
*Obr. 71. Vrtání děr pro vystřed'ovací kolíky*

Pro navrtání děr byl použit vrták: SECO Ø 2,5



*Obr.72. Navrtání děr pro šrouby*

Jako nástroj byla použita toroidní fréza: SECO Dc 3, Re 0,2



*Obr. 73. Frézování drážky pro přetoky*

Vrtání děr pro šrouby, kolíky a teploměr bylo dokončeno na stolní vrtačce Optimum B40 GSM. Jedná se o Sloupovou vrtačku s převodovým soukolím, strojním posuvem, závitovým cyklem a chlazením.

Tab. 14. Parametry vrtačky Optimum B40 GSM

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| Pracovní stůl             | 560 x 560 mm  |
| Otáčky                    | 40-450 ot/min |
| Počet rychlostních stupňů | 18            |
| Max. průměr vrtáku        | 35 mm         |



Obr. 74. Optimum B40 GSM

Nástroje pro vrtání děr na šrouby:

- Vrták: SECO Ø 10,5
- Záhlubník: 18 x 10,5 ČSN 1604

Nástroje pro vrtání děr na kolíky:

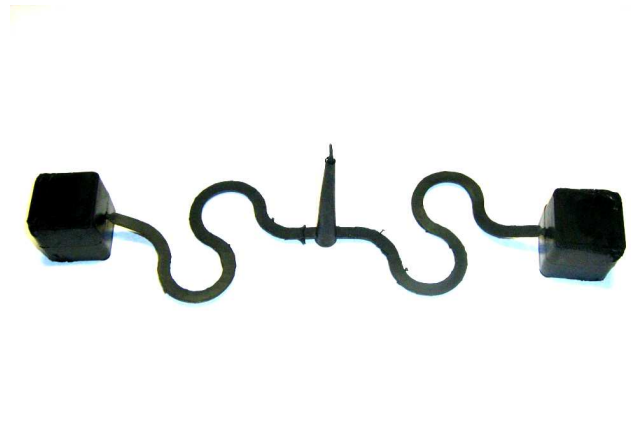
- Vrták: SECO Ø 6

Nástroje pro vrtání díry na teploměr a čidla:

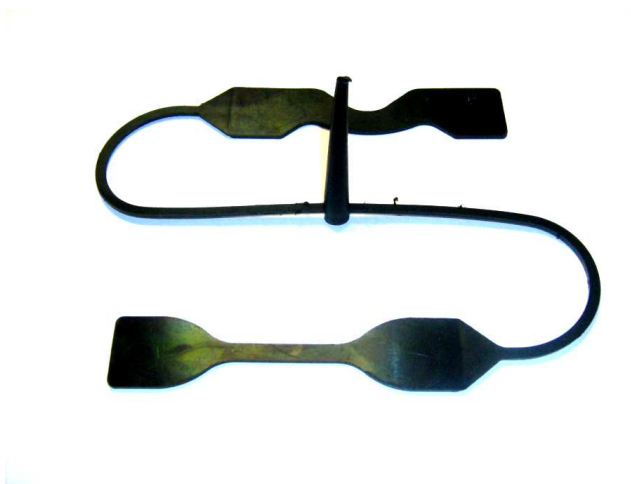
- Vrták: SECO Ø 2,5
- Vrták: SECO Ø 9
- Závitník: CZ TOOL M10x1

## 9 ZKUŠEBNÍ VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování se provádělo na vstřikovacím stroji Rep V27 Y125. Byla odzkoušena funkčnost všech druhů drah. U výstřiků typu krychle, byly zjištěny problémy v rozích výrobku, tato chyba je spojena s problémem uzavírání vzduchu. Je nutné tuto formu poupravit a vyřešit její odvzdušnění. U tenkostěnných zkušebních těles k takovým chybám nedošlo a byly použity pro provedení předběžných měření na trhacím stroji.



*Obr. 75. Výstřik tlustostěnného výstřiku*



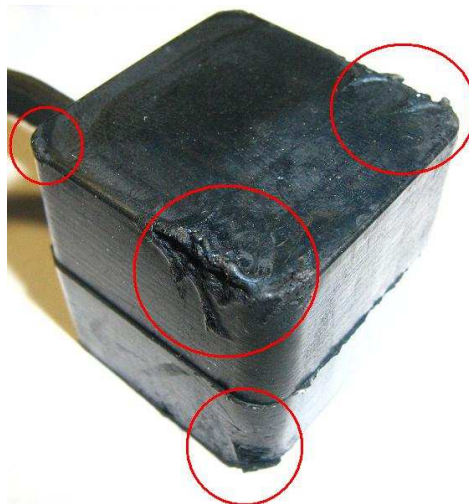
*Obr. 76. Výstřik tenkostěnného výstřiku*

U nízkých rychlostí vstřikování (hodnota 2), došlo k nedotečení materiálu. Důvodem je, že se směs při pomalém toku kanálem byla vystavena delší dobou ohřevu před vstupem do dutiny formy. Nastala předčasná vulkanizace na povrchu materiálu. Po dotečení do dutiny se materiál už nemohl dostatečně spojit.



Obr. 77. Předčasná vulkanizace

Naopak u vyšších rychlostí, materiál dutinu zcela zaplnil, ale vzhledem k nedostatečnému odvodu vzduch, došlo k jeho uvěznění a tím spojené problémy v místech rohů.



Obr. 78. Nevulkanizování

## 9.1 Vstřikovací stroj - REP V27 Y125

Zkušební vstřikování bylo provedeno na vertikálním vstřikovacím stroji, určeném pro vstřikování elastomerních materiálů. Stroj je určen pro maximální velikost formy 300x300x495 mm. Další parametry formy, jsou uvedeny v tabulce 17.

Tab. 15. Parametry vstřikovacího stroje

|                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| Průměr šneku            | 20 mm               |
| Uzavírací síla          | 57 kN               |
| Max. množství materiálu | 125 cm <sup>3</sup> |



Obr. 79. Vstřikovací stoj REP V27 Y125

### 9.1.1 Ovládání stroje

Aby bylo vůbec možné se strojem pracovat, bylo důležité seznámit se s jeho ovládáním.

V tabulce níže je výběr funkcí se kterými bylo pracováno.

Tab. 16. Ovládání stroje

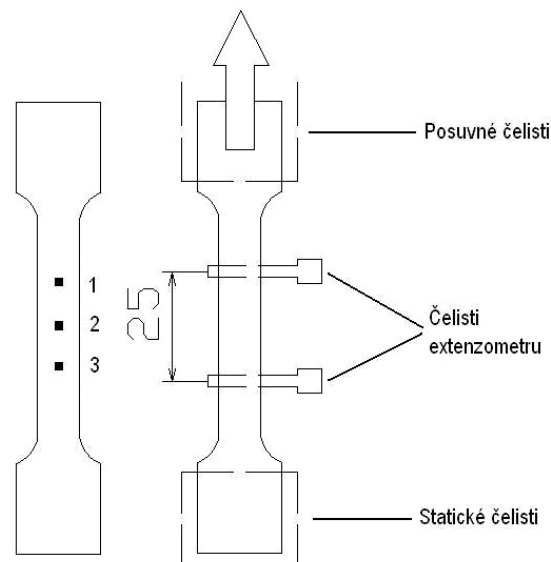
| Číselné označení | Význam                                    |
|------------------|---|
| 21               | Rychlost vstřikování                      |
| 30               | Celková dávka směsi                       |
| 41               | Vstřikovací tlak                          |
| 51               | Doba po kterou působí vstřikovací tlak 41 |
| 56               | Doba vulkanizace                          |
| 61               | Teplota temperace šneku                   |
| 62               | Teplota temperace vstřikovací komory      |
| 65               | Teplota horní topné desky                 |
| 67               | Teplota dolní topné desky                 |

## 10 TESTOVÁNÍ VÝSTŘÍKŮ

Testování výstříků proběhlo pouze informativní. Záměrem bylo vyzkoušet, jak budou výstříky testovány a jaké výsledky lze očekávat. Provedli jsme tahovou zkoušku a zkoušku tvrdosti Shore A. Právě testování výstříků, by mělo být základem budoucích výzkumů.

### 10.1 Tahová zkouška

Tahovou zkoušku jsme prováděli na trhacím stroji Tensometer 2000 Alpha Technologies. Tento stroj propojený s počítačem je schopen automaticky vyhodnocovat měřené hodnoty, které nastavíme. Dokáže vyhodnotit jak jednotlivé data, tak jejich statistické vyhodnocení a hodnoty zaznamenat i graficky.



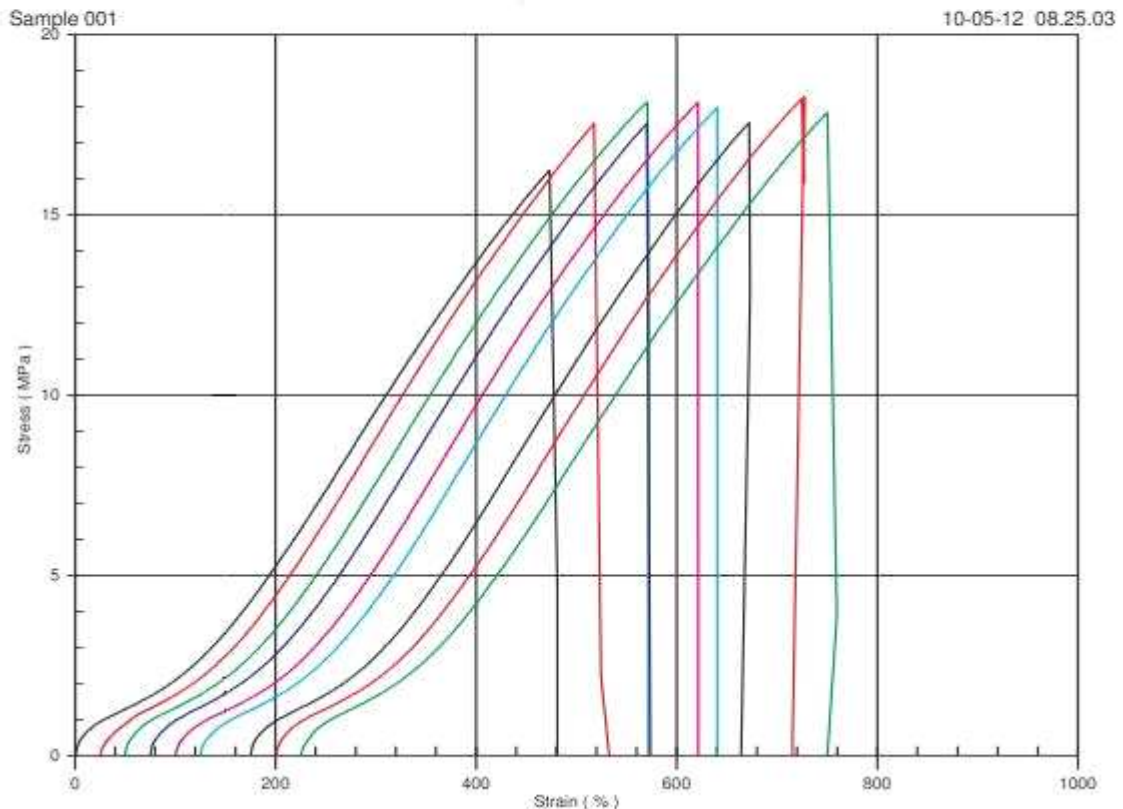
Obr. 80. Princip tahové zkoušky

Pro provedení testu, se musely naměřit ve třech bodech tloušťka vzorku, mezi čelistmi extenzometru pomocí přístroje Monsanto. Poté byl vzorek upevněn do čelistí a proběhla samotná tahová zkouška, až do přetrhnutí tělíška.



Multi-specimen results:

|         | Break Stress<br>MPa | Break Strain<br>% | Peak Stress<br>MPa | Peak Strain<br>% | Mod @ 50%<br>MPa | Mod @ 100%<br>MPa | Mod @ 200%<br>MPa |
|---------|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Median  | 17.738              | 507.75            | 17.816             | 507.75           | 1.300            | 2.110             | 5.287             |
| Average | 17.576              | 457.41            | 17.704             | 457.30           | 1.296            | 2.113             | 5.317             |
|         | Mod @ 300%<br>MPa   | Mod @ 500%<br>MPa | Mod @ 10<br>%      | Mod @ 20<br>%    |                  |                   |                   |
| Median  | 9.794               | 17.505            | 304.50             | ***.***          |                  |                   |                   |
| Average | 9.745               | 17.460            | 275.42             | ***.***          |                  |                   |                   |



Obr. 81. Naměřené hodnoty tahové zkoušky

Tensometer 2000 naměřil a vyhodnotil průměrnou hodnotu maximálního zatížení, při kterém došlo k přetržení zkušebního vzorku 17,576 Mpa.

## 10.2 Zkouška tvrdosti, Shore A

Zkoušku jsme provedli na tenkostěnném výstřiku (těleso pro strukturální zkoušku), přístrojem AFFRI Shore Hardness Test. Stroj slouží pro měření tvrdosti pryží a měkkých lehčených polymerních materiálů. Pomocí páky se hrot zatlačí do zkoumaného tělesa a po uběhnutí měřicího času dojde k vyhodnocení zkouška a zobrazení výsledku na displej přístroje.

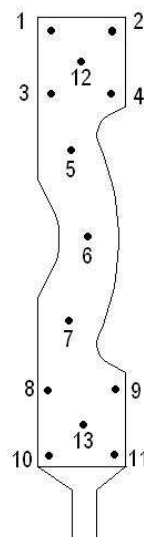
Na přístroji můžeme provést testovací metody: Shore A, D, 0, 00.



Obr. 82. Příklad přístroje AFFRI Shore Hardness

Měření proběhlo na třinácti různých místech na straně, kde se tavenina stýkala s broušeným povrchem horní části formy. Testovaná tělíska, byly vstřikovány za těchto technologických podmínek:

- Teplota formy: 170 °C
- Rychlost pístu: 50 mm/s x 10<sup>-1</sup>
- Doba vulkanizace: 4 minuty



Obr. 83. Body měření

Tab. 17. Výsledky testu Shore A

| Krátký úzký kanál; tělíška na tahovou zkoušku |           |           |           |           |           |           | Shore A |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Body měření                                   | 1. měření | 2. měření | 3. měření | 4. měření | 5. měření | 6. měření | Průměr  |
| 1   | 58,10     | 57,80     | 57,90     | 57,80     | 58,20     | 58,70     | 58,08   |
| 2   | 56,40     | 56,50     | 55,90     | 56,40     | 56,60     | 56,20     | 56,33   |
| 3   | 57,50     | 57,60     | 56,90     | 57,60     | 57,80     | 57,40     | 57,47   |
| 4   | 56,60     | 56,60     | 56,20     | 56,50     | 56,70     | 56,50     | 56,52   |
| 5   | 56,80     | 56,70     | 56,70     | 56,80     | 57,10     | 56,70     | 56,80   |
| 6   | 57,10     | 57,30     | 57,50     | 57,40     | 57,80     | 57,20     | 57,38   |
| 7   | 56,80     | 57,00     | 56,80     | 57,00     | 57,00     | 57,20     | 56,97   |
| 8   | 57,40     | 57,10     | 57,10     | 57,80     | 57,80     | 57,30     | 57,42   |
| 9   | 56,70     | 56,60     | 56,80     | 56,80     | 56,60     | 56,50     | 56,67   |
| 10  | 61,10     | 62,40     | 61,40     | 61,50     | 62,80     | 62,80     | 62,00   |
| 11  | 59,40     | 59,30     | 58,40     | 58,40     | 58,40     | 58,90     | 58,80   |
| 12  | 57,50     | 57,00     | 56,80     | 57,00     | 57,10     | 57,00     | 57,07   |
| 13  | 56,80     | 57,00     | 56,80     | 56,70     | 57,10     | 56,80     | 56,87   |

Hodnota Shore A se mění na celé ploše vzorku. Změny v tvrdosti jsou nejspíše způsobeny způsobem, jak byla dutina formy zaplněna postupně plněna.

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Při nižších hodnotách rychlosti vstřikování (Flow rate) se ukázalo, že čas vulkanizace je nižší. Například pro rovný úzký kanál, při teplotě 160°C formy, činí rozdíl mezi rychlostí posuvu pístu 5 a 250 celých 10 sekund. Ve stejném případě, ale při teplotě 180°C je rozdíl již 18,1 sekund. Dá se tedy říci, že tavenina teče kanálem déle a tudíž se více ohřeje a tím se zkrátí čas potřebný na dosažení vulkanizační teploty směsi a tím celkově vulkanizace. To dokazuje i porovnání rozdílů teplot mezi čidly, který se s zvyšující rychlostí vstřikování snižuje. Při hodnotě rychlosti 250, však dochází k mírnému vzestupu rozdílu teplot. Dá se říci, že vzhledem k vyšší rychlosti narůstá disipované teplo, protože při vyšších rychlostech je větší rozdíl vstřikovacího tlaku mezi čidlem jedna a čidlem dva. U hodnoty 250 barů je tlaková ztráta největší.

Pokud porovnáme rovný kanál s kanálem křivkovým, vidíme, že s ohledem na Cure rate 90% vychází čas vulkanizace pro křivkový kanál nižší. Z toho vyplývá, že čím delší kanál, tím kratší čas vulkanizace. Rozdíl mezi rovným a křivkovým kanálem při teplotě 160°C a rychlostí posuvu pístu 5 je 53,5 sekund. Při teplotě 180°C je pak rozdíl 57,3 sekund.

U kanálů v deskách pro zkušební tělesa dochází ke stejnému závěru a to, že delší kanály mají nižší čas vulkanizace.

S ohledem na rozdílnou plochu průřezů kanálů, bylo zjištěno, že nemá tak velký vliv jako délka kanálu na dobu vulkanizace. I když nepatrný vliv má. Speciálně u křivkového kanálu je vidět, že větší plocha průřezu má vyšší čas vulkanizace než menší. Také můžeme říct, že z ekonomičnosti výroby, bude menší plocha výhodnější. Méně materiálu zůstane jako odpad v rozvodných kanálech. Je tedy důležité najít správný kompromis.

Po výrobě desek s dutinami výstřiků, jsme provedli zkušební vstřiky, které nám odhalily jisté problémy. Předčasná vulkanizace během nízkých rychlostí, nebo uzavření vzduchu a nezvulkanizování směsi (jako řešení bylo navrženo zavedení odvzdušnění) při vyšších rychlostech.

Analýzy jsou dobrým základem, ale je důležité pro budoucí výzkum, propojit jejich výsledky s reálným vstřikováním a zkouškami výstřiků. Tím si můžeme ověřit, jaké vlastnosti bude mít výstřik, jestliže upravíme jeho vulkanizační dobu, vlivem trajektorie rozvodných kanálů a nastavením technologických podmínek. Důležité bude zjistit, jak se

tedy bude měnit mechanické vlastnosti výstříků. Po vystříknutí několika vzorku, bylo ověřeno, že vzorky jsou připraveny k měření.

## ZÁVĚR

Úkolem praktické části bylo zjistit, jaký vliv mají různé průřezy a trajektorie na dobu vulkanizace.

Byly provedeny analýzy vstřikovacího procesu, za různých podmínek a zjištěné výsledky byly vyhodnoceny. Vzájemným porovnáváním bylo zjištěno, že delší trajektorie mají pozitivní vliv na dobu vulkanizace a s vhodnými technologickými parametry vstřikovacího procesu lze dosáhnout nižších časů, než u kanálů kratších.

Pro tlustostěnné výstřiky byl zjištěn nejnižší čas vulkanizace u Úzkého kanálu křivka 189,8 s při teplotě formy 180°C zatím co nejvyšší u Rovného širokého kanálu 382,1 s při teplotě formy 160°C . U tenkostěnného byl pak nejnižší čas zjištěn u Dlouhého kanálu širokého 141,1 s při teplotě 180°C zatím co nejvyšší u Širokého dlouhého kanálu 267,2 s při teplotě formy 160°C.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [10] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J., *Konstrukce výrobků, Konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu*, Elektronická skripta FT : UTB. Zlín: 2011
- [2] TOMIS, F., *Gumárenská a plastikářská technologie: Zpracovatelské procesy*. 2. přepr.vyd. Brno: VUT, 1987, 289 s.
- [3] SOMMER, John G. *Elastomer molding technology: a comprehensive and unified approach to materials, methods, and mold design for elastomers*. Hudson, OH: Elastech, 2003, vi, 471 p. ISBN 09-723-0910-1.
- [4] TOMIS, F., HELŠTÝN, J. *Formy a přípravky*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1985. 374 s. ISBN 414-33580.
- [5] DUCHÁCEK, V., HRDLIČKA, Z., *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*. 4. preprac. vyd. Praha : [s.n.], 2009. 200 s. ISBN 80-7080-325-5.
- [6] ŠPAČEK, J., *Technologie gumárenská a plastikářská II*. 1. Vyd. Brno : VUT, 1980. 200 s.
- [7] JOHNSON, Peter S. *Rubber Processing : An Introduction*. [s.l.] : [s.n.], 2001. 145 s.
- [8] DVOŘÁK, Z., *Základy výrobních procesů, Konstrukce gumárenských výrobků a forem pro jejich výrobu*, Elektronická skripta FT : UTB. Zlín: 2007
- [9] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [10] Kyas, K.; Stanek, M.; Manas, M.; Manas, D.; Krumal, M. & Cerny, J. (2010). Polymer Injection Molding Process Simulation, Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium, 20-23rd October 2010, Zadar, Croatia, ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-73-5, Katalinic, B. (Ed.), pp. 1081-1082, Published by DAAAM International Vienna, Vienna
- [11] GABRIEL, J. Analýza vstřikování Cadmould přehled podkladů pro zakázkové i uživatelské zpracování nových projektů. [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|                 |                                       |
|-----------------|---------------------------------------|
| °C              | Stupeň Celsiův                        |
| %               | Procenta                              |
| MPa             | Mega Pascal                           |
| $S_k$           | Plocha kanálu                         |
| b               | Šířka ústí                            |
| h               | Výška ústí                            |
| D               | Průměr temperančního kanálu           |
| mm              | Milimetr                              |
| USA             | Spojené státy Americké                |
| $T_g$           | Teplota skelného přechodu             |
| Dsk             | Díl na sto dílů kaučuku               |
| E               | Modul pružnosti v tahu                |
| G               | Modul pružnosti ve smyku              |
| K               | Objemový modul pružnosti              |
| $\mu$           | Poissonovo číslo                      |
| AC              | Adaptive Control                      |
| CAD             | Computer-Aided Design                 |
| CAM             | Computer-Aided Manufacturing          |
| CNC             | Computer Numeric Control              |
| NC              | Numeric Control                       |
| CAE             | Computer-Aided Egeneering             |
| STL             | Základní formát pro simulační analýzy |
| NBR             | Butadienakrylontrylový kopolymer      |
| cm <sup>3</sup> | Centimetr krychlový                   |



|     |                    |
|-----|--------------------|
| s   | Sekunda            |
| kN  | Kilonewton         |
| Ø   | Průměr             |
| ČSN | Česka státní norma |

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|   |    |
|---|----|
| <i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus</i> .....                           | 14 |
| <i>Obr. 2. Vstřikovací cyklus 1.</i> .....                        | 14 |
| <i>Obr. 3. Vstřikovací cyklus 2.</i> .....                        | 15 |
| <i>Obr. 4. Vstřikovací cyklus 3.</i> .....                        | 15 |
| <i>Obr. 5. Vstřikovací cyklus 4.</i> .....                        | 16 |
| <i>Obr. 6. Pístový vstřikovací stroj</i> .....                    | 17 |
| <i>Obr. 7. Šnekový vstřikovací stroj</i> .....                    | 18 |
| <i>Obr. 8. Vstřikovací stroj s předplastikací</i> .....           | 19 |
| <i>Obr. 9. Vějířové ústí vtoku [4]</i> .....                      | 20 |
| <i>Obr. 10. Umístění ústí vtoku [4]</i> .....                     | 21 |
| <i>Obr. 11. Odvzdušnění formy [4]</i> .....                       | 22 |
| <i>Obr. 12. Umístění temperančních kanálů [4]</i> .....           | 23 |
| <i>Obr. 13. Mechanické vyhazování [4]</i> .....                   | 23 |
| <i>Obr. 14. Forma se stírací deskou [4]</i> .....                 | 24 |
| <i>Obr. 15. Konstrukce okrajů [8]</i> .....                       | 26 |
| <i>Obr. 16. Okraje u pryžových výrobků [8]</i> .....              | 27 |
| <i>Obr. 17. Model ideální sítě [6]</i> .....                      | 36 |
| <i>Obr. 18. Průřezy drah rovného kanálu a kanálu křivka</i> ..... | 50 |
| <i>Obr. 19. Průřezy drah krátkého a dlouhého kanálu</i> .....     | 50 |
| <i>Obr. 20. Přímý úzký kanál</i> .....                            | 51 |
| <i>Obr. 21. Přímý široký kanál</i> .....                          | 51 |
| <i>Obr. 22. Úzký kanál křivka</i> .....                           | 52 |
| <i>Obr. 23. Široký kanál křivka</i> .....                         | 53 |
| <i>Obr. 24. Úzký krátký kanál</i> .....                           | 53 |
| <i>Obr. 25. Široký krátký kanál</i> .....                         | 54 |
| <i>Obr. 26. Úzký dlouhý kanál</i> .....                           | 54 |
| <i>Obr. 27. Široký dlouhý kanál</i> .....                         | 55 |
| <i>Obr. 28. Mesh statistic; Quality</i> .....                     | 56 |
| <i>Obr. 29. Rovný úzký kanál; Analýza CADMOULD</i> .....          | 57 |
| <i>Obr. 30. Úzký krátký kanál; Analýza CADMOULD</i> .....         | 57 |
| <i>Obr. 31. Graf; Rovný kanál 160°C</i> .....                     | 59 |
| <i>Obr. 32. Graf; Rovný kanál 170°C</i> .....                     | 60 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Obr. 33. Graf; Rovný kanál 180°C</i> .....                            | 60 |
| <i>Obr. 34. Graf; Kanál křivka 160°C</i> .....                           | 61 |
| <i>Obr. 35. Graf; Kanál křivka 170°C</i> .....                           | 62 |
| <i>Obr. 36. Graf; Kanál křivka 180°C</i> .....                           | 62 |
| <i>Obr. 37. Graf; Krátký kanál 160°C</i> .....                           | 63 |
| <i>Obr. 38. Graf; Krátký kanál 170°C</i> .....                           | 64 |
| <i>Obr. 39. Graf; Krátký kanál 180°C</i> .....                           | 64 |
| <i>Obr. 40. Graf; Dlouhý kanál 160°C</i> .....                           | 65 |
| <i>Obr. 41. Graf; Dlouhý kanál 170°C</i> .....                           | 66 |
| <i>Obr. 42. Graf; Dlouhý kanál 180°C</i> .....                           | 66 |
| <i>Obr. 43. Graf; Rozdíl teplot, přímý úzký kanál 170°C</i> .....        | 67 |
| <i>Obr. 44. Graf; Rozdíl tlaků, přímý úzký kanál 170°C</i> .....         | 68 |
| <i>Obr. 45. Graf; Rozdíl teplot, úzký kanál křivka 170°C</i> .....       | 69 |
| <i>Obr. 46. Graf; Rozdíl teplot, úzký kanál křivka 170°C</i> .....       | 70 |
| <i>Obr. 47. Model formy (deska s přímým úzkým kanálem)</i> .....         | 72 |
| <i>Obr. 48. Horní strana formy (deska s přímým úzkým kanálem)</i> .....  | 73 |
| <i>Obr. 49. Spodní strana formy (deska s přímým úzkým kanálem)</i> ..... | 73 |
| <i>Obr. 50. Boolean Operations; Remove</i> .....                         | 74 |
| <i>Obr. 51. Deska s přímým úzkým kanálem</i> .....                       | 74 |
| <i>Obr. 52. Type 6189A</i> .....   | 75 |
| <i>Obr. 53. Rozměrová specifikace</i> .....                              | 75 |
| <i>Obr. 54. Umístění čidla a šroubu</i> .....                            | 76 |
| <i>Obr. 55. AZK HWT C - 442 CNC</i> .....                                | 76 |
| <i>Obr. 56. Hrubování dutiny formy</i> .....                             | 77 |
| <i>Obr. 57. Dokončování dutiny formy</i> .....                           | 78 |
| <i>Obr. 58. Frézování přídržovače vtoku</i> .....                        | 78 |
| <i>Obr. 59. Hrubování rozvodného kanálu</i> .....                        | 78 |
| <i>Obr. 60. Dokončování rozvodného kanálu</i> .....                      | 79 |
| <i>Obr. 61. Frézování vtokového ústí</i> .....                           | 79 |
| <i>Obr. 62. Vrtání děr pro vystředovací kolíky</i> .....                 | 79 |
| <i>Obr. 63. Navrtání děr pro šrouby</i> .....                            | 80 |
| <i>Obr. 64. Frézování dutiny pro kabely čidel</i> .....                  | 80 |
| <i>Obr. 65. Vrtání děr pro čidla a šrouby</i> .....                      | 80 |

---

|   |    |
|---|----|
| <i>Obr. 66. Hrubování dutiny formy .....</i>            | 81 |
| <i>Obr. 67. Dokončování dutiny formy .....</i>          | 81 |
| <i>Obr. 68. Frézování přídržovače vtoku .....</i>       | 82 |
| <i>Obr. 69. Hrubování rozvodného kanálu .....</i>       | 82 |
| <i>Obr. 70. Dokončování rozvodného kanálu .....</i>     | 82 |
| <i>Obr. 71. Vrtání děr pro vystředovací kolíky.....</i> | 83 |
| <i>Obr. 72. Navrtání děr pro šrouby .....</i>           | 83 |
| <i>Obr. 73. Frézování drážky pro přetoky.....</i>       | 83 |
| <i>Obr. 74. Optimum B40 GSM .....</i>                   | 84 |
| <i>Obr. 75. Výstřik tlustostěnného výstřiku .....</i>   | 85 |
| <i>Obr. 76. Výstřik tenkostěnného výstřiku .....</i>    | 85 |
| <i>Obr. 77. Předčasná vulkanizace .....</i>             | 86 |
| <i>Obr. 78. Nezvulkanizování.....</i>                   | 86 |
| <i>Obr. 79. Vstřikovací stoj REP V27 Y125 .....</i>     | 87 |
| <i>Obr. 80. Princip tahové zkoušky .....</i>            | 88 |
| <i>Obr. 81. Naměřené hodnoty tahové zkoušky.....</i>    | 89 |
| <i>Obr. 82. Přístroj AFFRI Shore Hardness.....</i>      | 90 |
| <i>Obr. 83. Body měření.....</i>                        | 90 |

**SEZNAM TABULEK**

|   |    |
|---|----|
| <i>Tab. 1. Orientační hodnoty pro vstřikování elastomerní směsi [1]</i> ..... | 16 |
| <i>Tab. 2. Teploty skelného přechodu běžných kaučuků [5]</i> .....            | 31 |
| <i>Tab. 3. Zpracovatelské teploty</i> .....                                   | 57 |
| <i>Tab. 4. Vztah rychlosti pístu a Flow rate</i> .....                        | 58 |
| <i>Tab. 5. Technologické parametry</i> .....                                  | 58 |
| <i>Tab. 6. Rovný kanál; Cure rate</i> .....                                   | 59 |
| <i>Tab. 7. Kanál křivka; Cure rate</i> .....                                  | 61 |
| <i>Tab. 8. Krátký kanál; Cure rate</i> .....                                  | 63 |
| <i>Tab. 9. Dlouhý kanál; Cure rate</i> .....                                  | 65 |
| <i>Tab. 10. Přímý úzký kanál; Rozdíl teplot</i> .....                         | 67 |
| <i>Tab. 11. Přímý úzký kanál; Rozdíl tlaků</i> .....                          | 68 |
| <i>Tab. 12. Úzký kanál křivka; Rozdíl teplot</i> .....                        | 69 |
| <i>Tab. 13. Úzký kanál křivka; Rozdíl tlaků</i> .....                         | 70 |
| <i>Tab. 14. Parametry vrtačky Optimum B40 GSM</i> .....                       | 84 |
| <i>Tab. 15. Parametry vstřikovacího stroje</i> .....                          | 86 |
| <i>Tab. 16. Ovládání stroje</i> .....   | 87 |
| <i>Tab. 17. Výsledky testu Shore A</i> .....                                  | 91 |

## SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

Přiloženo CD:

- Textové soubory,
- Obrázky,
- Výsledky analýz,
- Sestava formy,
- Výkresová dokumentace.