

# Konstrukce vstřikovací formy pro vstřikování elastomerů

Bc. Adam Škrobák

---

Diplomová práce  
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam ŠKROBÁK**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro vstřikování elastomerů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Navrhněte konstrukční řešení univerzálního rámu formy a tvarových vložek
3. Provedte simulaci vstřikovacího procesu v Cadmould Rubber
4. Pomocí analýzy ověřte mechanické chování navržené vstřikovací formy

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2010**

Ve Zlíně dne 21. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

Příjmení a jméno: ..... Škrobák Adam .....

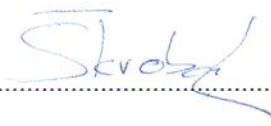
Obor: ..... KTZ .....

## 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 19.5.2010.....

.....  


<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 nevydělečně 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 vzdělávacímu 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro vstřikování elastomerních zkušebních tělísek. Teoretická část popisuje problematiku vstřikování, zmiňuje se o vstřikovacích strojích a konstrukčních zásadách při navrhování vstřikovací formy, to vše se zaměřením na elastomery. Praktická část je věnována samotnému konstrukčnímu návrhu univerzální formy s výměnnými tvarovými deskami, simulaci procesu vstřikování v programu Cadmould Rubber a mechanické analýze tvarových desek v programu SolidWorks.

Klíčová slova: elastomer, konstrukce, vstřikovací forma, vstřikovací stroj, analýza

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the construction of injection molds for injection molding elastomeric test particles. The theoretical part describes the injection, refers to the injection molding machines and structural principles in the design of injection molds, all focusing on elastomers. The practical part is devoted to the design proposal for a universal form with removable shaped plates, simulating the injection process in the program Cadmould Rubber and mechanical analysis of shaped plates in SolidWorks.

Keyword: elastomer, construction, injection molds, injection molding machine, the analysis

Děkuji všem, kteří mi při psaní této práce přispěli svými cennými radami. Především bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za pravidelné konzultování, odborné rady, milou spolupráci a čas, který mi po dobu vytváření této diplomové práce věnoval.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	13
1.2 ELASTOMERY.....	14
1.3 KAUKUKOVÉ SMĚSI.....	15
1.4 VULKANIZACE.....	15
1.5 VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ.....	17
1.5.1 Vstřikovací cyklus .....	18
1.5.2 Specifika vstřikování kaučukových směsí.....	19
1.5.3 Výhody a nevýhody vstřikování elastomerů .....	20
<b>2 VSTŘIKOVACÍ STROJ</b> .....	<b>21</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	22
2.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace .....	22
2.1.2 Vstřikovací jednotka s předplastikací .....	24
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	25
2.3 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ STROJE .....	25
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>26</b>
3.1 KONSTRUKCE FOREM.....	26
3.1.1 Postup při konstrukci formy .....	27
3.1.2 Zaformování výstřiku .....	28
3.1.3 Návrh dutiny formy .....	28
3.2 VTKOVÝ SYSTÉM.....	29
3.2.1 Vstřikovací tryska a vtoková vložka .....	30
3.2.2 Vtokové a rozváděcí kanály .....	31
3.2.3 Vtokové ústí.....	34
3.2.4 Plnění tvarové dutiny formy kaučukovou směsí .....	37
3.3 PŘETOKY V DÉLÍCI ROVINĚ.....	38
3.4 STŘEDĚNÍ DÍLŮ FOREM .....	39
3.5 KONSTRUKČNÍ ZPŮSOBY VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKU Z FOREM.....	40
3.5.1 Mechanické vyhazování.....	40
3.5.2 Pneumatické vyhazování.....	40
3.5.3 Ruční vyhazování.....	40
3.6 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM .....	41
3.7 VYTÁPĚNÍ FOREM.....	41
3.8 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY FOREM .....	42
<b>4 ZÁSADY PŘI NAVRHOVÁNÍ ELASTOMERNÍCH VÝROBKŮ</b> .....	<b>45</b>



4.1	DĚLÍCÍ PLOCHA .....	45
4.2	TLOUŠŤKA STĚN.....	46
4.3	PŘECHODY .....	47
4.4	ZAOBLENÍ HRAN .....	48
4.5	ÚKOSY, PODKOSY, ZÁPICHY .....	49
4.6	OTVORY.....	50
4.7	OKRAJE, OBRUBY .....	51
<b>5</b>	<b>PROBLÉMY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ .....</b>	<b>52</b>
5.1	SMRŠTĚNÍ A ROZMĚROVÁ STÁLOST VÝSTŘIKU .....	52
5.2	SOUDRŽNOST A PŘILNAVOST .....	52
5.3	PROPADLINY .....	52
5.4	PŘEDČASNÁ VULKANIZACE.....	53
5.5	DLOUHÉ VULKANIZAČNÍ CYKLY.....	53
5.6	NEROVNÝ POVRCH (POMERANČOVÁ KŮRA).....	54
5.7	PÓROVITOST .....	54
5.8	PUCHÝŘE UVNITŘ VÝSTŘIKU.....	54
5.9	VZDUCHOVÉ BUBLINY.....	54
5.10	OXIDACE.....	54
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÉ APLIKACE.....</b>	<b>57</b>
7.1	CATIA V5R18.....	57
7.2	CADMOULD RUBBER 4.5.....	57
7.3	SOLIDWORKS 2010 (SIMULATIONXPRESS).....	57
<b>8</b>	<b>SPECIFIKACE VÝROBKŮ .....</b>	<b>58</b>
8.1	MATERIÁL VÝROBKŮ.....	61
<b>9</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>62</b>
<b>10</b>	<b>KONSTRUKCE FORMY.....</b>	<b>64</b>

10.1	NÁSOBNOST FORMY .....	64
10.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ.....	64
10.3	V TOKOVÝ SYSTÉM.....	65
10.4	TVAROVÉ DESKY.....	67
10.5	VYHOZENÍ VÝSTŘIKŮ.....	69
10.6	UNIVERZÁLNÍ RÁM.....	69
10.7	VYHRÍVÁNÍ FORMY.....	70
10.8	SESTAVA FORMY.....	70
<b>11</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>	<b>73</b>
11.1	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	73
11.2	VÝSLEDKY ANALÝZ.....	74
11.2.1	Plnění dutiny.....	74
11.2.2	Průběh teplotního pole .....	76
11.2.3	Průběh vulkanizace.....	80
11.2.4	Studené spoje.....	86
11.2.5	Vzduchové kapsy .....	88
<b>12</b>	<b>ANALÝZA MECHANICKÉHO CHOVÁNÍ TVAROVÝCH DESEK.....</b>	<b>89</b>
12.1	VÝSLEDKY MECHANICKÉ ANALÝZY TVAROVÝ DESEK.....	90
12.1.1	Velikost maximálního napětí .....	90
12.1.2	Maximální průhyb vlivem deformace .....	95
12.1.3	Deformace.....	99
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>100</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>102</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>103</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>105</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>107</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>110</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>111</b>

## ÚVOD

Technologie vstřikování se v posledních letech ukazuje jako velmi produktivní výrobní proces. Je velkou snahou tuto technologii dále zdokonalovat a aplikovat na výrobky nejen z plastů, ale i z elastomerních materiálů.

Jelikož mají elastomerní materiály výrazně odlišné vlastnosti než kovy a jiné materiály, vyžadují také použití jiných postupů při zkoušení mechanických vlastností. Pro zkoušky tohoto druhu jsou normami předepsány tvary a rozměry zkušebních tělísek. Normy také předepisují přípravu tělísek, které se ve většině případů vysekávají tvarovými noži z předem vylisované desky. Předmětem této práce je návrh vstřikovací formy pro vstřikování těchto zkušebních tělísek, tedy nahradit lisování a vysekávání vstřikováním.

Elastomerní (kaučukovou) směs tvoří různé přísady o rozdílném množství, každá jednotlivá směs je tedy originálem s různými tokovými vlastnostmi. Proto je vhodné při konstrukčním návrhu formy znát chování elastomerní směsi uvnitř formy během plnění a vulkanizace. K této analýze a následné optimalizaci vstřikovacího procesu byl použit program Cadmould Rubber.

Navržená forma musí splňovat mnoho kritérií, mezi které také patří dostatečná tuhost jednotlivých dílů. Zejména tvarové dutiny, na již stěny působí napěťové a deformační účinky vlivem vstřikovacího tlaku. Ke kontrole těchto jevů byl použit program SolidWorks.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

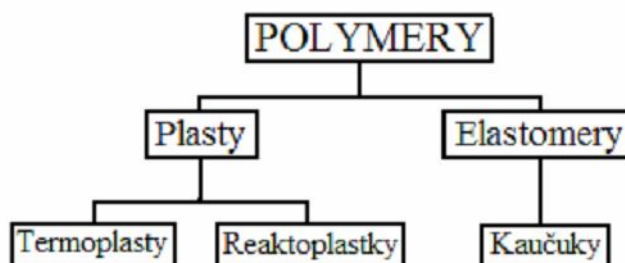
# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů z polymerů. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a vstřikovací forma. Vstřikování je takový způsob tváření polymerních materiálů, při kterém se zplastikovaný materiál plní (vstřikuje) vysokou rychlostí a tlakem do uzavřené dutiny temperované formy. Materiál se plastikuje v plastikační jednotce, která je součástí vstřikovacího stroje. Plastikací se rozumí převedení materiálu z tuhé fáze do fáze plastické, zpravidla účinkem tepla. [1]

Vstřikováním lze zpracovávat jak termoplasty, tak i reaktoplasty a kaučukové směsi. Zatím co u termoplastů je interval pro tváření teoreticky neomezený u reaktoplastů a kaučuků je tento interval omezen v důsledku probíhajícího síťování. Čím je teplota tváření vyšší, tím je tvářecí interval kratší. [1]

## 1.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery jsou látky tvořené makromolekulami s převážným obsahem prvků uhlíku, kyslíku, vodíku, dusíku, chloru a jiných chemických prvků. Jejich použití je ve většině případů z hlediska fyziky ve stavu pevném a tuhém, pastovitém, ve zvláštních případech i ve stavu tekutém (např. součásti mazacích tekutin apod.) Technologie zpracování polymerů obvykle prochází kapalným, nebo pastovitým stavem, kdy budoucímu výrobku určuje tvar zejména technologické zařízení a to většinou za zpracovatelské teploty a tlaku, někdy i v průběhu časového intervalu. Polymery jsou děleny do dvou skupin. První je skupina plastů a druhá je skupina elastomerů. Plasty jsou dále děleny na termoplasty a reaktoplasty. [3]



Obr. 1. Základní rozdělení polymeru [11]

## 1.2 Elastomery

Elastomery patří do skupiny polymerů a jsou významným konstrukčním materiálem, se kterým je možno se setkat snad v každém výrobním oboru, stroji, přístroji či zařízení. Jejich významnost potvrzuje i ta skutečnost, že se mohou stát v součástkové základně stroje rozhodující z hlediska jeho životnosti a spolehlivosti. Stejně jako jiné konstrukční materiály, je možné vhodnou skladbou kaučukové směsi a použitím gumárenských surovin získat materiály o potřebných, nebo speciálních vlastnostech. [3]

Lidstvo poznalo a využívalo elastomerní materiály již před více jak dvanácti tisíci lety a to elastomery nabízené přírodou. První využití kaučuků se datuje od 15. století. Pro průmyslové využití byl rozhodující objev vulkanizace. Spotřeba elastomerů a kaučuků pak rostla a roste s rozvíjející se lidskou civilizací a zejména s nastupující technikou. K elastomerům přírodním se od 19. století přidaly elastomery chemicky připravené – syntetické. Tím se otevřela pro chemiky a konstruktéry široká oblast přípravy orientovaných vlastností elastomerů a nové oblasti jejich použití. Svědčí o tom ohromný nárůst spotřeby základních kaučuků a gumárenských surovin. [3]

Ruku v ruce s rozvojem elastomerů rostla a rozvíjela se i teoretická oblast. Ta byla zaměřena na poznání chemické části elastomerů a gumárenských surovin, rozvoj technologie zpracování elastomerů a do značné hloubky i oblast metodiky návrhu konstrukce a matematických přístupů k řešení elastomerních prvků. Zejména v poslední době nastupující teorie hyperelasticity a využití metod konečných prvků při použití výpočetní techniky. [3]

Elastomery lze obecně považovat za vysoce kondenzované plyny, protože většina dílčích monomerů se vyskytuje v plynném skupenství. Polymerizací vznikají řetězce dlouhých molekul. Jejich molekulová struktura může být amorfni, semikrystalická anebo krystalická. Elastomery jsou typické amorfni polymery s náhodným uspořádáním molekul.

Krystalické polymery jsou tvrdé a křehké. Semikrystalické polymery vykazují pružné deformace, tok (creep) i plastické deformace. [3]

Elastomer (pryž) je výjimečný svou velkou pružnou deformací. V inženýrské praxi je smykový modul  $G$  elastomerů definován jako součin počtu řetězců elastomeru v jednotkovém objemu  $n$ , Boltzmannovy konstanty  $k$  a teploty  $T$  ve stupních Kelvina. [3]

Mnoho elastomerních materiálů má při stejné teplotě (nad bodem skelného přechodu) podobné hodnoty smykového modulu  $G$  nebo tvrdosti. Teplota a některé další parametry mají výrazný vliv na jejich vlastnosti. Elastomerní materiály patří do hlavní skupiny polymerů, které dále rozdělujeme do podskupiny přírodní a syntetické materiály. [3]

### 1.3 Kaučukové směsi

Kaučukové směsi jsou základní gumárenské materiály připraveny z kaučuku a dalších gumárenských surovin technologií míchání.

Rozmanitost požadavků kladených na výrobky vede k používání značného počtu kaučukových směsí (tzv. recepty). Tyto recepty je nutno ve výrobě často přepracovávat. Dané změny mohou být z důvodu nedostatku některé suroviny, změna požadavků na výrobek, změna výrobního postupu nebo i objevení nové suroviny. [4]

Dříve než se přistoupí k sestavování směsí pro určitý výrobek je nutno vědět, k čemu bude používán a jakým způsobem může být vyroben. Dále je nutno uvážit jaké suroviny jsou k dispozici a jaká bude cena výrobku, tedy důvod ekonomický. [4]

Kaučuková směs obsahuje pravidelně tyto složky:

- elastomer,
- vulkanizační činidlo,
- urychlovač vulkanizace,
- aktivátor vulkanizace,
- plniva,
- změkčovadla,
- ochranné látky proti stárnutí,
- regenerační přísady,
- další přísady (retardéry, nadouvadla, plniva). [4]

### 1.4 Vulkanizace

Při vulkanizaci se váže síra na kaučuk a tvoří se síťová struktura. Zesíťováním – vulkanizací – se stává z kaučukové směsi technicky použitelný materiál – pryž.

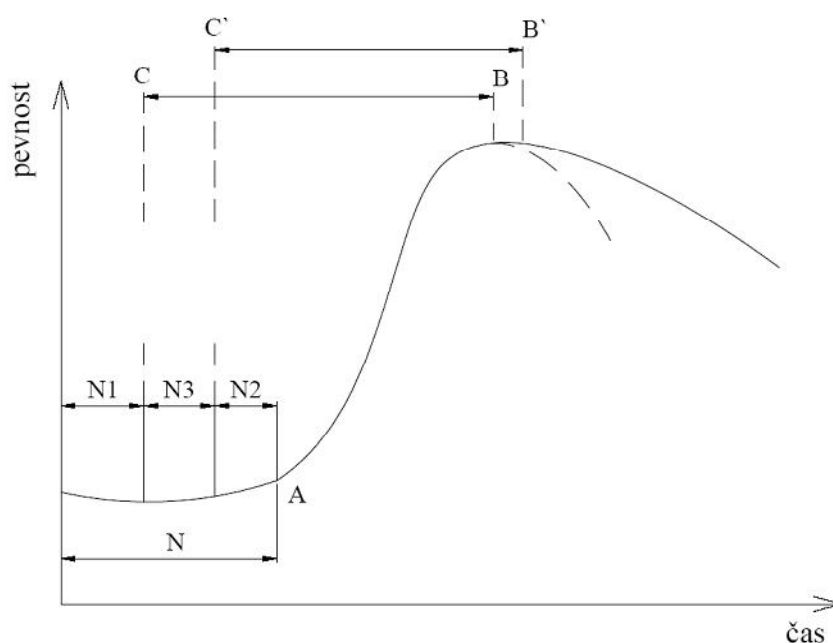
Vulkanizační systém, který ovlivňuje průběh a stav vulkanizace, se zpravidla skládá z vulkanizačního činidla, urychlovače a aktivátoru. Vulkanizační činidlo vulkanizaci umožňuje, urychlovač a aktivátor upravují její průběh a stupeň a do značné míry i mechanické vlastnosti vulkanizátu.

Nejčastěji používaným vulkanizačním činidlem je síra. Mohou to však být i jiné látky, např. peroxidy, oxidy kovů, pryskyřice aj. Tyto ostatní činidla se používají především pro speciální kaučuky. Zesíťování lze dosáhnout i fyzikálními způsoby, např. radiací. Všechny urychlovače lze zařadit do několika málo skupin, které vymezují jejich obecnou volbu a použití. Jejich vhodnou volbou a dávkováním lze splnit prakticky všechny požadavky. Při jejich volbě se musí uvažovat jak vlastnosti pryže, tak také na výrobní technologii. Po přidání všech složek vulkanizačního systému do směsi při dostatečné teplotě nastává jeho působení. Nejdříve se vytváří aktivní meziproduct, později vznikají příčné vazby. Jakmile tvorba příčných vazeb dosáhne určitého stupně, mění se zpracovatelské vlastnosti, indikované změnou plasticity. Doba potřebná k dosažení této změny se nazývá bezpečnost směsi. Nejčastěji se určuje vulkanometrem Mooney. Bezpečnost směsi z přírodního kaučuku se určuje zpravidla při teplotě 120 °C, pro směsi z butadienstyrenového kaučuku je vhodnější teplota 140 °C. V praxi se považuje hodnota 20 min. při 120 °C za spolehlivě bezpečnou. Hodnota 10 min. je limitní při dobré kontrole teploty, hodnota 8 min. již ale vede k nezpracovatelnosti směsi. Ekonomická hodnota se pohybuje mezi 15 a 20 min.

Změna indikovaná stoupaním viskozity se prakticky shoduje se začátkem vulkanizace. Pokračováním v zahřívání se vyvíjí příčné vazby a nastává vulkanizace. Její průběh se sleduje vulkanizační křivkou. Následující graf (Obr. 2) se skládá z úseku bezpečnosti směsi a z úseku vulkanizační křivky. Bezpečnost směsi je uvedena jako celková doba  $N$ , po které dojde ke změně zpracovatelnosti směsi. Doba bezpečnosti směsi musí být nejméně tak dlouhá, aby po veškerém nutném přípravném zpracování zůstal ještě podíl  $N_2$ , nutný pro tok a vyrovnání tlaku ve formě, provádí-li se vulkanizace v lise. Kromě nutného tepelného zatížení  $N_1$  a podílu  $N_2$  je potřeba ponechat ještě rezervu  $N_3$ , protože v praxi není možno udržovat tepelnou historii přesně na stejné hodnotě. Navíc je nutno brát v potaz rozdíl ve složení a homogenitě směsi mezi jednotlivými dávkami. Není ovšem účelné, aby hodnota  $N_3$  byla příliš vysoká, protože se tím prodlužuje celková doba



vulkanizace. Časový úsek vulkanizační křivky od začátku vulkanizace A k dosažení optima B je čistou dobou vulkanizace. Jinou hodnotou je technická doba vulkanizace (C – B), kde čistá doba je prodloužena podílem N2 a N3. Technická doba vulkanizace se určuje pro každý výrobek zvlášť a pak jako technický předpis je konstantou. Spotřebuje-li se převážná část nebo celá doba rezervy N3, může k ukončení vulkanizace dojít až za optimem vulkanizace, v úseku prodlevy. V případě celé spotřeby pak technická doba vulkanizace odpovídá úseku C' – B'. Průběh vulkanizace lze obecně sledovat závislostí jakékoliv vlastnosti na čase, nejčastěji pevnosti, viz. obrázek (obr. 2). [3]



Obr. 2. Vulkanizační křivka

K plnému využití vulkanizačního činidla a urychlovače je nutná přítomnost aktivátorů. Jako aktivátoru se používá téměř ve všech směsích oxidu zinečnatého. U přírodního kaučuku je z důvodu kolísání množství mastných kyselin třeba přivádět některou organickou kyselinu, nejčastěji stearovou, aby byl převáděn zinek na formu rozpustnou v kaučuku. Obsah organických kyselin je třeba upravovat i u kaučuků syntetických. [3]

## 1.5 Vstřikování elastomerů

Vstřikování jako nejproduktivnější technologie výroby tvarových pryžových výrobků se neustále zdokonaluje, cílem je dosažení optimální a reprodukovatelné kvality

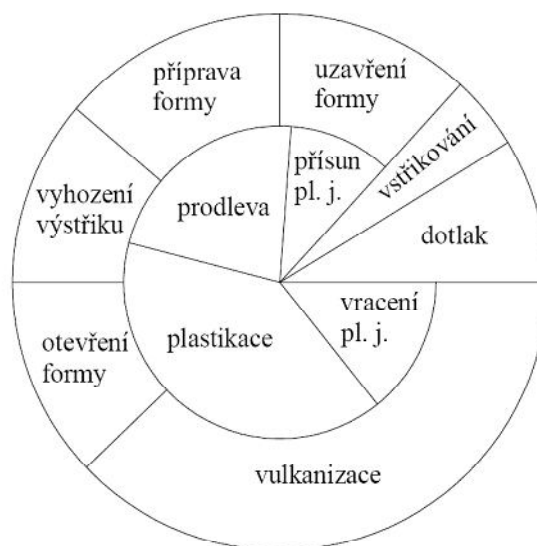
výstřiků (výstřik – výrobek zhotovený vstřikováním) při ekonomicky nejvýhodnějších cyklech. Vstřikováním lze dnes zpracovávat většinu běžných, kaučukových směsí a umožňuje výrobu výstřiků masivních, tenkostěnných, miniaturních i rozměrných. Vstřikováním kaučukových směsí do uzavřených forem se dává možnost výrobu vysoce mechanizovat, případně plně automatizovat. [5]

Úroveň technologie je dána především úrovní vstřikovacího stroje, formy a hloubkou znalostí technologického procesu. [5]

### 1.5.1 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 následující obrázek. [3]



Obr. 3. Vstřikovací cyklus elastomerů

K uzavřené formě se přisune plastikační jednotka, ze které se vstříkne zplastikovaný materiál do dutiny formy. Doba, po kterou se plní dutina formy, se nazývá doba plnění. Po zaplnění dutiny formy se působí na materiál dále tlakem, který se nazývá dotlak. Dotlak bývá stejný nebo nižší než vstřikovací tlak. Smyslem dotlaku je částečně vyrovnat vliv smrštění a zabránit unikání materiálu z dutiny formy. Doba doplňování je omezena zatuhnutím materiálu ve vtokovém systému. Potom již její další prodloužování nemá vliv na

tlakové poměry v dutině formy. Dotlak ztrácí význam u tenkostěnných výstřiku. Po zatuhnutí vtokového ústí následuje vulkanizace, během které se ze syrové kaučukové směsi, za pomoci vulkanizačního činidla, zvýšené teploty a tlaku, stává elastický vulkanizát. Tato ztvulkanizovaná pryž je vyhozena a ochlazená pomocí vzduchu. [1]

Časová prodleva před zahájením nového cyklu slouží pro uložení vložek do formy, případně k úpravě dutiny formy, odstranění zbytku materiálu a přetoku. Při vstřikování elastomeru se často používá separačního prvku, který se nanese na tvarové části, protože pryž má tendenci se přilepit na stěny formy. U plně automatizovaných procesů tato prodleva prakticky odpadá. [1]

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

*Tab. 1 .Orientační hodnoty pro vstřikování*

Vstřikovací teplota	80 ÷ 100 °C
Vstřikovací tlak	80 ÷ 100 MPa
Teplota formy	160 ÷ 200 °C

### 1.5.2 Specifika vstřikování kaučukových směsí

Kaučukové směsi pro vstřikování se liší především průběhem vulkanizačních křivek. Požaduje se přiměřená indukční perioda s konstantní plasticitou a vysoká rychlost vulkanizace. Dosahuje se toho vhodnou kombinací urychlovačů a retardérů vulkanizace ve zvoleném vulkanizačním systému. Při vstřikování kaučuku se používají šnekové plastikační jednotky. Materiál se plní buď jako pásek nebo jako granulát. Vzhledem k vlastnostem gumárenských směsí probíhá plastikace ve válci za výrazného přispění disipované energie. Plastikovaný materiál se často dopravuje do vstřikovacího válce, ze kterého se pak vstřikuje do dutiny formy. Při plnění formy materiál teče i v povrchové vrstvě, protože teplota formy je vyšší, než teplota vstřikovaného materiálu. Vyžaduje to volbu dostatečných průřezů vtokových kanálů i dutiny formy. Forma musí být dokonale odvdoušněna. Vyhazovací systém se musí volit s ohledem na vysokou pružnost a malou pevnost hotových výstřiků. Vstřikování gumárenských směsí umožňuje výrobu tlustostěnných výrobků při zkrácené době a zvýšené kvalitě vulkanizátu. Vyžaduje však náročnější výrobní zařízení a je méně vhodné pro kusovou výrobu na rozdíl od předchozích technologií. [3]

### 1.5.3 Výhody a nevýhody vstřikování elastomerů

Výhody:

- poměrně velká produktivita (materiál se ve šneku připravuje už ve fázi kdy výrobek vulkanizuje ve formě),
- jednoduché dávkování materiálu,
- snadná automatizace procesu,
- menší materiálové ztráty než při přetlačování.

Nevýhody:

- složitější, draží zařízení – vstřikovací stroj,
- složitější, náročnější výroba formy,
- možné vnitřní pnutí ve výrobku. [3]

## 2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

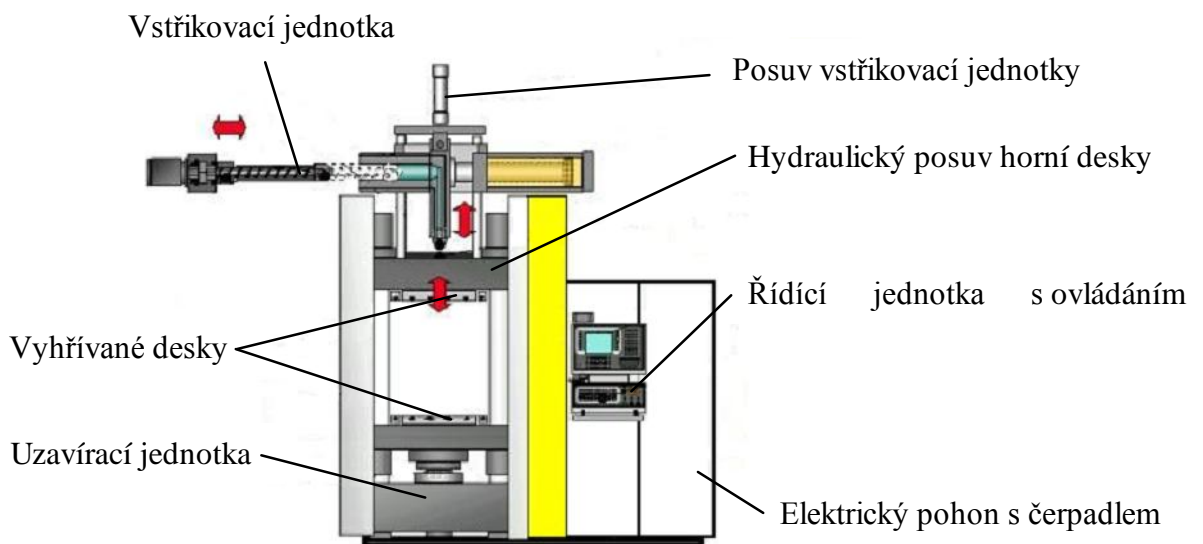
Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou

výrobu. [6] [7]

Existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se od sebe liší konstrukcí, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, snadnou obsluhou a pořizovací cenou.

Konstrukce vstřikovacího stroje je charakterizována dle:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje. [2] [7]



Obr. 4. Schéma vertikálního vstřikovacího stroje

## 2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly: přeměňuje granulát či pásek elatomeru na homogenní taveninu o dané viskozitě a vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90% kapacity jednotky, jelikož je nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je 80%. [1]

Při vstřikování elastomerů se využívají tři hlavní druhy vstřikovacích jednotek: pístová vstřikovací jednotka, šneková vstřikovací jednotka a pístová vstřikovací jednotka se šnekovou předplastikací. [1]

### 2.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace

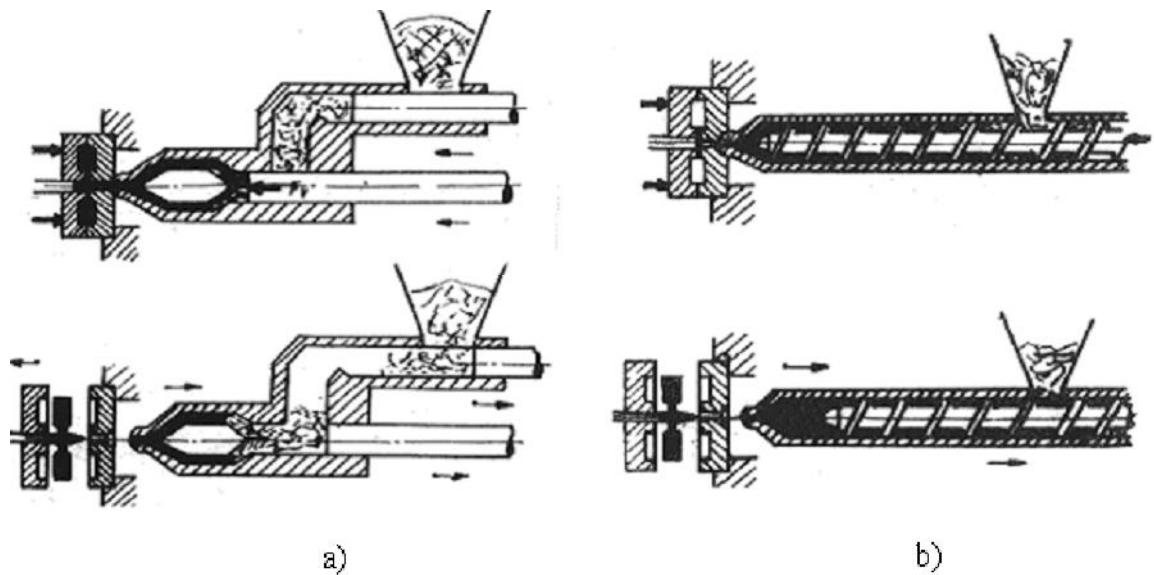
Ve vstřikovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavicí komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). [1]

#### *Pístová plastikace*

Při pístové plastikaci se dávkuje zpracováváný materiál dávkovacím zařízením do tavicí komory a to buď objemově nebo hmotově. V tavicí komoře se materiál roztaví a tavenina se vstříkne pístem do formy. Výhodou vstřikovacích jednotek s pístovou plastikací je jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstřikovacích tlaků (přes 100 MPa). Nevýhodou je horší homogenizace taveniny. [1]

#### *Šneková plastikace*

U vstřikovací jednotky se šnekovou plastikací vstupuje zpracováváný materiál z násypky do pracovního válce. V pracovním válci se polymer plastikuje, homogenizuje a dopravuje pomocí šneku. Šnek se otáčí a posouvá směrem dozadu, čímž vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství se materiál axiálním pohybem šneku vstříkne přes vstřikovací trysku do formy. Pracovní válec je opatřen topnými bloky. Přímočarý i rotační pohon šneku bývá většinou realizován přímočarým a rotačním hydromotorem, popř. elektromotorem s mechanickými převody. Aby byl umožněn axiální pohyb, jsou hnací kolo i hřídel šneku opatřeny drážkováním. [1]



Obr. 5. Vstřikovací jednotky bez předplastikace [3]

a) pístová, b) šneková

Konstrukcí šnekových vstřikovacích strojů byly s úspěchem vyřešeny všechny hlavní nedostatky pístových strojů.

Mezi největší přednosti šnekové plastikační jednotky patří:

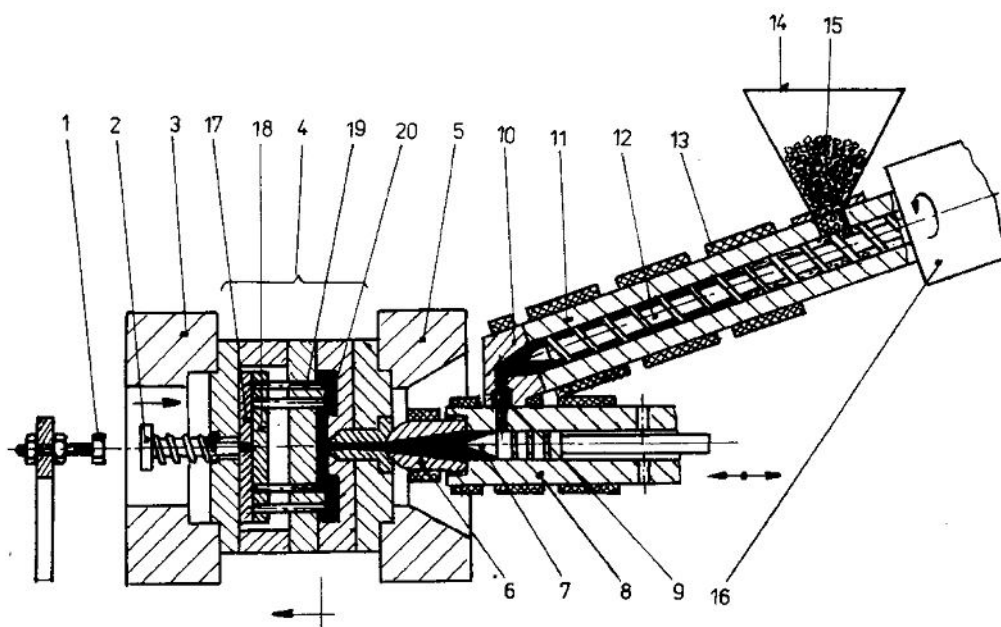
- spolehlivá plastikace a dobrá homogenizace roztaveného plastu,
- zabránění přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- vysoký plastikační výkon i velký zdvihový objem, takže velikost výstřiku lze teoreticky libovolně zvyšovat,
- odstranění potíží při čištění komory při výměně materiálu,
- zaručené přesné dávkování hmoty,
- nízké ztráty tlaku během pohybu hmoty,
- vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu, např. řízením dotlaku.

Rozdíl obou typů vstřikovacích jednotek je dán konstrukcí tavicí komory. Jejím úkolem je převést do plastického stavu v co nejkratší době co největší množství hmoty a zajistit maximální teplotní homogenitu taveniny.

### 2.1.2 Vstřikovací jednotka s předplastikací

Zajištění dostatečného plastikačního výkonu a dokonalé homogenizace taveniny vedly k rozdělení vstřikovací jednotky na část plastikační a část vstřikovací. Zpracovávaný materiál se plastikuje v oddělené plastikační jednotce a takto připravená tavenina se dopravuje do vstřikovacího válce, odkud se pak vstříkne pístem do formy. Toto uspořádání umožňuje výrazné zkrácení vstřikovacího cyklu. [1]

Plastikace probíhá v pracovním válci. Vstřikování je zajištěno vstřikovacím pístem. Toto uspořádání umožňuje spojit výhody šnekové plastikace s výhodami vstřikování pístem. Dosahuje se tím rychlé a dokonalé plastikace materiálu a vysokých vstřikovacích tlaku a rychlostí. Při šnekové plastikaci se lépe ovládají plastikační podmínky a dosahuje se vyšších výkonů. Nevýhodou tohoto uspořádání je složitost a vyšší nároky na seřizování a údržbu. Uplatnění nacházejí zejména při vstřikování objemových výrobku a při vstřikování elastomeru. [1]



Obr. 6. Pístová vstřikovací jednotka se šnekovou plastikací [9]

1 – doraz, 2 – tyč vyhazovače, 3 – zadní upínací deska, 4 – forma, 5 – přední upínací deska, 6 – vstřikovací tryska, 7 – vstřikovací píst, 8 – vstřikovací válec, 9 – zpětný ventil 10 – hlava plastikační komory, 11 – pracovní válec, 12 – plastikační šnek, 13 – topné těleso, 14 – násypka, 15 – materiál, 16 – pohon šneku, 17 – deska vyhazovače, 18 – kotevní deska, 19 – vyhazovač, 20 – výstřik



## 2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu přísouvací a sílu uzavírací. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy.[6]

Uzávřecí jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu.

Vstřikovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického způsobu (závorování) a v poslední době se používají i elektrické systémy. [6]

## 2.3 Ovládání a řízení stroje

Stupeň seřízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se to na přesnosti a kvalitě výrobku. Řízení stroje se proto musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. [2]

Nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno (zpětná vazba). Alternativní volba a úprava programu se pak může snadno uskutečnit za pomoci zobrazovacího displeje. Na přesnosti a jakosti výstřiku má řízení stroje rozhodující vliv. [2]

Tím, že určuje a dodržuje přesnost:

- nastavení výše i doby vstřikovaného tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení. Tyto parametry určují především přesnost a toleranci výstřiku,
- nastavením doby a výšky teploty taveniny, její homogenizaci jsou určeny fyzikální a mechanické vlastnosti výstřiku. [2]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj, jehož použitím na vstřikovacím stroji vznikne výrobek z polymerní hmoty. Dnes používané vstřikovací formy jsou technicky poměrně značně komplikované nástroje, na které se kladou nemalé nároky z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby. [11]

Formy se skládají zpravidla ze dvou hlavních částí, z nichž jedna je upnuta na pevné straně vstřikovacího stroje a druhá na jeho pohyblivé straně. Část upnutá na pevné straně se obvykle nazývá tvárnice a její hlavní funkcí je zajištění přívodu taveniny do dutiny formy, a to pomocí vtokového systému. Část upnutá na pohyblivé straně vstřikovacího stroje se většinou nazývá tvárník a její hlavní funkcí je zajištění správného vysunutí výstřiku z dutiny formy pomocí vyhazovacího systému formy. Obě části vstřikovacího stroje pak současně zajišťují správnou teplotu výstřiků před jeho vyjmutím z formy, a to pomocí systému temperačních rozvodů v každé části formy. [12]

Vstřikovací formy pro elastomery vycházejí ze zásad konstrukce platných pro vstřikovací formy při respektování typických vlastností zpracovávaných materiálů. Formy jsou udržovány na vulkanizační teplotě, která je vždy vyšší než teplota taveniny. To má vliv na proudění ve vtokových kanálech a na zaplňování dutiny formy). Typy používaných vstřikovacích forem jsou analogické jako u vstřikování termoplastů. Používají se dvoudílné i třídílné formy, jednonásobné i vícenásobné apod. [10]

#### 3.1 Konstrukce forem

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve formě v krátkém čase, za působení dostatečného tlaku a teploty a dalších nutně důležitých parametrů. Z toho vyplývají základní požadavky na stroj a formu, které spolu úzce souvisí. [2]

U formy se vyžaduje:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch tvarové dutiny formy a ostatních funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celků, pro zachycení potřebných tlaků,

- správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování atd.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou. [2]

Vyšší nároky na přesnost a jakost forem se projeví ve zvýšené pracnosti při jejich konstrukci i výrobě. Větší robustnost forem, kterou vyžadují použité tlaky při vstřikování, často svádí k méně citlivému zacházení. To bývá někdy příčinou jejich nedokonalé funkce, snížené přesnosti i životnosti. Proto je nutné respektovat zásady a směrnice při jejich konstrukci, výrobě i obsluze. [2]

### 3.1.1 Postup při konstrukci formy

Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro samotnou konstrukci formy, ta má pak následující postup:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměru a tvářecích podmínek. Nesmí se opomenout zaoblení ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny formy,
- určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a její způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikosti potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoků a vyhazování z dutiny formy,
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálu a ústí vtoků,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutin formy,
- navržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet i rozmístění tvarových dutin a na vyhazovací systém i temperaci formy,
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků,

- kontrola funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj. [2]

Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků. Je vhodné s objednavatelem návrh formy konzultovat. [2]

### 3.1.2 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí roviny patří k důležitým a rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňují dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběné součásti. [2]

Dělicí plocha (rovina) bývá zpravidla rovnoběžná s upínací plochou formy. Může však být i šikmá nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší boční dělicí roviny. Taková koncepce způsobuje obtížnější a nákladnější výrobu, proto je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí rovině může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy.

Proto je třeba, aby dělicí rovina:

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy,
- měla jednoduchý geometrický tvar, tudíž byla snadno vyrobitelná a slícovatelná,
- probíhala v hranách výstřiku,
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a sousost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad,
- u více dělicích rovin volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet,
- umožnila případné od vzdušnění dutiny formy. [2]

### 3.1.3 Návrh dutiny formy

Výroba technické pryže představuje nepřeberné množství rozličných tvarů výstřiků. Například: “O“ kroužky, průchodky, zátky, těsnění, nárazníky, podložky, atd.

Nejpočetnější skupinu tvoří výstřiky rotačních tvarů a to proto, že již při návrhu pryžového dílce je nutno počítat hlavně s minimální pracností na jeho výrobu. Zhotovování tvarových dutin formy je převážně prováděno třískovým obráběním na běžných obráběcích strojích. Složitější tvary vyžadují výrobu nekonvenčními metodami obrábění. Dutiny formy jsou přímo zhotovovány buď přímo do desek formy nebo do tvarových vložek, které jsou pak vsazovány do desek. [5]

Návrh dutiny formy začíná od dělicí roviny. Poloha dělicí roviny musí vyhovovat požadavkům uvedeným u zaformování výrobku. S ohledem na vlastnosti pryže lze volit dělicí plochu i ve dvou rovinách. 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. [10]

Rozměry výrobků, jsou většinou určeny jejich funkcí a konstrukcí. Při zaformování se rozměry dutiny budou lišit od hotového výrobku, protože na rozměr dutiny formy mají vliv:

- smrštění zpracovávaného materiálu,
- tolerance a mezní úchytky jednotlivých rozměrů tvářeného výrobku,
- opotřebení činných částí formy,
- přesnost výroby formy a jejích činných částí.

Nejvýznamnějším faktorem je zpravidla smrštění. Je to trvalá změna rozměru výrobku po jeho vyjmutí z dutiny formy. Závisí na druhu zpracovávaného materiálu, ale i na technologických parametrech a čase. U gumárenských směsí je smrštění závislé na složení směsi, především na druhu kaučuku, obsahu plniv a změkčovadel, ale i na vulkanizačních podmínkách. Smrštění gumárenských směsí se nejčastěji pohybuje mezi 0,8 – 2,5%. Plniva snižují smrštění a naopak změkčovadla smrštění zvětšují. U plněných gumárenských směsí je smrštění závislé i na směru toku ve formě, rozdílly se pak pohybují až v desetinách %. [10]

### 3.2 Vtokový systém

Jedním z velmi důležitých problémů při konstrukci vstřikovacích forem je řešení vtokové soustavy (hlavní vtokový kanál, rozváděcí vtokové kanály a ústí vtoku do tvarové

dutiny formy). Složité poměry při vyplňování dutiny formy, zejména otázka změny viskozity kaučukové směsi, zúžení profilu průtoku, ohřívání a obtížně stavitelné odpory při vyplňování dutin, nedají možnost stanovit vtokové poměry přesným matematickým vztahem. Používá se proto doposud hodnot zjištěných z praxe.

Při řešení vtokové soustavy je třeba dodržovat především tyto zásady:

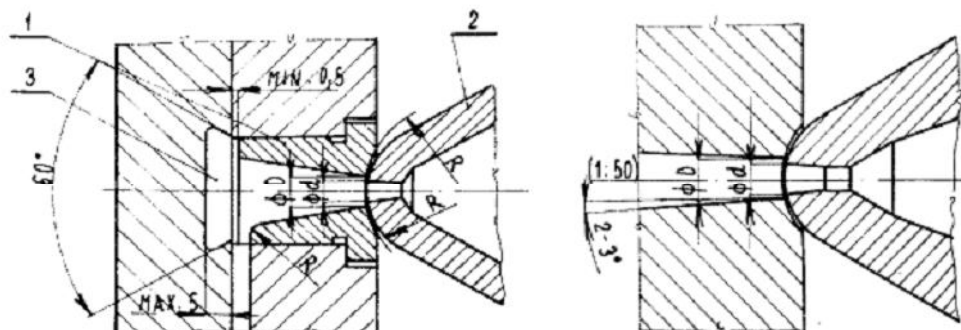
- dosáhnout co nejrovnoměrnějšího plnění jednotlivých tvarových dutin formy,
- správně volit vtokové ústí tak, aby
  - vyjmutí výstřiku včetně vtokové soustavy bylo co nejsnazší,
  - nedocházelo k uzavírání vzduchu v dutině formy,
  - odstranění vtoku z výstřiku bylo co nejsnazší,
- zvážit závislosti ovlivňující konstrukci vtokové soustavy, jako
  - použité kaučukové směsi (reologické vlastnosti),
  - vstřikovací tlak,
  - profil vtokových a rozváděcích kanálů.

### 3.2.1 Vstřikovací tryska a vtoková vložka

Každý vstřikovací stroj má na konci vstřikovacího válce (komory) vstřikovací trysku, která je buď pevně připojena nebo při každém pracovním cyklu dosedá na vtokovou vložku formy. Tvar a vnější rozměry vstřikovací trysky musí být takové, aby byly kompatibilní s každou vstřikovací formou (vtokovou vložkou). Se zvyšujícím se vnitřním průměrem trysky vstřikovací tlak, čas a teplota klesají. Průměry vstřikovací trysky jsou voleny tak, aby teplota narostla o 25 °C během 5 až 10 s vstřikovacího času. Tento poměr bývá upraven, jestliže je to nutné k zabránění předčasné vulkanizace během plnění dutiny formy. Trysky mohou být v rozsahu průměrů od 3 mm (pro vstřikovaný objem až 500 cm<sup>3</sup>), do 10 mm (pro vstřikovaný objem až 4 000 cm<sup>3</sup>). [13] [14]

Vtoková vložka umožňuje tok kaučukové směsi do vtokové soustavy formy. Dosednutí vstřikovací trysky na vtokovou vložku musí být souosé a musí zaručit těsnost i pro velké vstřikovací tlaky. Průměr vyústění vstřikovací trysky musí být nejméně o 0,5 mm

menší než průměr vtokové vložky formy. Dosedací plocha vtokové vložky je odvislá od tvaru vstříkací trysky a daného typu stroje. [13]



Obr. 7. Konstrukční uspořádání vstříkací trysky a vtokové vložky [13]

1 – vtoková vložka, 2 – vstříkací tryska, 3 – vyhazovač vtoku

### 3.2.2 Vtokové a rozváděcí kanály

Vtokové a rozváděcí kanály přivádějí kaučukovou směs k jednotlivým tvarovým dutinám formy od trysky formy. Vtokové zbytky tvoří tzv. nevratný odpad. Jejich podíl k vlastním výstřikům (zvláště hmotnostně menším) může vyčerpat několik procent vstříkací kapacity vstříkacího stroje. Vtokové a rozváděcí kanály mají být co nejkratší nejen z tohoto důvodu, ale také pro tlakové ztráty kaučukové směsi, která se zvětšuje v poměru k jejich délce. Povrch průřezu kanálků má být co nejmenší, aby se dosáhlo nejmenších odporů při toku kaučukové směsi. Pro nižší vstříkací tlaky je nutno volit kanály větších průřezů, pro vyšší vstříkací tlaky je vhodné volit delší kanály s menším průřezem. [13]

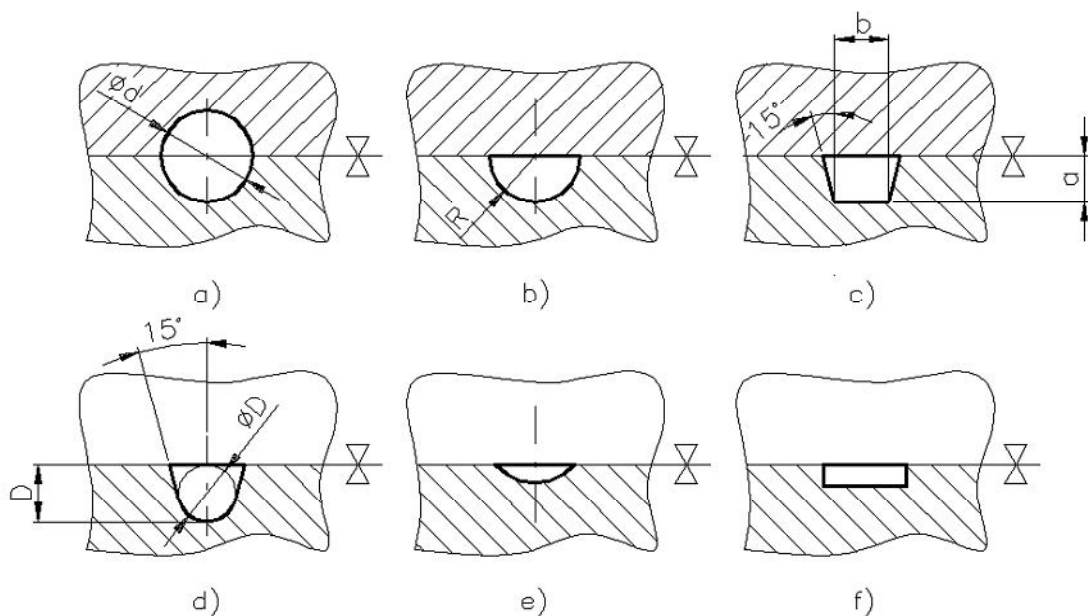
Doba vstříku (naplnění tvarových dutin) je úzce spojena s rozměry kanálů a reologickými vlastnostmi kaučukové směsi, jsou-li kanály malého průřezu, tvoří se vysoké tlakové ztráty s následujícím přehřátím kaučukové směsi a nebezpečím jejího navulkanizování. Při konstrukci vtokové soustavy je nutno zvolit takové průřezy kanálů, aby odpor průchodu kaučukové směsi byl co možná nejmenší s tím, že průřezy kanálů budou dostatečné, aby jimi proteklo potřebné množství kaučukové směsi po dobu nástřiku. [13]

Pohyb kaučukové směsi ve vtokových a rozváděcích kanálech je uvažován jako tok newtonské kapaliny, která je vystavena dvěma typům ztrát:

- ztráty třením, které vznikají vlivem vnějšího tření kapaliny proti stěnám kanálů a z vnitřního tření vláken, které se pohybují rychleji, když jsou vzdáleny od stěny kanálu (laminární tok), tyto ztráty jsou přímo úměrné délce dráhy toku,
- ztráty místními odpory, kterými jsou odpory projevující se v přesně určených bodech. Tyto ztráty mají původ ve viskozitě směsi a jsou způsobovány především danými tvary a rozměry vtokové soustavy. Ztráty jsou způsobovány každou změnou průřezu nebo směru toku, které vyvolává víření směsi s vnitřním třením. [13]

Nejčastěji používané profily kanálů vstřikovací soustavy lze zhodnotit takto:

- kruhový průřez je nejvhodnější z hlediska toku směsi a jejího vyjímání. Z výrobně-ekonomického hlediska je méně výhodný, protože musí být zhotoven do dvou částí formy,
- půlkruhový průřez je z výrobního hlediska ekonomičtější, ale aby splňoval stejné podmínky toku směsi jako kruhový průřez, musí mít příslušně větší průřez a tím i větší spotřebu směsi na vtokové zbytky. Je nevýhodný z hlediska vyjímání,
- lichoběžníkový průřez má stejné výhody i nevýhody jako půlkruhový průřez. [13]





Obr. 8. Průřezy vtokových a rozváděcích kanálů

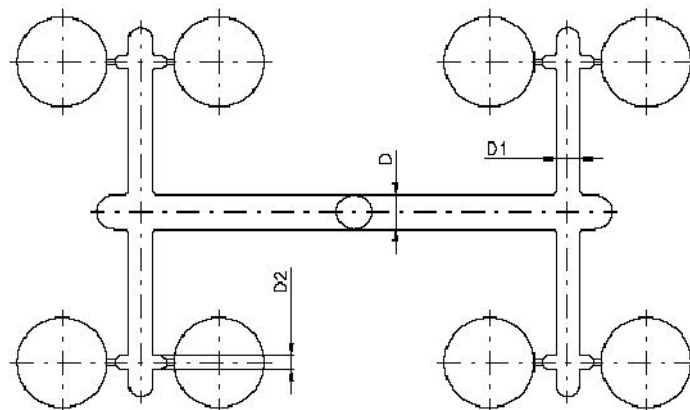
a) kruhový, b) půlkruhový, c) lichoběžníkový, d) kombinovaný  
(půlkruhový + lichoběžníkový), e,f) nevhodný průřez kanálu

Tvar a rozměry vtokového systému spolu s umístěním jejího ústrojí ovlivňují:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku,
- spotřebu kaučukové směsi,
- náročnost opracování a začištění výstřiku,
- energetickou náročnost výroby. [2]

Obecně při řešení vtokového systému musí být zabezpečeno aby:

- dráha vtoku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá a tím se zajistilo rovnoměrné plnění všech dutin,
- průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvarové dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu, a tím se umožnilo působení dotlaku,
- u vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny. [2]



Obr. 9. Odstupňování rozváděcích kanálů

Aby bylo možné uvedené zásady splnit je potřebné:

- zaoblit všechny ostré hrany vtokových kanálů minimálně  $R = 1 \text{ mm}$ ,
- stanovit úkosovitost vtoků pro jejich snadné odformování,
- leštit povrch vtokového systému orientovaného ve směru vyjímání. Drsnost nemá klesnout pod  $0,2 \text{ } \mu\text{m}$ ,
- řešit zachycení čela proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu. Zabrání se tím proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny a tím snížení povrchových vad výstřiku,
- ve vtokovém systému vyloučit místa s velkým nahromaděním taveniny,
- neprovádět větvení vtokového systému pod ostrým úhlem. [2]

### 3.2.3 Vtokové ústí

Je to část vtokové soustavy, která ústí přímo do tvarové dutiny formy. Vtokové ústí má zaručit pokud možno nejmenší ztrátu vstřikovacího tlaku. Zúženým průřezem proudí kaučuková směs rychleji, čímž dochází také v této části vlivem disipace k užitečnému zvýšení teploty směsi, která má vliv na zkrácení vulkanizační doby. Délku vtokového ústí pro abrazivní kaučukové směsi lze rozšířit na 2 až 3 mm. Vadou příliš krátkého ústí nebo vedeného úkosovitě až do tvarové dutiny je brzké rozšíření jeho profilu otěrem proudící směsi, což má za důsledek změny tlakových poměrů (teploty), a tím změny vulkanizačních časů, ale také nebezpečí zpětného toku kaučukové směsi, menší životnost formy. [13]

Pozice vtokového ústí je často důležitější než jeho velikost a typ. Vtokové ústí bývá umístěno:

- do nejtlustšího místa výstřiku. Tavenina má téci vždy z místa většího průřezu do míst s menším průřezem. To proto, aby tavenina tuhla nejdříve na vzdálenějším místě od vtokového ústí,
- do geometrického středu dutiny tak, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně,

- u výstřiků se žebry má tavenina proudit ve směru jejich orientace,
- mimo místa velkého namáhání nebo opticky činných ploch výstřiku,
- u výstřiků s otvory se umísťuje ústí do těchto otvorů, nebo v jejich blízkosti,
- s ohledem na možnost úniku vzduchu z tvarové dutiny,
- aby bylo možno ovlivnit nasměrování při případech vzniku studených spojů mimo vzhledová a mechanicky namáhaná místa,
- s ohledem na zamezení volného toku taveniny a tím turbulentní plnění dutiny,
- aby stopa po odstranění vtoku nesnižovala estetickou hodnotu výstřiku. [2]

#### ***Nejpoužívanější typy vtokových ústí:***

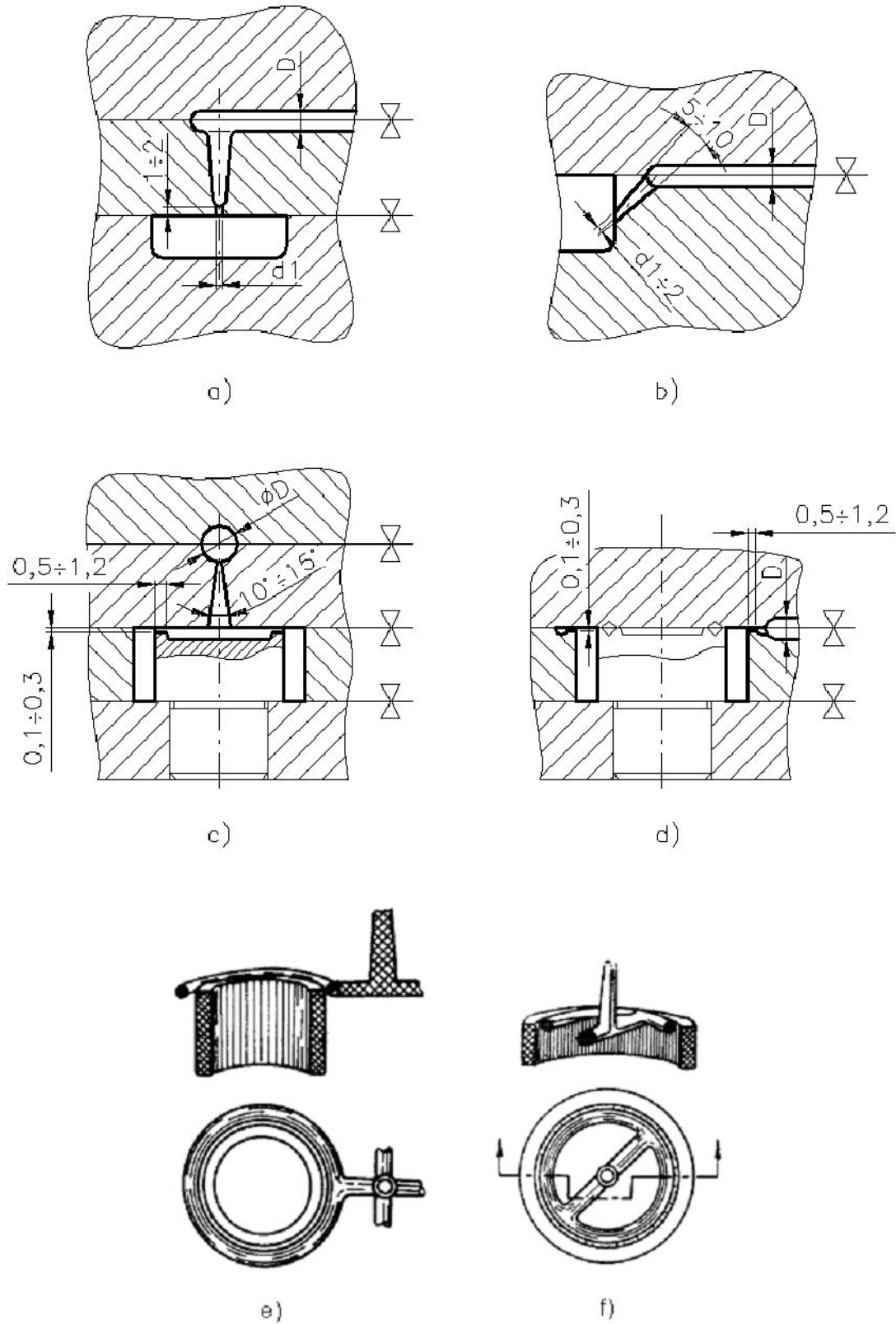
Bodové vtokové ústí vyžaduje zpravidla třetí desku formy. Výhoda tohoto provedení je v tom, že při rozevření formy dochází k automatickému oddělení vtokového zbytku od výstřiku.

Tunelové vtokové ústí se používá tam, kde plnění tvarové dutiny nemůže být provedeno v dělicí rovině formy a to z důvodů funkčních nebo vzhledových. Rovněž při otevření formy dochází automatické oddělení vtokového zbytku od výstřiku.

Membránové vtokové ústí se používá pro kruhové výstřiky menších rozměrů. Výhodou tohoto provedení je rychlé zaplnění dutiny vtokovým ústím vytvořeným po celém obvodu výstřiku. Nevýhodou je zvětšení vtokového zbytku.

Vějířové vtokové ústí se s výhodou používá pro výstřiky malé tloušťky a pro kaučukové směsi s nízkou viskozitou. Výhody i nevýhody tohoto provedení jsou obdobné jako u membránového vtokového ústí.

Prstencové ústí vtoku, které má tvar mezikruží se většinou používá u dutých rotačních výstřiků. [13]

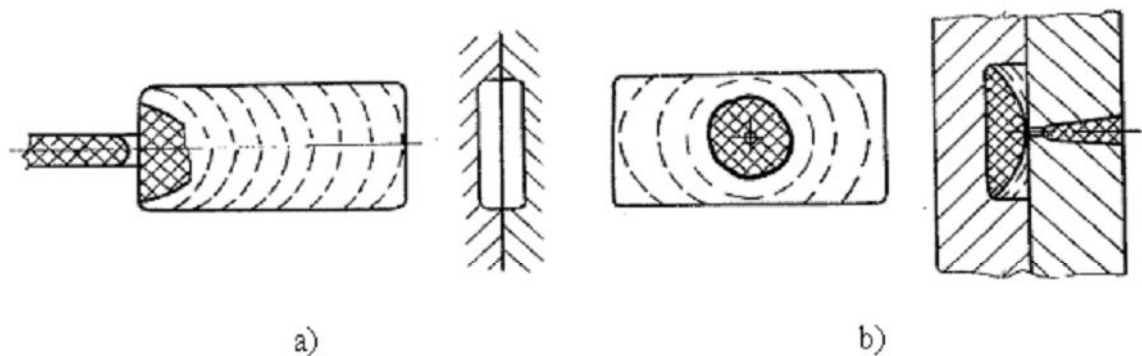


Obr. 10. Nejpoužívanější typy vtokových ústí [13]

- a) bodové, b) tunelové, c) membránové, d) vějířové (vnější)  
 e) vnější prstencové ústí vtoku, f) vnitřní prstencové ústí vtoku

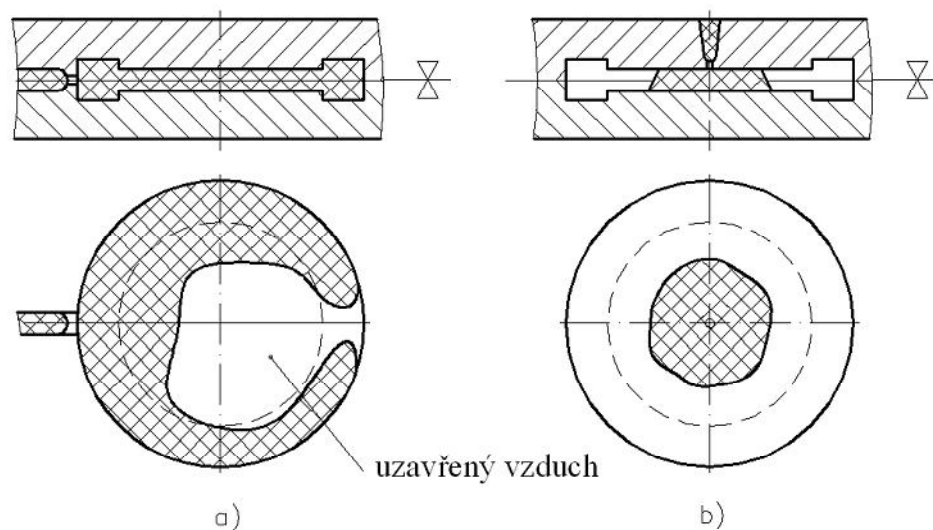
### 3.2.4 Plnění tvarové dutiny formy kaučukovou směsí

Kaučuková směs po výstupu z vtokového ústí formy plní dutinu od tohoto ústí všemi směry za předpokladu, že dutina je naprosto symetrická, tj. průřez tvarové dutiny je stejný. Uvedená zásada pozbývá platnost se změnou průřezů tvarové dutiny. V takovémto případě proud taveniny postupuje dutinou formy místem nejmenšího odporu, tj. největším průřezem. V takovém to případě je nutno umístit vtokové ústí do místa nejužšího průřezu dutiny, aby tavenina vytlačela vzduch z dutiny před sebou do největšího průřezu a do dělicí roviny. [13]



Obr. 11. Postup vyplňování dutiny taveninou [13]

a) boční vtokové ústí, b) středové bodové ústí



Obr. 12. Postup vyplňování dutiny při nesteržném průřezu

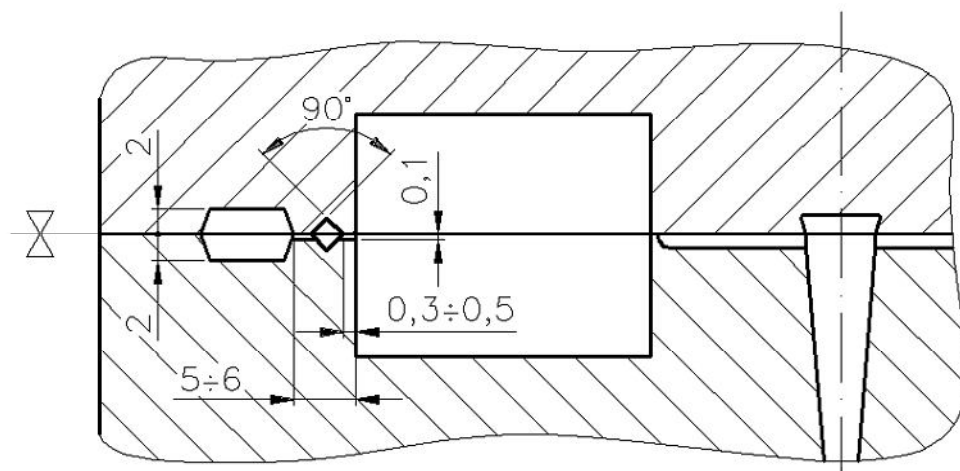
a) boční vtokové ústí, b) středové bodové ústí

### 3.3 Přetoky v dělicí rovině

Při nedostatečně přesném dávkování vstřikované kaučukové směsi a vstřikovacích tlacích nad 100 MPa dochází k tzv. přeplnění – přestříknutí taveniny do dělicí roviny formy, což má za následek zvětšení promítnuté plochy, na které působí tlak vstřikované taveniny proti uzavírací síle. Tím nastane pootevření formy s porušením zásady, že součin vstřikovacího tlaku a promítnuté plochy v dělicí rovině formy musí být bezpečně menší než velikost uzavírací síly. Za takového stavu vznikají výstřiky se silnými přetoky, které je možno odstraňovat jen mechanickým způsobem. [13]

K zamezení nežádoucích silných přetoků lze předejít dostatečným vylehčením dosedacích ploch v dělicí rovině formy a zpřesněním vstřikovaného objemu kaučukové směsi. Konstrukční uspořádání dosedacích ploch v dělicí rovině formy je nutné provádět následovně:

- kolem každé tvarové dutiny se odlehčí dosedací plocha ve vzdálenosti max. 5 mm od zaskřípovací drážky, vtokových kanálů a dosedacích ploch na obvodu formy. Součet všech dosedacích ploch musí být tak velký, aby byla splněna podmínka namáhání na otláčení desek,
- do plochy kolem tvarové dutiny se zhotoví zaskřípovací a přetoková drážka, která umožní snadné odstranění přetoku od výstřiku. Vzdálenost zaskřípovací drážky od okraje dutiny formy se volí 0,3 až 0,5 mm. [13]

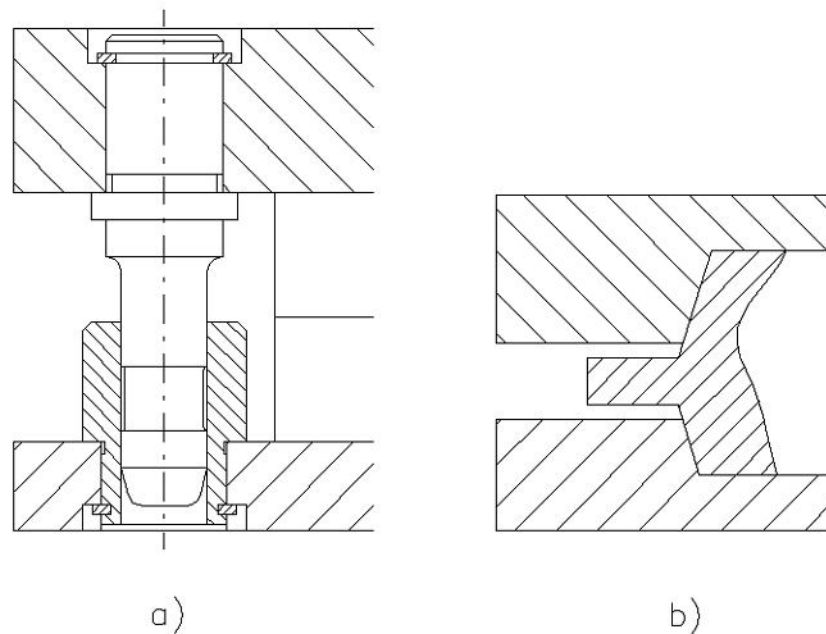


Obr. 13. Provedení zaskřípovací drážky

### 3.4 Středění dílů forem

Pro zajištění soustřednosti dutin zhotovených v jednotlivých deskách (vločkách) formy při jejich sevření v uzavírací jednotce se používá vodících čepů. Rozmístění těchto čepů na ploše formy se provádí tak, že alespoň jeden z čepů je umístěn asymetricky, aby se zabránilo případnému poškození při pootočení jednoho dílu formy. Středění se provádí třemi nebo čtyřmi čepy. Středící čepy se umisťují v horním dílu a vodící pouzdra ve spodním dílu formy. Vodící čepy i pouzdra se zhotovují z materiálů tepelně zpracovatelných. [13]

U forem s vkládanými jádry nebo kovovými díly musí být délka středícího čepu volena tak, aby ustředění horního dílu bylo provedeno dříve než horní díl přiklopí vložený díl. Středění kruhových dělených dílců u tří a vícedílných forem je prováděno středěním na kužel. Pro ustavení polohy dělených dílců se provádí pak kombinace středění na kužel a vodící kolík. Při použití středících dílů je nutné počítat s tepelnou dilatací roztečí vodících čepů a jejich úpravou na suvné tolerance. [13]



Obr. 14. Příklady středění formy

a) středění vodícími čepy, b) středění na kužel

### 3.5 Konstrukční způsoby vyhazování výstřiku z forem

Vyhazování výstřiku z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřik. K tomu slouží různé vyhazovací zařízení, která fungují automaticky nebo poloautomaticky. Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jeho stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než  $0,5^\circ$ . [2]

Při vstřikování je snaha, aby celý cyklus probíhal automaticky. Bohužel v mnoha případech vstřikování elastomerů nelze plně automatického cyklu dosáhnout a to hlavně z důvodu obtížného vyhazování výstřiku.

#### 3.5.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Používá se všude tam, kde je to možné. Jeho konstrukce má různá provedení, která nejčastěji představují vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků, vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů. [2]

#### 3.5.2 Pneumatické vyhazování

Je vhodným systémem pro vyhazování tenkostěnných výstřiků větších rozměrů dutých tvarů, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování větších a hlubokých výstřiků vyžaduje značně velké zdvihy vyhazovačů, bez záruky dobré funkce. Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou na výstřiku stopy po vyhazovačích. Použití pneumatického vyhazování je omezeno jen pro některé tvary výstřiků. [2]

#### 3.5.3 Ruční vyhazování

V některých případech je tvar výstřiku natolik složitý, že je vhodné přistoupit k ručnímu vyhození. Zvláště pak při jedné násobnosti formy, kde se z ekonomických důvodů uplatní spíše ruční oddělení výstřiku z otevřené dutiny formy.



### 3.6 Odvzdušnění forem

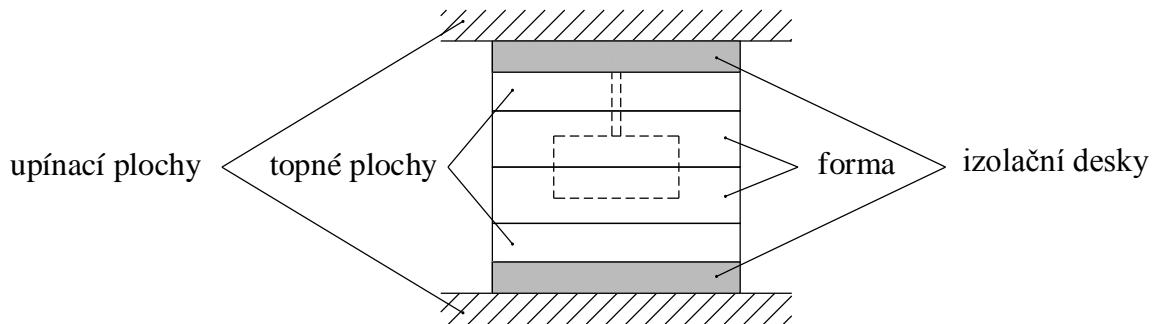
Při vstřikování kaučukových směsí do uzavřené formy je jednou z hlavních podmínek konstrukčního vyřešení formy odvzdušnění tvarové dutiny. Je třeba si uvědomit nežádoucí důsledky, které uzavřený vzduch v dutině formy způsobuje. Při vstřikování do uzavřené dutiny tavenina teče a zaplňuje nejprve místo nejmenšího odporu proti toku taveniny, tzn., že se nejdříve zaplní místa s největší plochou v řezu budoucího výstřiku. Tavenina tlačí před sebou vzduch, který zůstal v dutině. Pokud vzduch může některým místem z dutiny uniknout, a to jsou většinou stopy po opracování povrchu v dělicí rovině, pak tavenina bez potíží vyplní všechna místa dutiny formy bez vážnějších komplikací. V případě, že vzduch nemůže uniknout a je taveninou uzavírán, nastává při vysokém vstřikovacím tlaku jeho stlačování, nadměrné zahřátí a expanzi. To způsobí místní degradaci taveniny, která se projevuje nejen vzhledovou vadou na výstřiku, ale v mnohých případech snížením fyzikálně-mechanických vlastností hotového výstřiku. [13]

Odvzdušnění tvarových dutin formy je především dáno správnou konstrukcí formy, tedy vhodnou volbou dělicích rovin do tří nebo vícedílných forem. Při symetrickém tvaru výstřiku se přesně proti vtokovému ústí umístí odvzdušňovací kanálek, který ústí do odvzdušňovací jímky nebo ven z formy do okolní atmosféry. Odvzdušňovací kanálek se volí dle velikosti výstřiku a max. šířce 5 mm a max. hloubce 0,2 mm. U nesymetrických výstřiků se volí umístění odvzdušňovacího kanálku podle výsledků zkušebního nástřiku formy a to opět do místa, kde se čela proudu taveniny spojují. Mimo konstrukční úpravy formy se ještě používají dva způsoby odvzdušnění – pootevření formy brzy po zaplnění dutiny, buď jednou nebo vícekrát, a nebo evakuace dutiny v průběhu vstřikování. [13]

### 3.7 Vytápění forem

Vytápění forem je prováděno převážně elektricky, neboť tato energie je u každého vstřikovacího stroje k dispozici. Formy se zpravidla ohřívají na teplotu 140 až 200 °C. Udává se, že přibližné zvýšení teploty o 20 °C představuje zkrácení doby vulkanizace na polovinu. Zvyšování teploty na 200 °C nemá však již takový efekt. Překročení teploty 240 °C se již nedoporučuje. Ke zvýšení rovnoměrnosti teplotního pole se používá izolačních prvků nebo přidavných kompenzačních topení. [10]

U forem určených pro vertikální vstřikovací stroje je zpravidla teplo dodáváno z topných podložných desek, dodávaných se strojem a formy se k nim pouze přišroubují. Formy pro horizontální vstřikovací stroje jsou často konstruovány s tepelnými tělisky, vhodnými pro konstrukci formy. Topná těliska mají obvykle tvar pásku nebo patron. [13]



Obr. 15. Sestavení izolačních a topných desek formy

Uvažuje-li se o konstrukci formy z hlediska vytápění, je důležité zabezpečit především rovnoměrnost rozdělení tepla a vyvarovat se umístění topných prvků příliš blízko k tvarovým dutinám, protože tím by vznikla místa zahřívána nežádoucí měrou. U forem, kde jsou nutná poměrně dlouhá nebo rozměrná jádra, je zapotřebí provádět jejich temperaci. Za tím účelem se vytváří různé úpravy těchto jader tak, aby do nich mohlo být zavedeno teponosné médium. Nejvíce se používá jako média průmyslové páry, méně pak horký vzduch. [13]

### 3.8 Konstrukční materiály forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiku se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Významný činitel pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené:

- druhem vstřikovaného plastu,
- přesností a jakostí výstřiku,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím nástrojem. [2]

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí i rozměrů. Z toho se dále dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitečných vlastností. Takové druhy představují: [2]

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al ...),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé ...). [2]

Oceli jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit. Účelné konstrukce, vhodné vložkování, celková dimenze jednotlivých dílů, tepelné zpracování i způsob zacházení s formou, to všechno má vliv na kvalitu forem. [2]

Optimální určení druhu oceli na konkrétní součást závisí na její funkci. Úspěšným předpokladem dostatečné životnosti a funkční vhodnosti je také účelná konstrukce, dostatečné rozměry, správné zacházení a údržba. I způsob výroby a tepelného zpracování materiálu může celý výsledek ovlivnit. Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyjímání, vyleštěný povrch je rovněž prostředkem k ochraně proti korozi atd. Z těchto požadavků vyplývají i nároky na čistotu oceli.

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. [2]

Od použitých materiálů na formy se vyžaduje především:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobiteľnosť. [2]

Z hlediska technologie výroby výstřiků má ještě materiál funkčních dílů zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrobiteľnosť,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- odolností proti korozi a chemickým vlivům polymeru,

- vyhovující kalitelností a prokalitelností,
- stálostí rozměrů a minimálními deformacemi při kalení,
- dobrou tepelnou vodivostí,
- houževnatostí,
- pevností v tlaku. [2]

Z výše uvedených podmínek je zřejmé, že některé požadavky se vzájemně vylučují. Je tedy nutné vybrat oceli, které se těmito podmínkám co nejvíce přibližují. [2]

Převážnou část spotřeby ocelí pro výrobu forem tvoří oceli konstrukční třídy 11 dle ČSN. Vyrábí se z nich méně namáhané díly jako jsou desky forem. Jsou to především oceli 11 500, 11 600 a 11 700. Z třídy 12 jsou to především oceli 12 050, 12 060, 12 061, ty se používají pro desky forem s větší pevností a životností. Zušlechťují se na tvrdost 55 HRC. Pro části forem, jako jsou tvarové vložky, vtokové vložky a vodící prvky se používají oceli 14 220, 15 260, 19 015, 19 436, 19 437, 19 486, 19 550, 19 552, 19 786. Tyto materiály se používají ve stavu přírodním nebo zušlechtěném. Jako antikorozi ocel se nejčastěji používá 17 029 s výslednou tvrdostí po kalení až 51 HRC. [13] [15]

## 4 ZÁSADY PŘI NAVRHOVÁNÍ ELASTOMERNÍCH VÝROBKŮ

Základním podkladem při navrhování formy je výkres výrobku. V něm ale zpravidla nebývá řešena technologie výroby. Proto se výrobek upravuje tak, aby byl v souladu se zvoleným výrobním postupem. V podstatě jde o zabezpečení požadovaných vlastností výrobku při vysoké spolehlivosti a ekonomii jeho výroby. [10]

Dobře zkonstruovaná součást z pryže musí nejen vyhovovat všem technickým požadavkům kladeným na její funkci, ale musí se i dobře vyrábět. Je také třeba dbát na co nejmenší spotřebu surovin. Musí se přihlížet i k tomu, že pryž v napnutém stavu mnohem více eroduje, tj. volit pokud možno takový tvar, jaký má mít výrobek při použití. [13]

Předem je také dobré se přesvědčit v katalozích nebo normách, zda již nebyl typizován nebo normalizován stejný nebo tvarově podobný výrobek. Pokud tomu nebrání zvláštní požadavek, musí se v kladném případě konstrukce výrobku volit tak, aby se mohlo použít standardního výrobku. [13]

Konstrukce musí splňovat některé základní parametry technologičnosti:

- volit co nejjednodušší tvary,
- tvar upravit tak, aby součásti měly co nejmenší hmotnost při zachování potřebné pevnosti a dalších mechanických a dynamických vlastností,
- volit takovou konstrukci, aby nevznikaly neshodné výrobky převulkanizováním nebo nedovulkanizováním rozdílných průřezů,
- uvážit řešení odvzdušnění formy,
- omezit na nejmenší možnou míru dokončovací práce. [13]

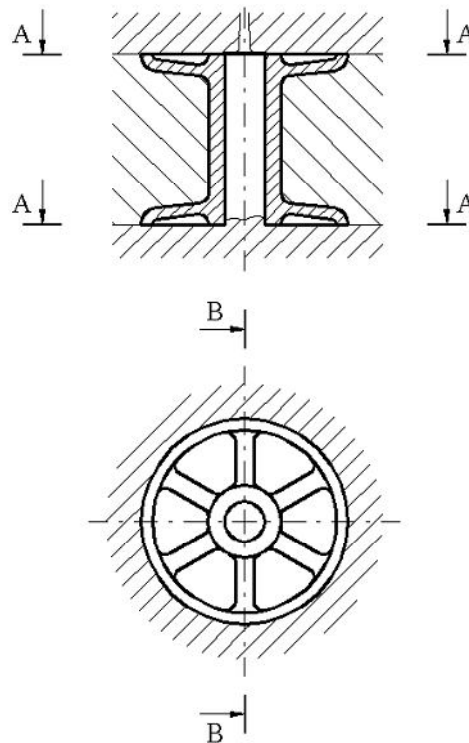
### 4.1 Dělicí plocha

Při návrhu výrobku vyráběného ve formě se musí v první řadě brát ohled na umístění dělicích ploch, aby byl výrobek vyrobitelný a forma co nejjednodušší. [10]

Dělicí plocha je plocha, ve které na sebe dosedají části formy při uzavření dutiny formy. Hlavně z výrobních důvodů bývá nejčastějším případem dělicí plochy dělicí rovina. Dělicí plocha se umísťuje vzhledem k výrobku tak, aby bylo snadné jeho vyjímání

z dutiny formy a aby stopa po dělicí rovině nepůsobila vady na výrobku. Vzniklé přetoky se musejí dát lehce odstranit. [10]

S ohledem na umístění dělicí roviny se rozlišuje hlavní a vedlejší dělicí rovinu. Za hlavní dělicí rovinu se zpravidla považuje dělicí rovina, která je kolmá na směr uzavírání formy. Ostatní dělicí roviny jsou pak vedlejší. Příklad řešení dělicích rovin ukazuje následující obrázek. [10]



Obr. 16. Řešení dělicích rovin

*A – A hlavní dělicí roviny, B – B vedlejší dělicí roviny*

Dělicí rovina se zpravidla umísťuje do hrany nebo vypouklé plochy výrobku. Vhodným umístěním dělicí roviny se také vyloučí vliv případného opotřebení části formy během provozu. V dělicí rovině se okraj výrobku zpravidla vyztužuje. Jestliže se má dosáhnout vyšší tuhosti výrobku, může se vytvořit obruba. [10]

## 4.2 Tloušťka stěn

Stejnou měrou základních vlastností pryže v různých místech výstřiku lze dosáhnout jen tehdy, je-li tloušťka všech průřezů stejná. Vulkanizace pak probíhá

stejněměrně a výroba je hospodárná. Tato zásada se má dodržovat při konstrukci výrobků z měkké pryže a je nezbytné ji dodržet při navrhování tvarů z tvrdé pryže.

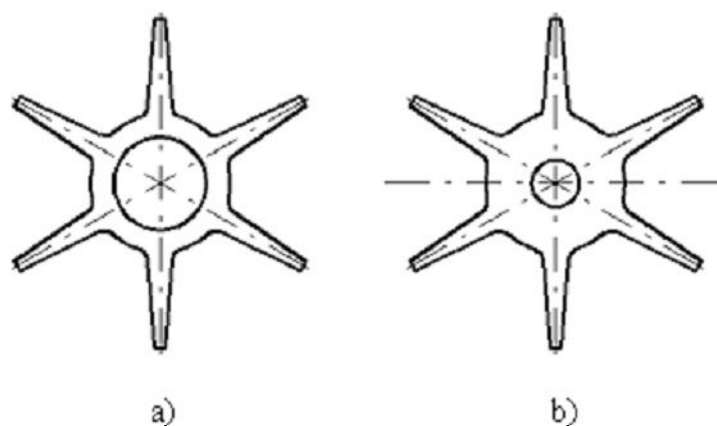
Tloušťka stěn musí vyhovovat požadavkům:

- funkčním (pevnost, tuhost, rozměrová stálost, elektrická a tepelná vodivost, ...),
- výrobním (vlastnosti zpracovávaného materiálu, způsob vyhazování, požadovaná přesnost),
- ekonomickým.

Kaučuková směs je v zásadě špatným vodičem tepla. Získání dobrého vulkanizátu závisí na stejnoměrném prohřátí kaučukové směsi v celém průřezu. Tyto dvě okolnosti omezují rozsah tloušťky průřezu výrobku při vulkanizaci. [10] [13]

### 4.3 Přečody

Z konstrukčních důvodů často nelze dodržet stejnou tloušťku průřezu. Pak musí být použito pozvolných přechodů mezi těmito různými průřezy. U výstřiků z tvrdé pryže musí být přechody zvláště mírné. Při napojování několika stěn, kde je výstřik tlustší, se musí konstrukce upravit tak, aby tloušťka tohoto průřezu nebyla příliš rozdílná. Při chladnutí výstřiku by totiž mohlo nastat nebezpečí vzniku trhlin, v důsledku nestejněměrného smršťování.



Obr. 17. Konstrukční řešení přechodu tloušťky stěn [13]

a) správně – tloušťka stěn je rovnoměrná, přechody pozvolné a poloměr zaoblení velký

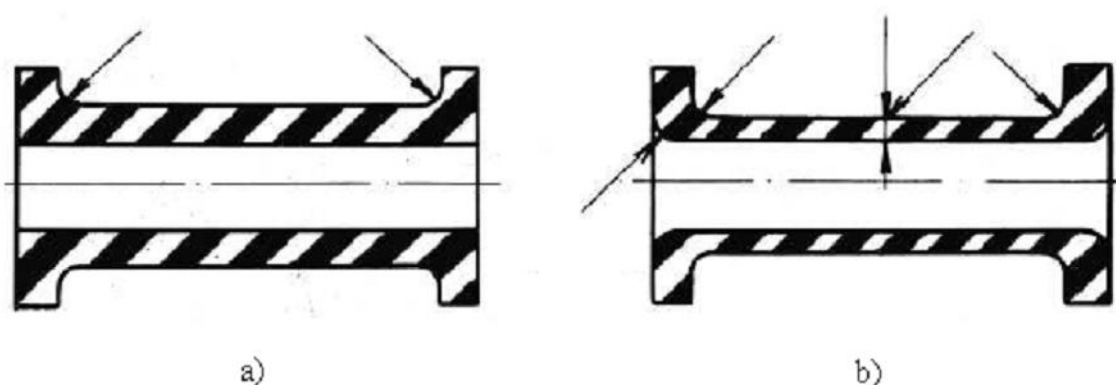
b) špatně – rozdílná tloušťka stěn, náhlé přechody



Obr. 18. Konstrukční řešení přechodu tloušťky stěn [13]

a) správně – pozvolný přechod

b) špatně – náhlý přechod



Obr. 19. Konstrukční řešení přechodu tloušťky stěn [13]

a) správně – stejnoměrná tloušťka stěn, přechody zaobleny

b) špatně – nestejnoměrná tloušťka stěn, nevhodně zaobleny přechody

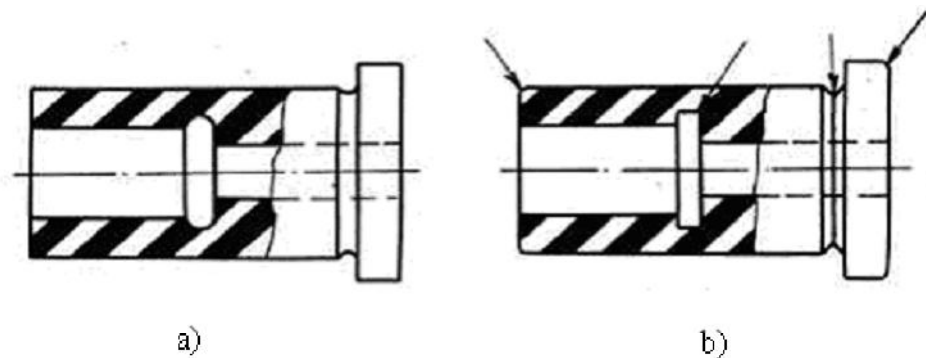
#### 4.4 Zaoblení hran

Hrany a kouty je potřeba zaoblit zvláště tam, kde protéká v dutině formy tavenina. Zaoblení zlepšuje tok taveniny v dutině formy, usnadňuje vyjímání výrobků a snižuje zbytkové vnitřní pnutí. Zaoblením lze dosáhnout také lepšího vzhledu výrobku. Ostré hrany se ve formě špatně vyrábějí a snadno se poškozují. Zaoblením se může také zvýšit tuhost výrobků, nesmí však být spojeno s nahromaděním taveniny při vstřikování. Při volbě zaoblení je potřeba plně respektovat výrobní možnosti. [10]

Ostré hrany, kouty, zářezy a vruby mají nepříznivý vliv na životnost pryžového výrobku. V ostrých hranách a zářezech se zvětšuje napětí vláken, takže rychleji podléhají únavě. Kouty a hrany musí být zaobleny a součást by měla mít mírně kuželový tvar. Tím



se zvětšuje mechanická pevnost výrobku, usnadňuje se tečení kaučukové směsi, předchází se tím vzniku zmetků a zlepšuje se vzhled výstřiku. Zaoblení bývá obvykle nejméně 1 mm. U dynamicky namáhaných součástí by mělo být minimální 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. Nedoporučuje se však zaoblovat hrany v dělicí rovině, protože to zdražuje výrobu formy a znesnadňuje vyhazování. Příklad správného a špatného zaoblení hran je uveden na obrázku. [13]



Obr. 20. Zaoblení hran výstřiku [13]

a) správně – hrany jsou zaobleny

b) špatně – ostré hrany, zářezy, hrany nesprávně zaobleny

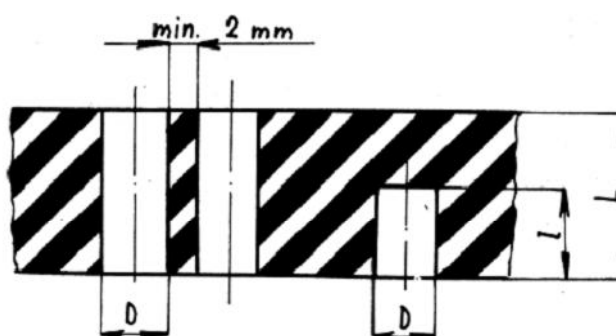
#### 4.5 Úkosy, podkosy, zápichy

Úkos je mírný sklon stěny v dutině formy, který umožňuje snazší vyjímání výrobku. Úkosy musí být na všech plochách kolmých k dělicí rovině, a to jak na vnějších, tak i na vnitřních plochách. Vzhledem ke smršťování elastomerů bývají úkosy na vnitřních plochách přibližně dvojnásobné než na plochách vnějších. Volba úkosu úzce souvisí s volbou vyhazování. Vnější nulový úkos způsobí, že výrobek zůstane v tvárnici, vnitřní naopak způsobí, že výrobek zůstane na tvárníku. U žeber se volí úkos obvykle větší. Úkos závisí také na výšce výrobku a jeho rozměrech. Zpravidla se zvětšuje se vzrůstající výškou.

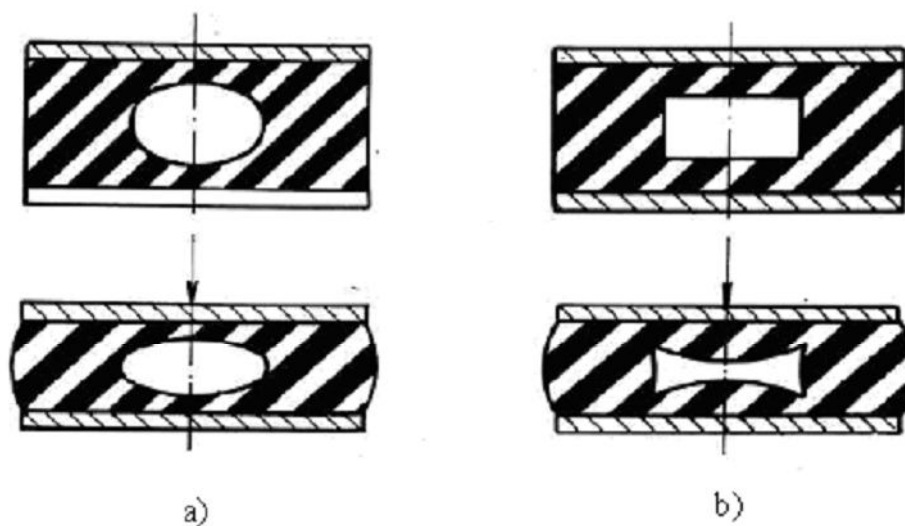
Podkosy jsou úkosy, které brání vyjímání výrobku z formy. Stejný účinek mají různé výstupky, nálitky, zápichy, apod., které neleží v dělicí rovině a jejichž osy nejsou rovnoběžné se směrem vyhazování. Podkos se někdy volí záměrně, aby výrobek zůstal na jedné části formy, na níž je pak vyřešeno vyhazování. V případě zhotovení výrobku se zápichem lze někdy výrobek dělit. Všechny části se pak spojí, např. lepením. [10]

## 4.6 Otvory

Vzhledem k dělicí rovině mohou být otvory umístěny kolmo, rovnoběžně nebo pod různými úhly. Poslední případ se pokud možno omezuje s ohledem na náročnost řešení formy. Otvory se mají řešit tak, aby příliš nezmenšovaly pevnost a tuhost výrobku. Také by neměly způsobovat obtíže při výrobě. V pryžových součástech se při tváření mohou pomocí trnů vytvořit otvory různého průřezu. Při tváření kaučukové směsi je trn (jádro) namáhán značným tlakem, který musí být řízen tak, aby se trn nevychýlil z předepsané polohy. [10] [13]



Obr. 21. Otvory v pryžových výstřicích [13]



Obr. 22. Otvory v pryžových výstřicích [13]

a) správně – otvor nemá ostré kouty

b) špatně – v ostrých koutech se při deformaci pružiny zvětšuje napětí

## 4.7 Okraje, obruby

Okraje tenkostěnných výrobků z pryže mají být pokud možno zesílené, na okraji se vytvoří obruba. 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), a dále se takový okraj nemůže zaměnit s přetokem, který se odděluje od výstřiku. [13]



Obr. 23. Okraje pryžových výstřiků [13]

a) správně – 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 výrobků jsou zpravidla nejvíce namáhána okrajová a povrchová vlákna. Proto musí být zakončení takové, aby se v pryži nekoncentrovalo napětí. [13]



Obr. 24. Odlehčení okrajových vláken [13]

a) správně – okrajová vlákna jsou odlehčena

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

## 5 PROBLÉMY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ

Při vstřikování elastomerů mohou nastat různé problémy (technologické, ekonomické, designérské atd.), ale existuje řada problémů, které nelze zjistit, dokud se forma neotevře. Některé z nich jsou stručně popsány níže. [11]

### 5.1 Smrštění a rozměrová stálost výstřiku

Během vulkanizace dochází ke smrštění výstřiku a k teplotní dilataci dutiny formy, 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 ochlazenému výstřiku, ale výše uvedenou definici je jednodušší použít v praxi na konkrétních případech. [11]

Smrštění se dělí na smrštění během chlazení 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 případů je. [11]

### 5.2 Soudržnost a přilnavost

Přilnavost elastomerů 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. [11]

### 5.3 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). [11]

Redukce propadlin je možná zmenšením tloušťky stěny, zvětšením velikosti dotlaku a zvětšením velikosti vtoku. Lze také využít retardérů vulkanizace, protože oddalují

dobu, kdy elastomer 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 parametru, tak je lze eliminovat úpravou povrchu. [11]

#### 5.4 Předčasná vulkanizace

U vstřikování elastomerů může dojít k předčasné vulkanizaci před vstříknutím elastomerní směsi do vstřikovací formy. Tím se výrazně zhorší tokové vlastnosti. Slabý tok taveniny do formy vede k deformaci nebo nedotečení výstřiku.

Příčiny mohou být:

- vysoká vstřikovací teplota,
- vysoká teplota formy,
- dlouhá vstřikovací doba,
- nízká bezpečnost směsi proti navulkanizování,
- vysoká viskozita směsi.

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 předčasnou vulkanizaci eliminovat přidáním retardéru vulkanizace do směsi. [11]

#### 5.5 Dlouhé vulkanizační cykly

Tato závada je opakem předčasné vulkanizace (deformace výstřiku). [13]

Příčiny:

- nízká vstřikovací teplota,
- nízká teplota formy,
- vysoká bezpečnost směsi.

## 5.6 Nerovný povrch (pomerančová kůra)

Pomerančová kůra je způsobena kontaktem první vstříknuté vrstvy s horkým povrchem formy. Tato vrstva začne síťovat před tím, než je dutina formy úplně zaplněna. Pomerančová kůra vzniká sloučením dřívě a později z vulkanizovaným kaučukem. [11]

## 5.7 Pórovitost

Pórovitost bývá způsobena nedostatečnou vulkanizací a přítomností těkavých látek, nejčastěji vodou ve směsi. Vyšší vstříkovací teplota a vyšší teplota formy nebo delší doba vulkanizace mohou pomoci vyřešit tento problém. [11]

## 5.8 Puchýře uvnitř výstřiku

Jsou způsobeny vzduchem uzavřeným ve směsi, který se do směsi dostane při míchání a jiných operacích. [13]

## 5.9 Vzduchové bubliny

Vznikají zachycením vzduchu na povrchu formy a téměř vždy na stejném místě. Těmito místy bývají zpravidla nejvzdálenější místa nebo rohy od ústí vtoku. [13]

## 5.10 Oxidace

V místech zadržení vzduchu pryž často podléhá silné oxidaci a stává se lepkavou (přírodní a izoprenové pryže). [13]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma,
- navrhnout konstrukční řešení univerzálního rámu formy a tvarových vložek,
- provést simulaci vstřikovacího procesu,
- ověřit mechanické chování navržené vstřikovací formy.

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh univerzálního rámu vstřikovací formy a výměnných vložek pro vstřikování zadaných elastomerních tělísek. Univerzální forma je speciálně navržena na vertikální vstřikovací stroj REP 27 / Y125 jenž se nachází v prostorách dílen na ústavu výrobního inženýrství.

První část popisuje samotný konstrukční návrh formy a její jednotlivé modifikace. Univerzální forma byla navržena pomocí programu CATIA V5R18. Druhou část představují analýzy vstřikovacího procesu jednotlivých elastomerních výrobků v programu Cadmould Rubber. Třetí část se zabývá mechanickou analýzou výměnných tvarových desek v programu SolidWorks. Pro konstrukční návrh celé formy byla vyhotovena výrobní dokumentace.



## 7 POUŽITÉ APLIKACE

### 7.1 Catia V5R18

**CATIA** (Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application) je multiplatformní PLM/CAD/CAM/CAE komerční software vyvíjený společností Dassault Systemes. Tento systém plně pokrývá celý proces od návrhu určení prvotní koncepce přes upřesňování výrobku a nabízí i integrovanou analýzu a nástroje pro přípravu výroby. Jedná se o skvělý produkt ve smyslu konkurence schopnosti v oblasti propojení tvorby návrhu, modelování tvarů a digitálního modelování. Otevřená architektura umožňuje budovat řešení pro digitální definici a simulaci 3D výrobků. Do systému jsou implementovány katalogy normalizovaných součástí, nástroje ke kompletnímu návrhu plechových součástí, strukturální navrhování, nástroje k tvorbě velkých sestav a kusovníků. [17]

### 7.2 Cadmould Rubber 4.5

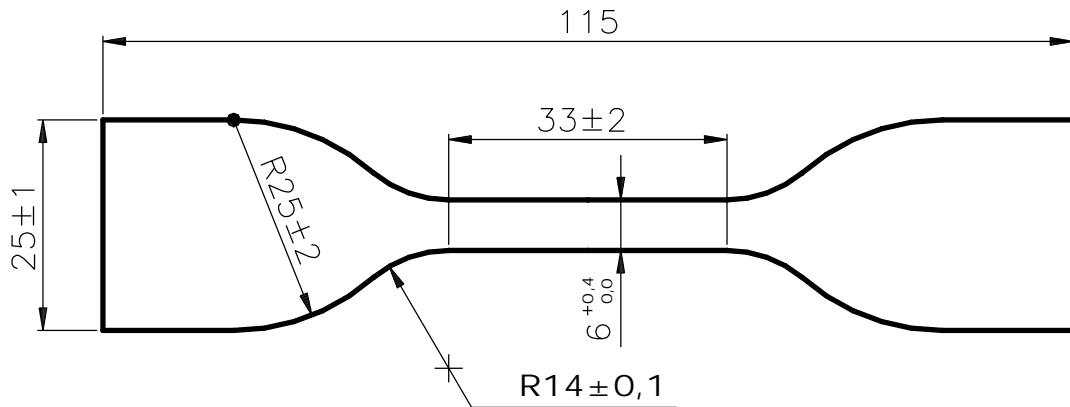
Cadmould Rubber je software obecně označovaný Computer Aided Engineering (CAE). Počítá v závislosti na použitém materiálu a technologických parametrech dobu plnění, rychlost a dobu vulkanizace ve formě a následnou dobu dovulkanizování. K nejdůležitějším výstupům patří vedle zobrazení průběhu plnění (studené spoje, místa s nebezpečím uzavření vzduchu), zobrazení tlakových a napěťových poměrů v dílci a stanovení optimální technologie. A právě technologické parametry při zpracování kaučukových směsí mají podstatný vliv na výslednou kvalitu výrobku, zároveň lze na základě výpočtů navrhnout vhodnou dobu plnění výrobního cyklu, což může v řadě případů vést k nemalým finančním úsporám. [18]

### 7.3 SolidWorks 2010 (SimulationXpress)

SolidWorks je software, který se řadí mezi 3D CAD systémy. Je také vyvíjený společností Dassault Systemes. Jako parametrický 3D modelář nabízí objemové i plošné modelování, práci s neomezeně rozsáhlými sestavami a automatické generování výrobních výkresů. SolidWorks obsahuje celou řadu vestavěných modulů, do kterých se řadí i SimulationXpress. SimulationXpress se dá definovat jako nástroj pro základní statickou pevnostní analýzu pomocí metody konečných prvků.

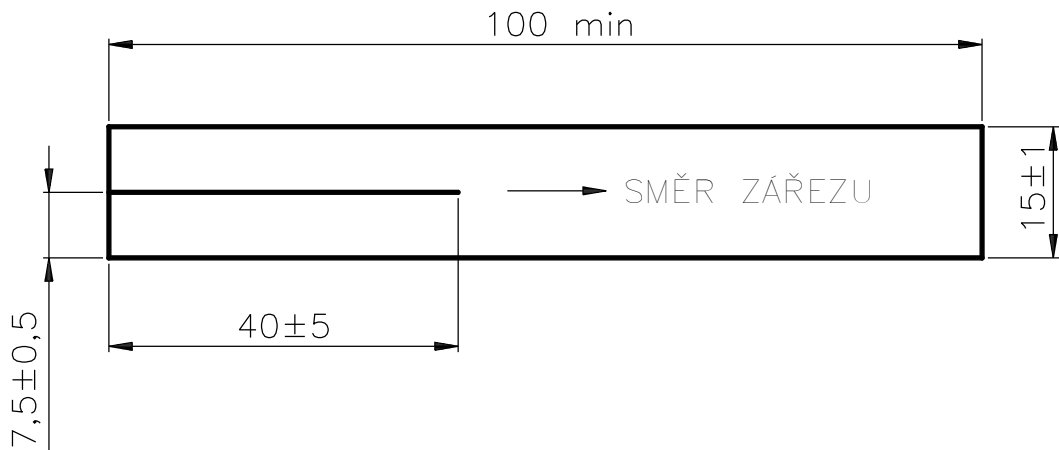
## 8 SPECIFIKACE VÝROBKŮ

Prvním výrobkem je zkušební tělísko typu oboustranné lopatky určené ke zkoušce stanovující tahové vlastnosti pryže dle normy ČSN ISO 37. Konkrétně byl vybrán typ 1 o daných rozměrech. Tloušťka tělíska je 2 mm.



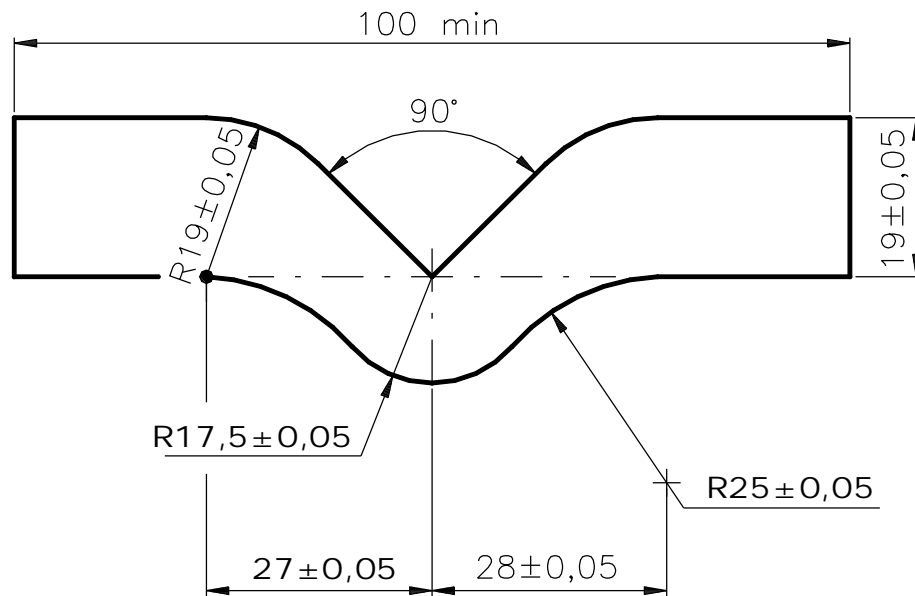
Obr. 25 Oboustranná lopatka [20]

Druhým výrobkem je zkušební tělísko typu trouser, určené ke zkoušce stanovující strukturální pevnost pryže dle normy ČSN 62 1459. Tloušťka tělíska je  $2 \pm 0,2$  mm.



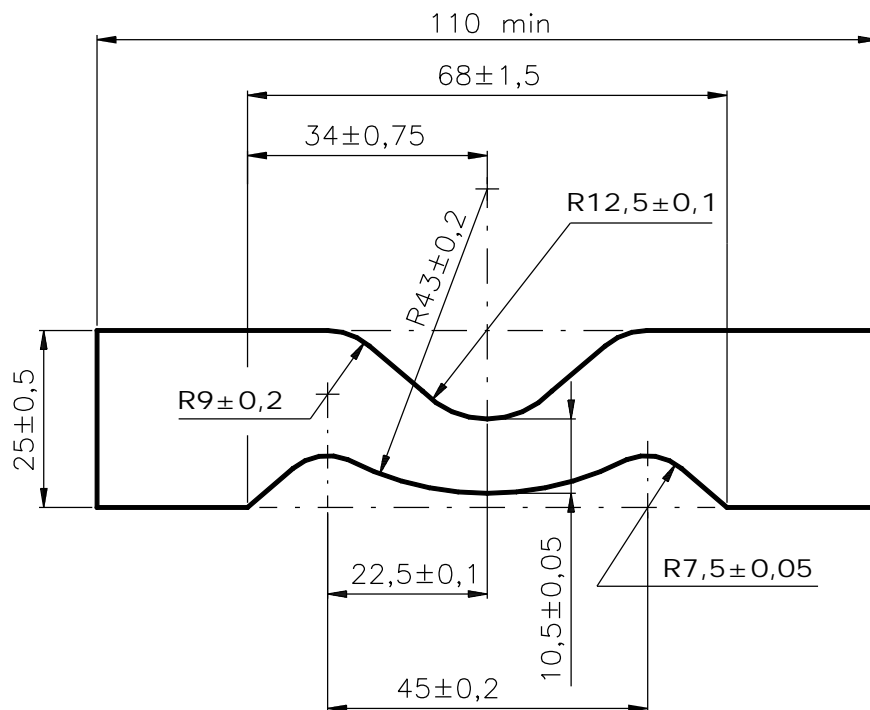
Obr. 26 Trouser [21]

Třetím výrobkem je zkušební tělísko typu graves (bez zářezu), určené ke zkoušce stanovující strukturální pevnost pryže dle normy ČSN 62 1459. Tloušťka tělíska je  $2 \pm 0,2$  mm.



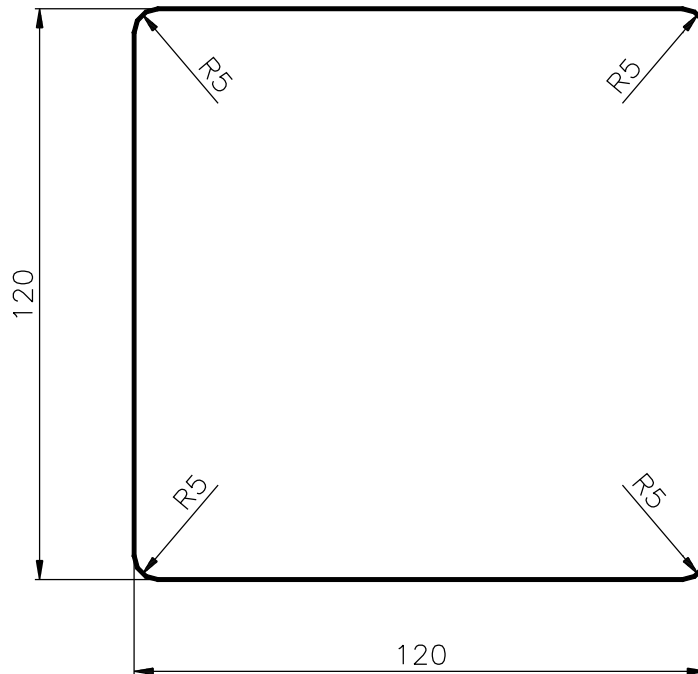
Obr. 27 Graves [21]

Čtvrtým výrobkem je zkušební tělísko typu crescent (bez zářezu), určené ke zkoušce stanovující strukturální pevnost pryže dle normy ČSN 62 1459. Tloušťka tělíska je  $2 \pm 0,2$  mm.



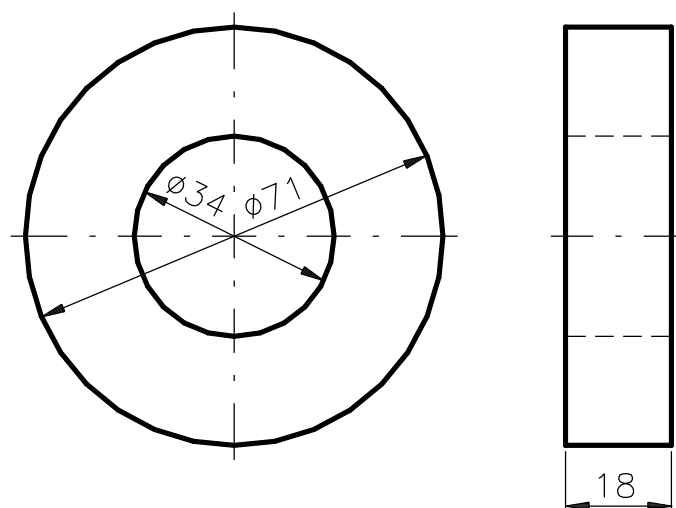
Obr. 28 Crescent [21]

Pátým výrobkem je deska o rozměrech 120 mm x 120 mm x 2 mm, která slouží jako polotovar pro vyseknutí předchozích zkušebních tělísek.

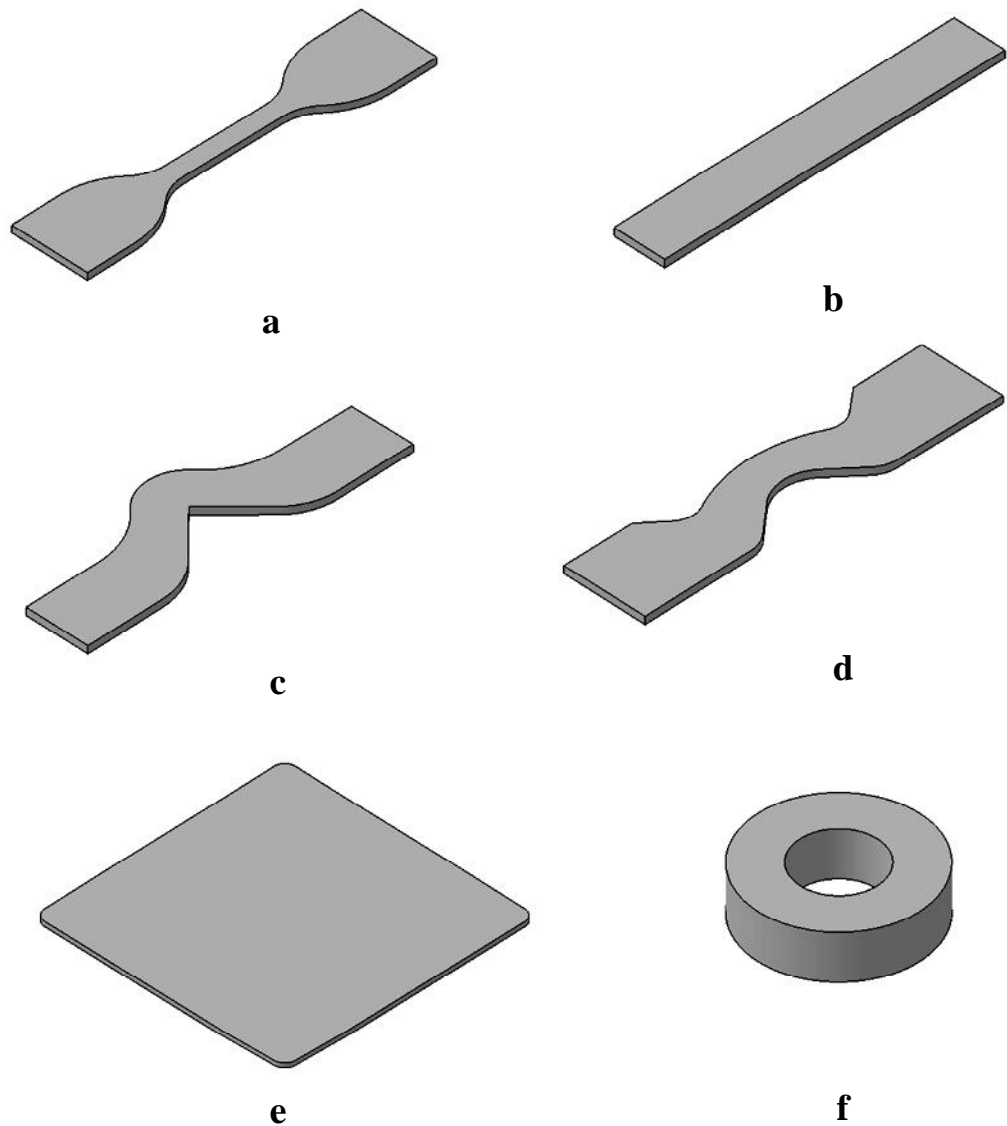


Obr. 29 Deska

Šestým výrobkem je kroužek, který slouží jako nosič vzorků běhounových směsí pro zkoušku otěruvzdornosti.



Obr. 30 Kroužek



*Obr. 31 Vstříkované výrobky*

*a) oboustranná lopatka, b) trouser, c) graves, d) crescent, e) deska, f) kroužek*

## 8.1 Materiál výrobků

Pro všechny vstříkované výrobky byl zvolen materiál NBR o tvrdosti 50 Sh. Tento materiál vzhledem k tvrdosti obsahuje vyšší podíl plniv, proto bude vykazovat menší hodnoty smrštění, okolo 1,5%. Doporučená teplota taveniny činí 100 °C a optimální vulkanizační teplota je 180 °C.

Nitrilkaučuk je kopolymerem butadienu s 20 až 40% akrylonitrilu. Nitrilkaučuk má výbornou tepelnou odolnost a také odolává působení olejů a nepolárních rozpouštědel. Vulkanizační systém NBR tvoří síra spolu s urychlovačem a aktivátorem vulkanizace.

## 9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací forma je navržena pro vertikální vstřikovací stroj Rep V27/Y125, který slouží ke zpracování elastomerních směsí. Materiál vstupuje do šnekové plastikační jednotky ve formě pásku, dále je zplastikován a následně dopraven do pístové vstřikovací jednotky. Poté je materiál vstříknut do tvarové dutiny formy.



Obr. 32 Vstřikovací stroj Rep V27/Y125

Základní technické parametry stroje:

Tab. 2. Parametry uzavírací jednotky [19]

	Jednotka	Hodnota
Uzavírací síla	max. kN	502
Přísouvací síla	kN	57
Výška formy	mm	115 až 495
Max. rozměry formy	mm	300 x 300

Tab. 3. Parametry vstřikovací jednotky [19]

	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
Průměr šneku	mm	20
Účinná délka šneku	L/D	15
Otáčky šneku	max. ot/min	460
Průměr pístu	mm	40
Objem vstřikované dávky	max. cm <sup>3</sup>	125
Vstřikovací tlak	max. bar	1560

Tab. 4. Další parametry [19]

	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
Výkon topných desek	kW	2,21
Rozměry stroje	mm	900 x 1340 x 2675

Základní technické parametry formy:

Tab. 5. Parametry vstřikovací formy

	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
Šířka	mm	300
Hloubka	mm	300
Výška	mm	125 až 138
Max. objem vstřikované dávky	cm <sup>3</sup>	63,9

## 10 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce formy je řešena s ohledem na složitost a přesnost výrobků. Bylo snahou docílit co nejjednoduššího a nejlevnějšího návrhu. Konstrukce modelu formy byla tvořena pomocí programu CATIA V5R18 s použitím modulů Mechanical Design. Jednotlivé části formy byly vytvořeny v modulu Part Design a zkompletovány v sestavu v modulu Assembly Design.

### 10.1 Násobnost formy

Při volbě násobnosti formy se musí přihlídnout k několika důležitým činitelům, které ji ovlivňují. Jsou to zejména:

- složitost a přesnost výstřiku,
- kapacita vstřikovacího stroje,
- náklady na výrobu formy,
- velikost požadované série.

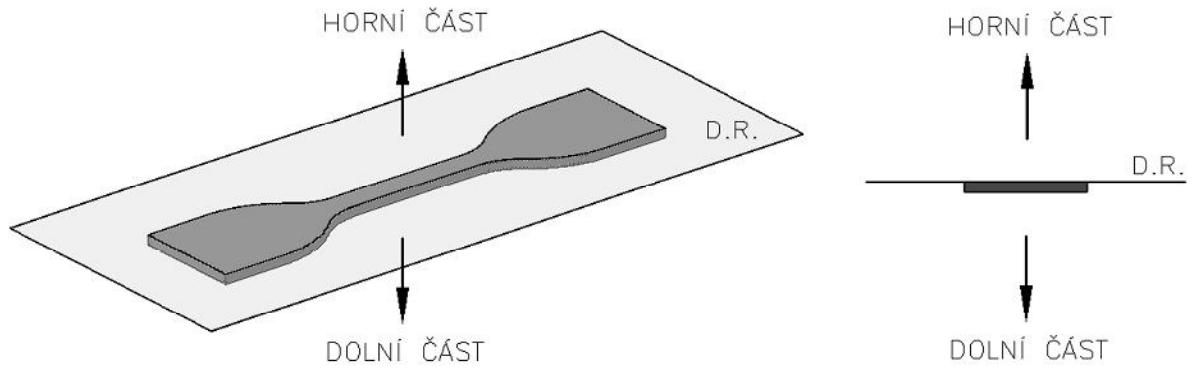
U vstřikovaných zkušebních tělísek je rozhodující zejména přesnost. Pro větší produktivitu výroby je vhodné zvolit vícenásobnou formy, avšak v tomto případě nehraje velkou roli. Pro vstřikování zkušebních tělísek byla tedy zvolena dvojnásobná forma z hlediska vyváženosti. Pouze forma pro tělísko ve tvaru kroužku je jednonásobná.

### 10.2 Zaformování výstřiků

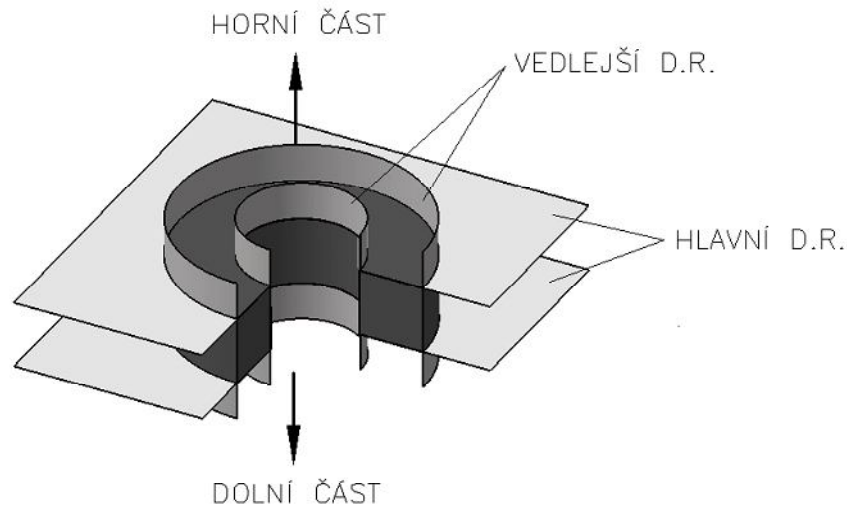
Hlavní zásadou při konstrukci formy je zvolení dělicích rovin. U plošných výrobků je dělicí rovina zvolena jednoduše, je rovnoběžná s horní plochou. Tvarová dutina a vtokový systém je tedy jen v dolní tvarové desce.

U kruhového výrobku tvoří hlavní dělicí roviny horní a spodní plocha. Vedlejší dělicí rovina umožňuje vytvořit vnitřní a vnější průměr.





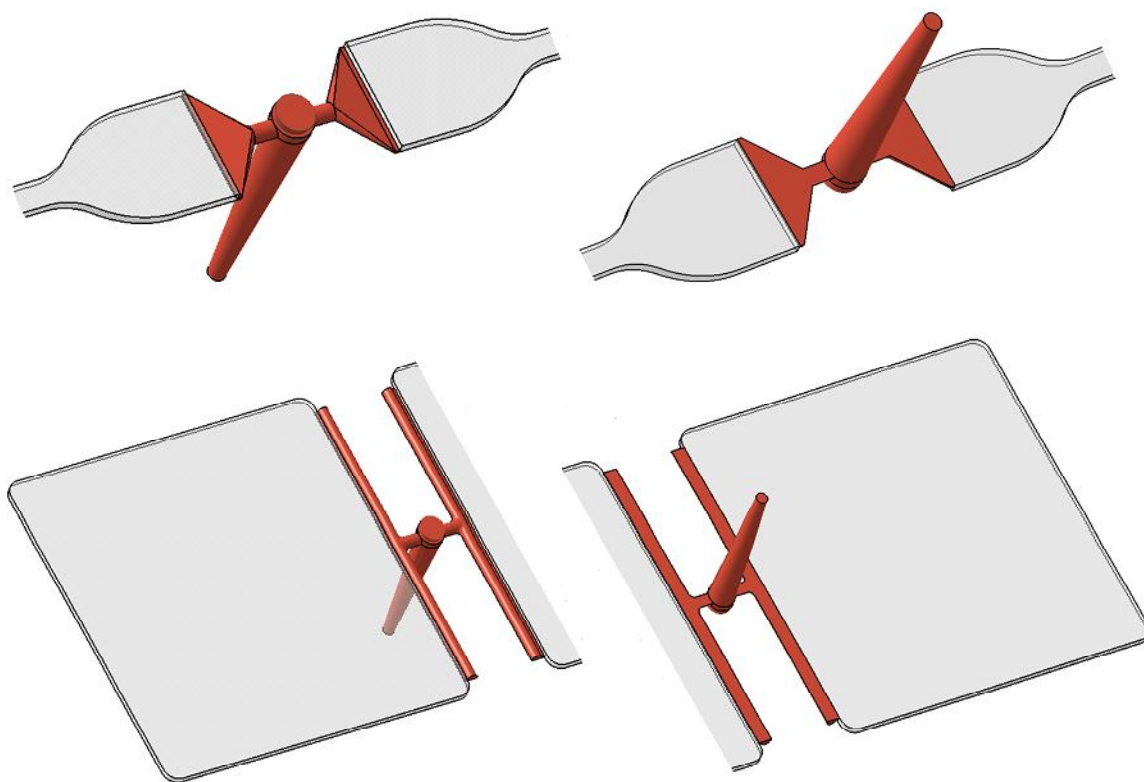
Obr. 33 Dělicí rovina plošných výrobků



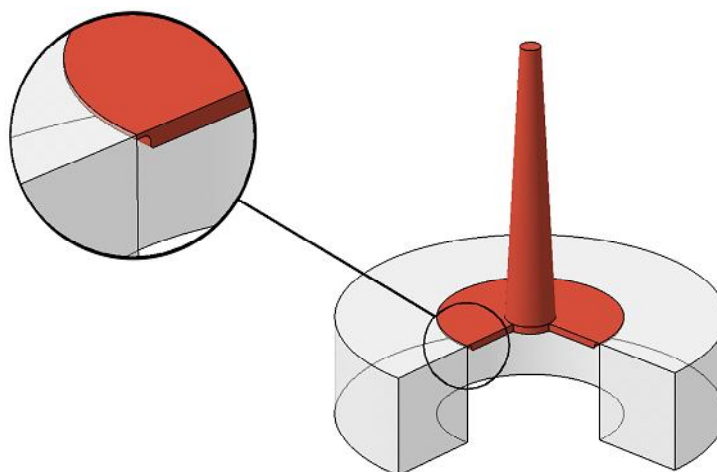
Obr. 34 Dělicí roviny kroužku

### 10.3 Vtokový systém

Pro vstřikování plošných výrobků byl zvolen kuželový vtokový kanál, následně do stran rozveden půlkruhovým rozvodným kanálem. Tavenina je vstřikována do tvarových dutin pomocí filmového ústí vtoku. (Obr. 39). Pro zajištění výstřiku resp. vtokového systému v dolní části formy, je v tvarové desce vytvořen přídržovač vtoku. Pro vstřikování kroužku byl také zvolen kuželový vtokový kanál a přímo z něho je vyvedeno membránové ústí vtoku. (Obr. 40). Vnitřní membránové ústí bylo navrženo, aby bylo docíleno rovnoměrnějšího plnění a minimalizaci studených spojů.



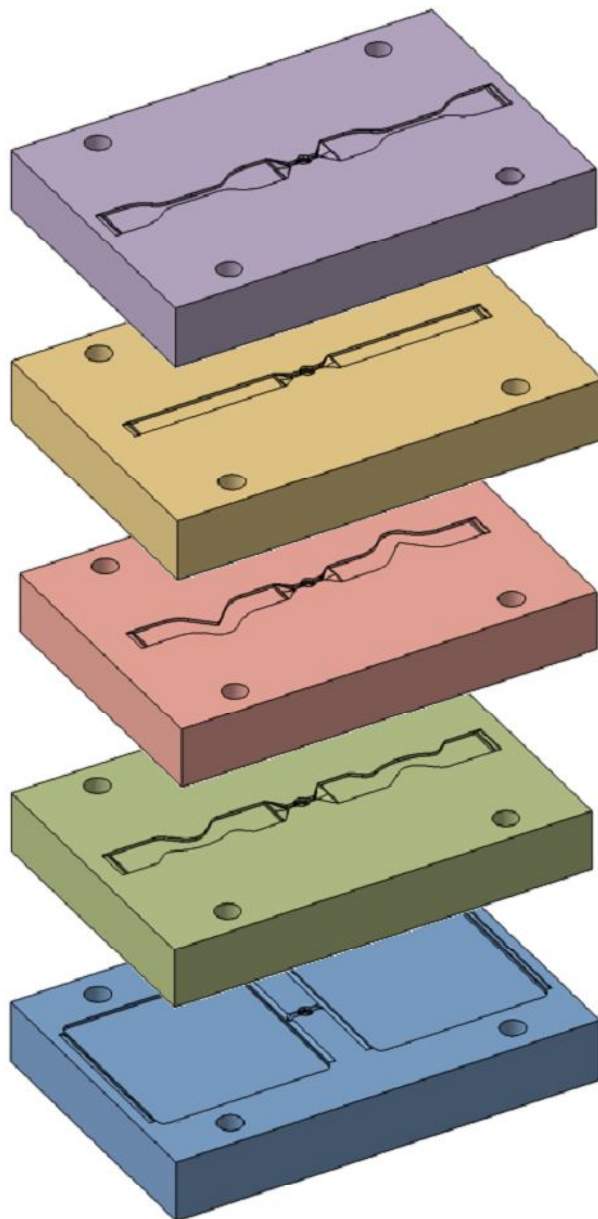
*Obr. 35. Filmové ústí vtoku plošných výrobků*



*Obr. 36. Membránové ústí vtoku kruhového výrobku*

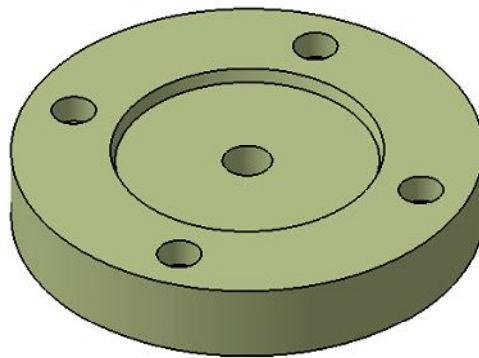
## 10.4 Tvarové desky

Pro jednotlivé výrobky byly navrženy výměnné tvarové desky (Obr. 37). U plošných výrobků je celý tvar obroben do dolní tvarové desky, zatímco vrchní deska je celá plochá. Dutiny jsou zvětšeny o hodnotu smrštění, která činí přibližně 1,5%. Jelikož dělicí rovina není vedena středem výrobku, není ovlivněna jeho tvarová a rozměrová přesnost v důsledku vyosení horní a dolní tvarové desky. Tímto řešením tedy odpadá nutnost středění horní a spodní části vodícími čepy a konstrukce formy se značně zjednoduší.

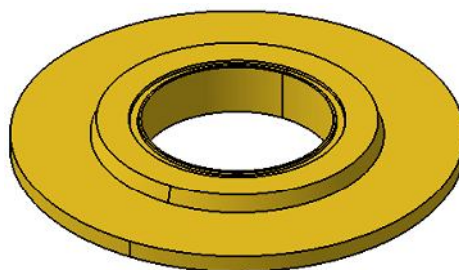


Obr. 37 Tvarové desky plošných výrobků

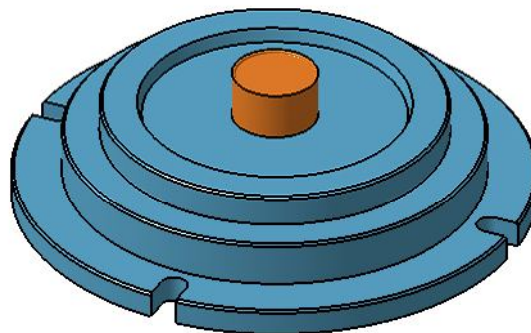
Desky, které společně tvoří dutinu pro kroužek jsou: horní kruhová deska, dolní kruhová deska, tvárnice a tvárník. Mezi dolní a vrchní kruhovou deskou je tvárnice vytvářející vnější průměr. Vnitřní průměr je vytvořen pomocí středového tvárníku. Kvůli zajištění souososti vnějšího a vnitřního průměru kroužku, jsou jednotlivé desky středěny tzv. na kužel. Dále jsou v tvárnici a v tvárníku vytvořeny přetokové drážky, které slouží také pro případné odvodu vzduchu z dutiny.



*Obr. 38 Horní tvarová deska kroužku*



*Obr. 39 Tvárnice kroužku*



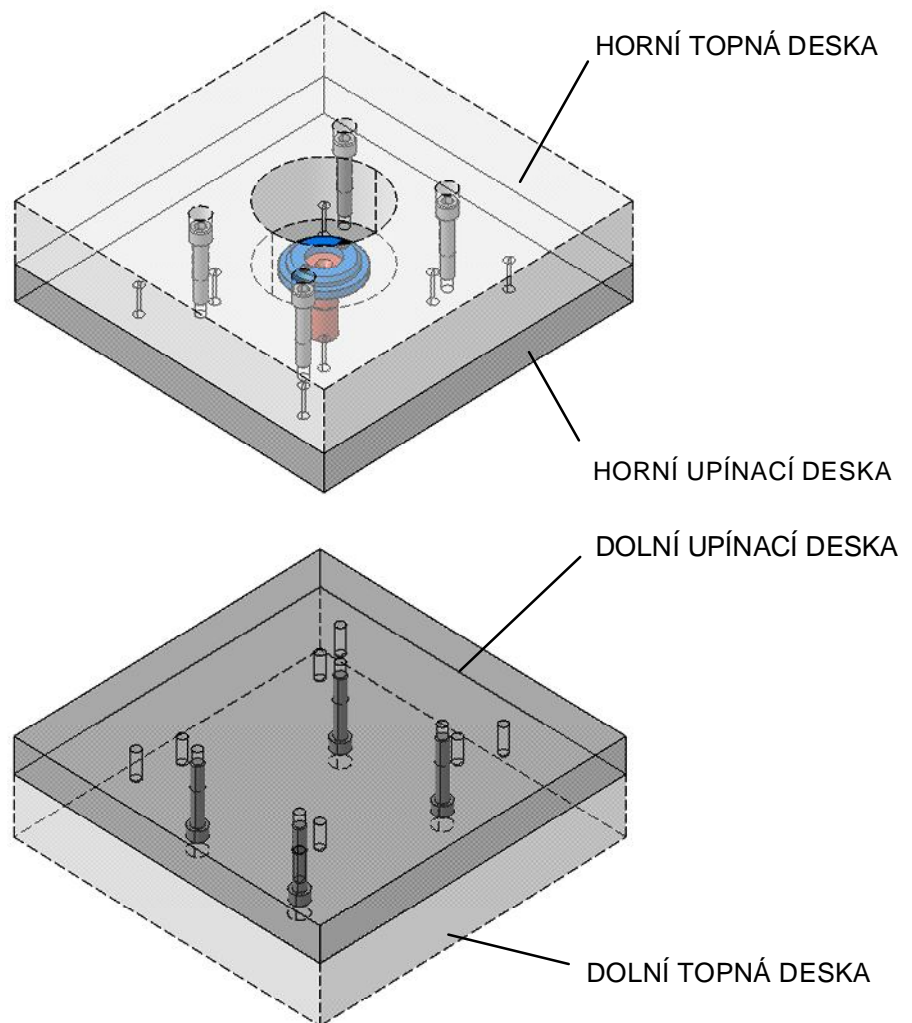
*Obr. 40 Dolní tvarová deska kroužku s tvárníkem*

## 10.5 Vyhození výstřiků

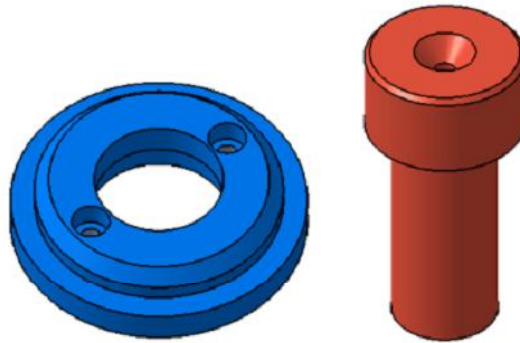
Vyhození jednotlivých výstřiků z formy je realizováno ručně, jelikož vstřikovací stroj nemá vyhazovací zařízení. Po otevření formy se plošné výstřiky vytáhnou kleštěmi za vtokový kužel. Kroužek se vytáhne spolu s tvárnicí, ze které se poté vysune. Nebo se pomocí kleští odstraní s tvárníku, jestliže na něm vlivem smrštění zůstane.

## 10.6 Univerzální rám

Univerzální rám tvoří horní a dolní upínací deska. Ty jsou uchycené na topných deskách stroje, každá pomocí 4 šroubů. V horní upínací desce je vložena vtoková vložka, která je zajištěna středícím kroužkem. Upínací desky mají řadu otvorů pro uchycení jednotlivých tvarových desek, spolu s tvarovými deskami tak tvoří 6 modifikací pro vstřikování všech zadaných výrobků.



Obr. 41. Upnutí horní a dolní upínací desky na topné desky stroje



Obr. 42. Středící kroužek a vtoková vložka

### 10.7 Vyhřívání formy

Forma je vyhřívána od topných desek, které jsou součástí vstřikovacího stroje. Teplota formy je regulována pomocí dvojice odporových teplotních čidel, které jsou umístěny v tvarových deskách, co nejbližší tvarové dutiny. Teplotní čidla jsou uchyceny pomocí bajonetu na šroubovatelném adaptéru.

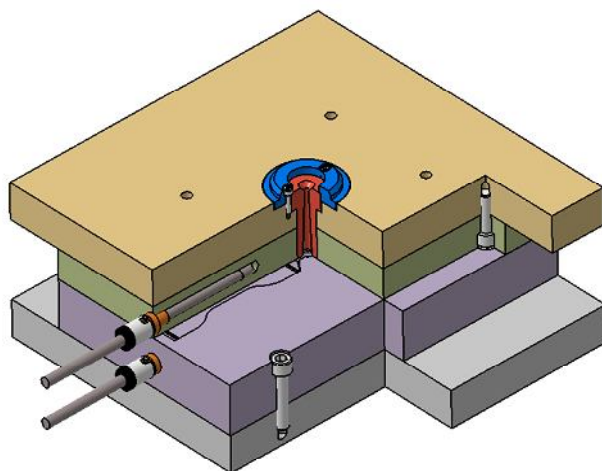


Obr. 43. Upevnění teplotního čidla

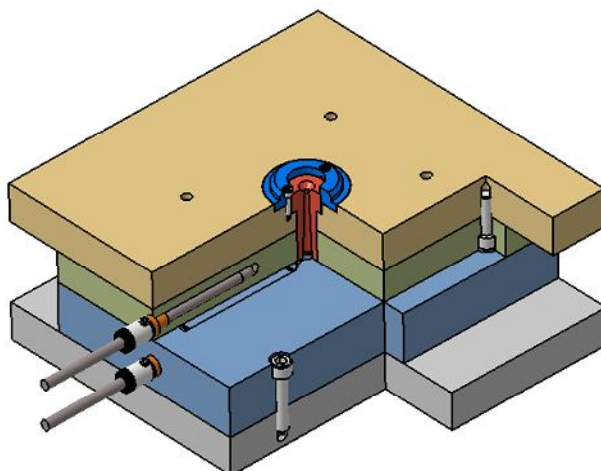
### 10.8 Sestava formy

Jak už bylo zmíněno, univerzální upínací desky spolu s tvarovými deskami tvoří šest různých modifikací pro vstřikování jednotlivých výrobků. (Obr. 44 až 49). Každá tvarová deska je napevno spojena s upínací deskou čtyřmi šrouby.

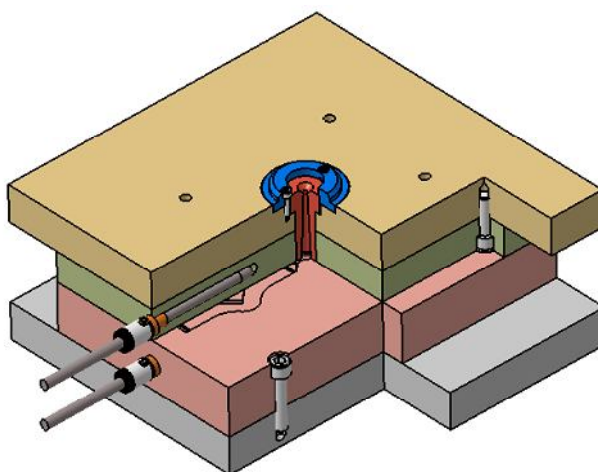




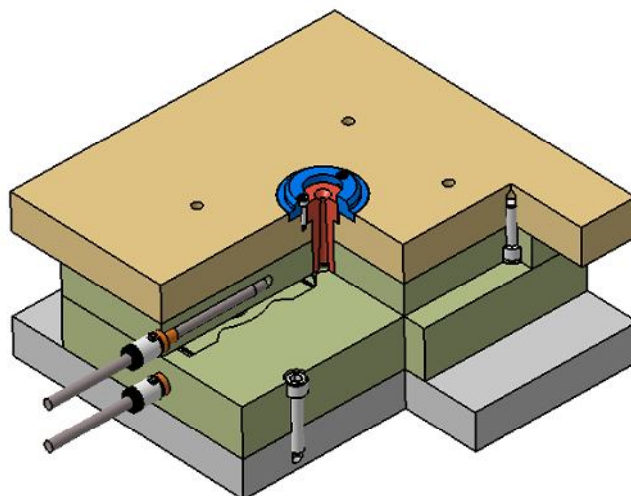
Obr. 44. 1. modifikace – forma na tělisko oboustranné lopatky



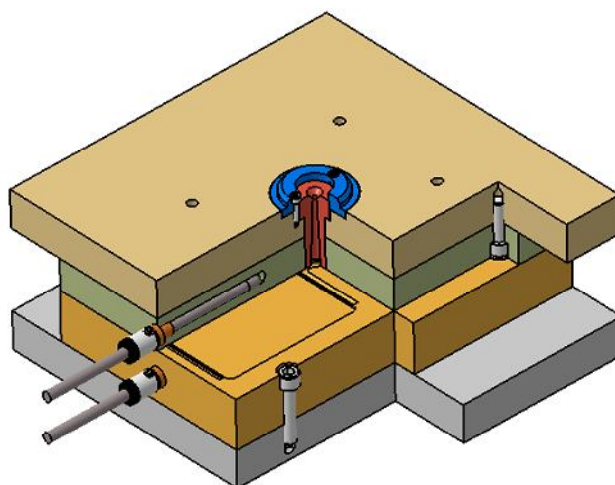
Obr. 45. 2. modifikace – forma na tělisko trouser



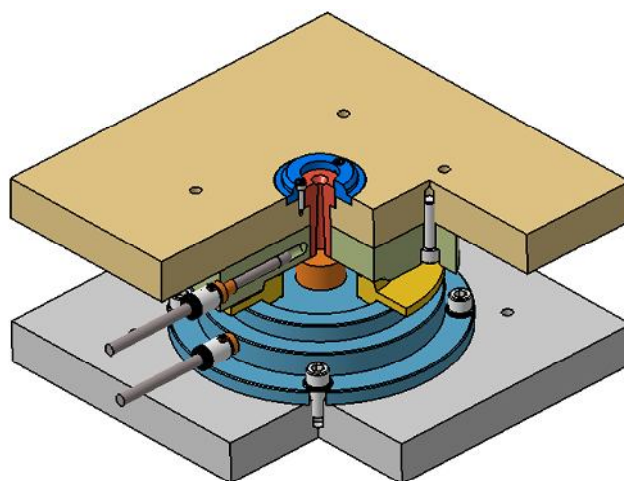
Obr. 46. 3. modifikace – forma na tělisko graves



*Obr. 47. 4. modifikace – forma na tělisko crescent*



*Obr. 48. 5. modifikace – forma na desku*



*Obr. 49. 6. modifikace – forma na kroužek*



## 11 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Simulační analýzy se v dnešní době již poměrně běžně používají při výrobě dílů z termoplastů. Pro analýzu byl použit program Cadmould Rubber 4.5, jehož výhodou je analýza vstřikování kaučukových směsí. Pro správné nastavení vstřikovacího procesu u elastomerů je velice důležité znát rozložení a průběh teplot daného výrobku. Díky tomu lze dále určit bezpečnost vulkanizace, rychlost vulkanizace, potřebnou dobu ohřevu, atd.

### 11.1 Procesní podmínky

Pro vstřikování daných elastomerních výrobků byly nastaveny procesní podmínky podle následujících tabulek. Jak už bylo zmíněno, materiál výrobků je NBR 50 Sh.

*Tab. 6. Procesní podmínky vstřikování zkušebních tělísek a desky*

	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
Čas plnění	s	20
Přepnutí na dotlak	%	99
Teplota taveniny	°C	100
Teplota stěny dutiny formy	°C	180
Doba ohřevu	s	190

*Tab. 7. Procesní podmínky vstřikování kroužku*

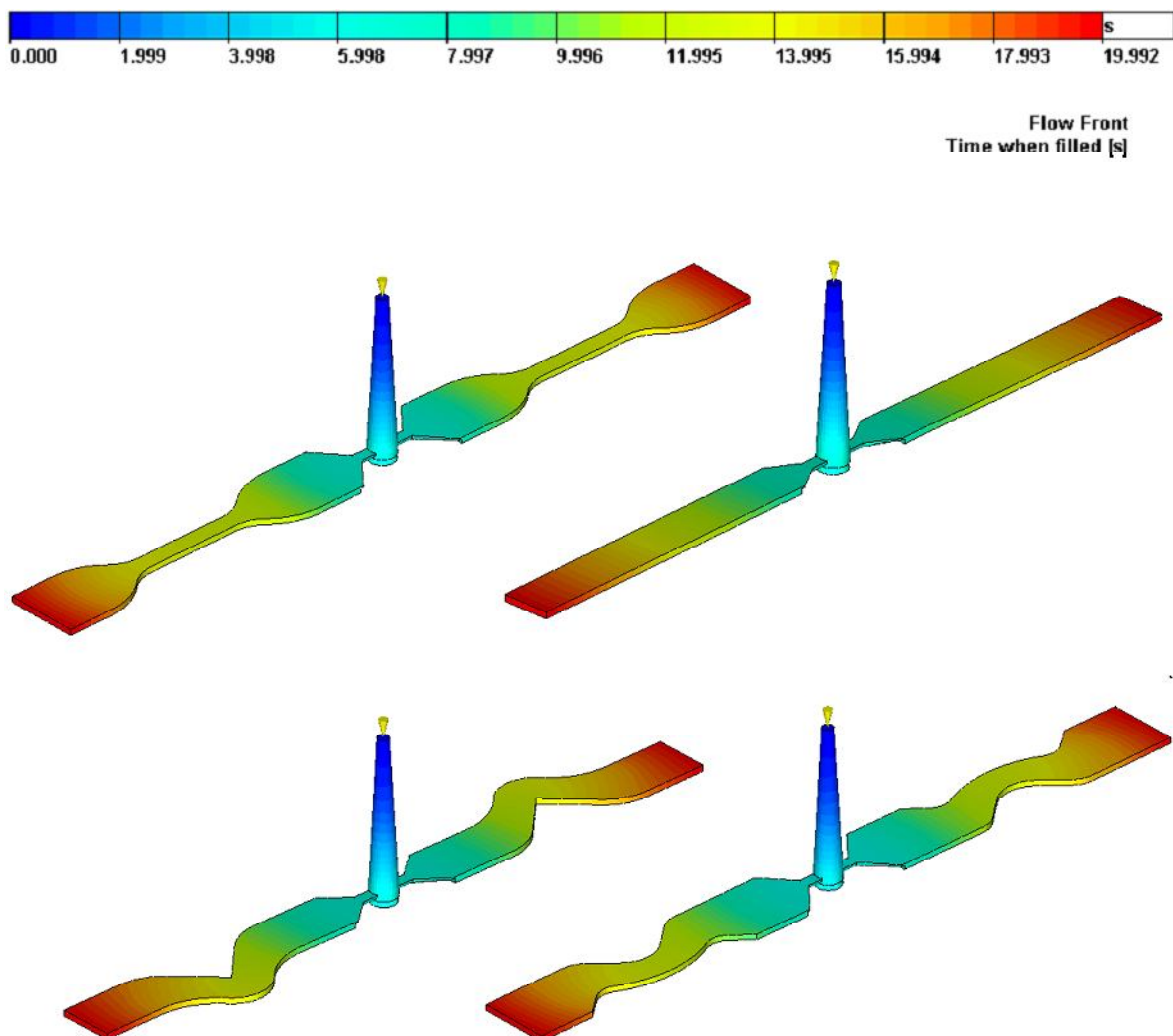
	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
Čas plnění	s	20
Přepnutí na dotlak	%	99
Teplota taveniny	°C	100
Teplota stěny dutiny formy	°C	180
Doba ohřevu	s	280

## 11.2 Výsledky analýz

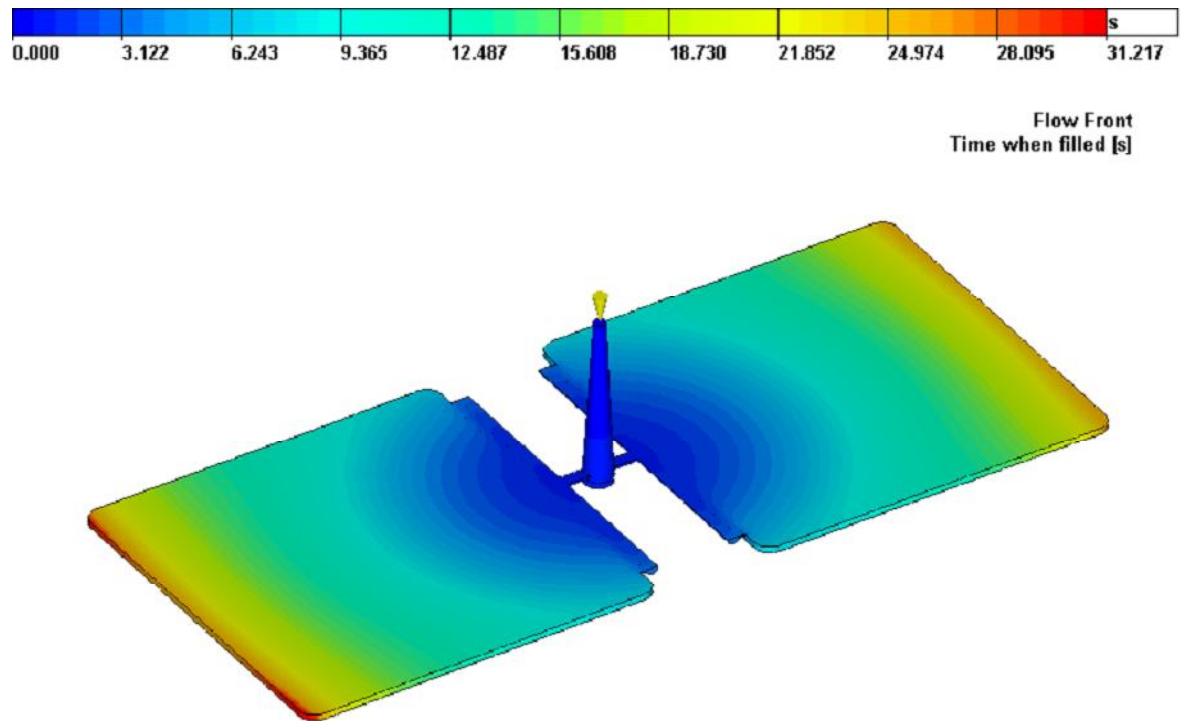
Do programu Cadmould Rubber byly vloženy modely vstříkovaných výrobků spolu s vtokovým systémem. Vše ve formátu stp. Následně byly zadány procesní podmínky a proveden výpočet analýzy vstříkovacího procesu. V této kapitole jsou zobrazeny a popsány výsledky vybraných analýz jednotlivých vstříkovaných výrobků.

### 11.2.1 Plnění dutiny

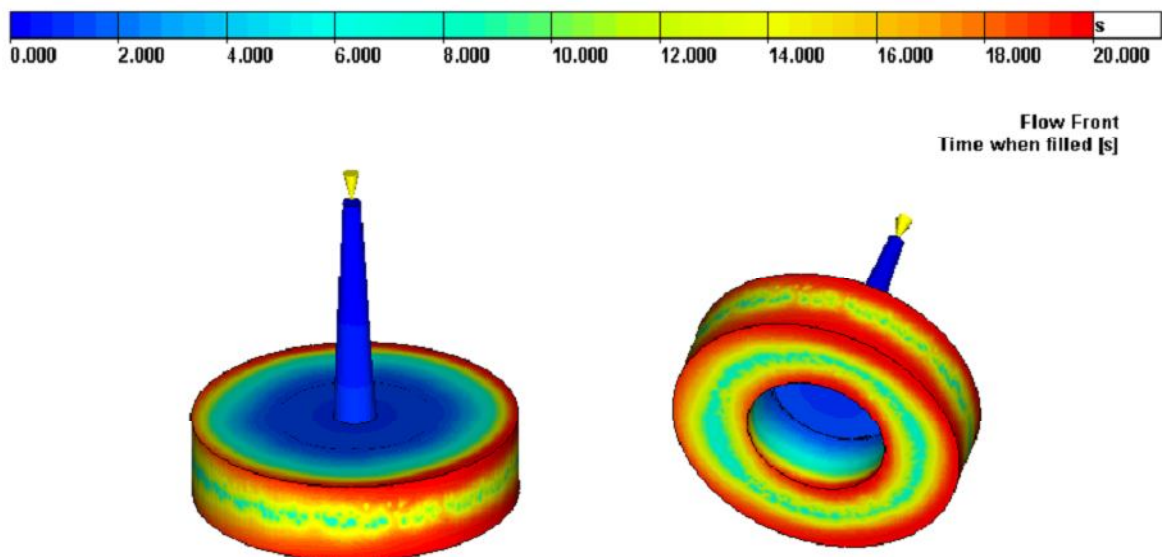
Analýza zobrazuje dobu plnění dutiny formy elastomerní směsí. Průběh doby plnění znázorňuje barevné spektrum. Doba plnění zkušebních tělísek a kroužku koresponduje s nastavenou dobou 20 sekund. Pouze u vstříkování desky, nastavená hodnota není dostačující a k vyplnění dutiny je potřeba 31 sekund.



Obr. 50. Čas plnění – zkušební tělíska



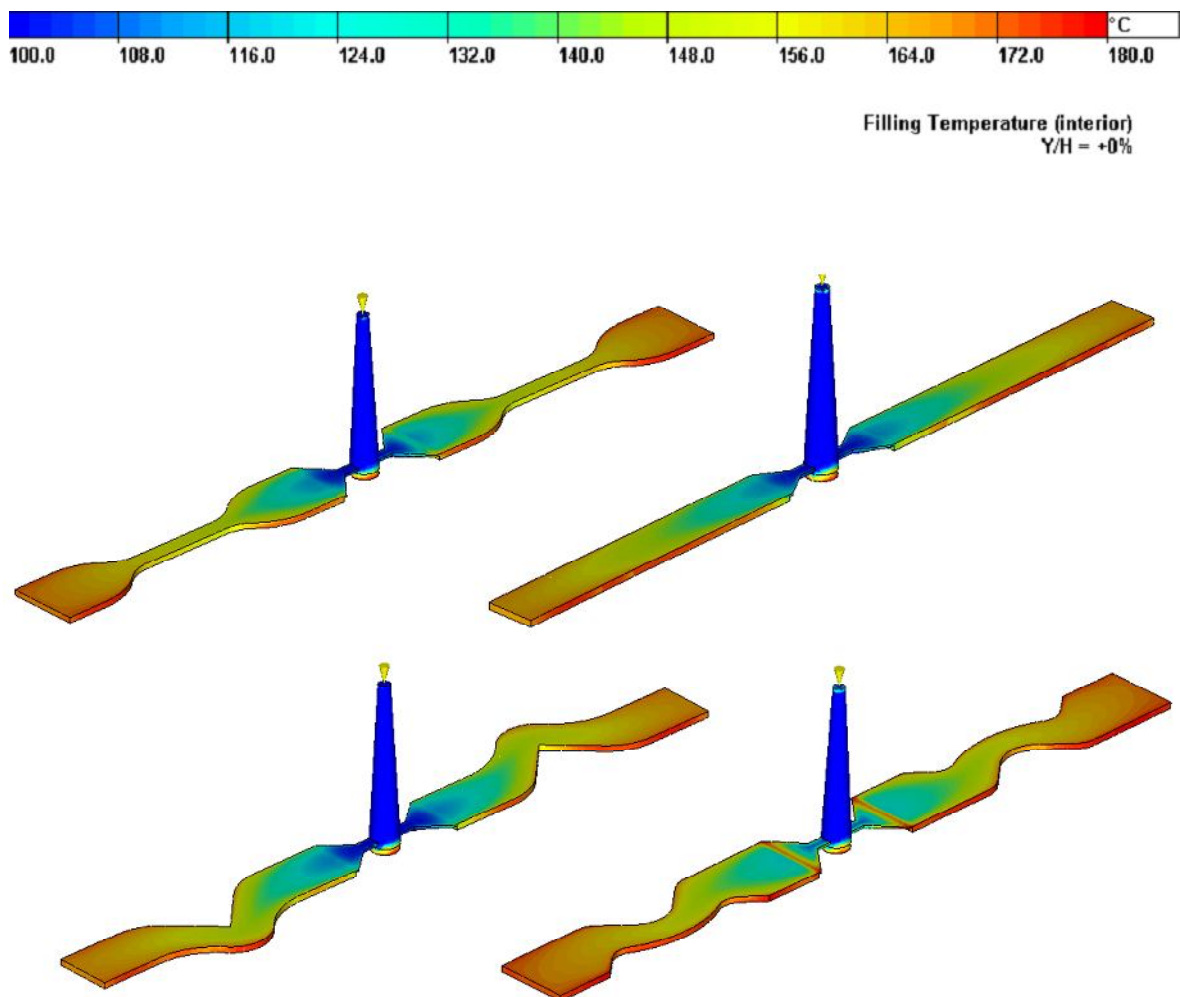
Obr. 51. Čas plnění - deska



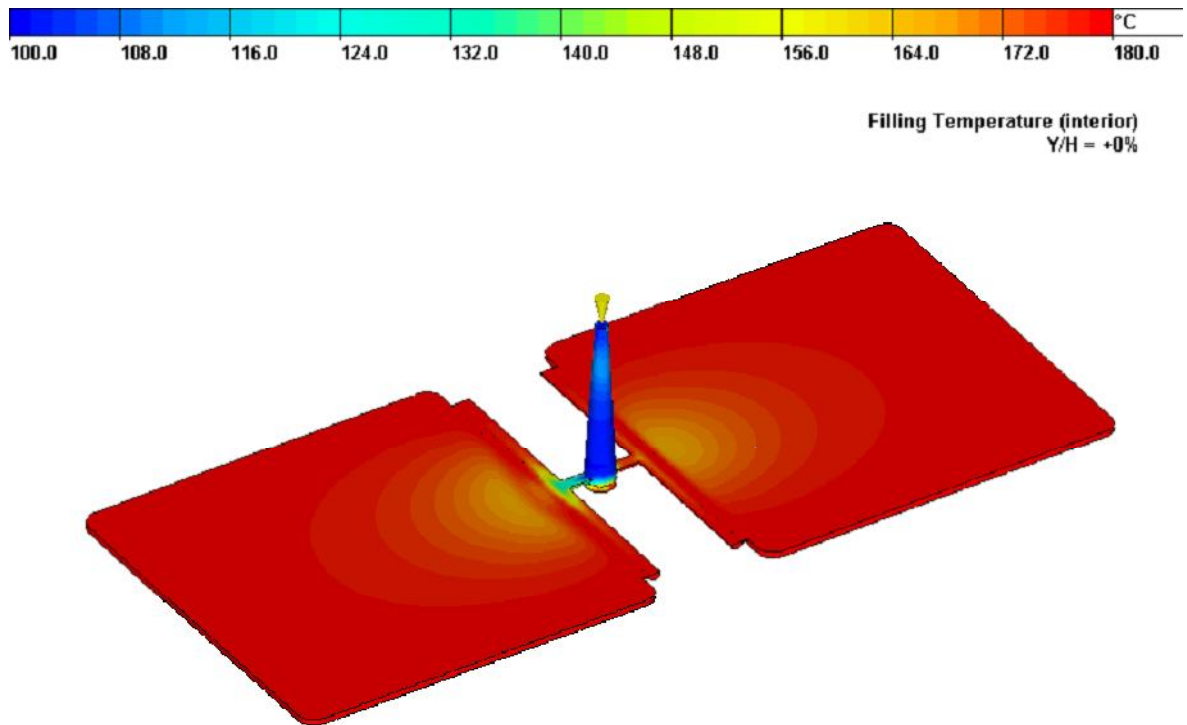
Obr. 52. Čas plnění – kroužek

### 11.2.2 Průběh teplotního pole

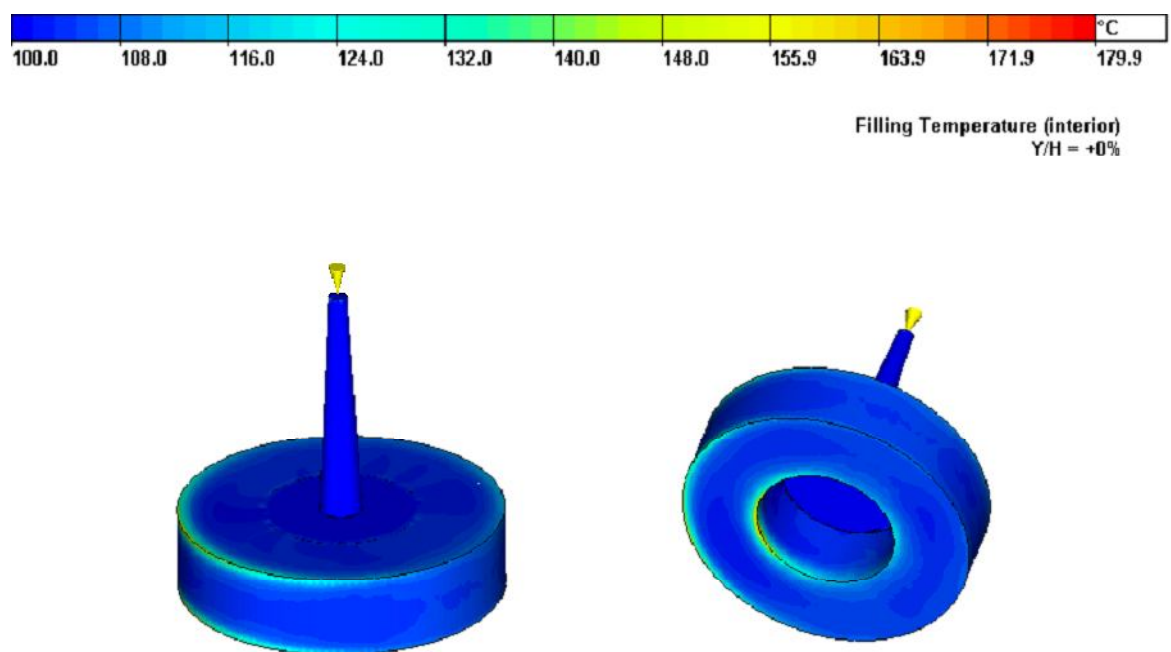
Na obrázku (Obr. 53) je zobrazena teplota ve výrobcích v čase 20 s (u desky 31 s), tedy v čase kdy končí plnění a nastává ohřev. Při nastavení výpočtu analýz byla tloušťka výrobku rozdělena do 21 vrstev. Jedna vrstva je střednicová, označena  $Y/H = +0\%$  a znázorňuje teplotní pole uprostřed výrobku. Naopak, vrstva označena  $Y/H = +50\%$  znázorňuje teplotní pole na povrchu výrobku. Lze si všimnout, že tenkostěnné výrobky na konci plnění v některých místech už dosahují vulkanizační teploty  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jsou mnohem dříve prohřáté, než je tomu u kruhového výrobku.



Obr. 53. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 20 s – zkušební tělíska

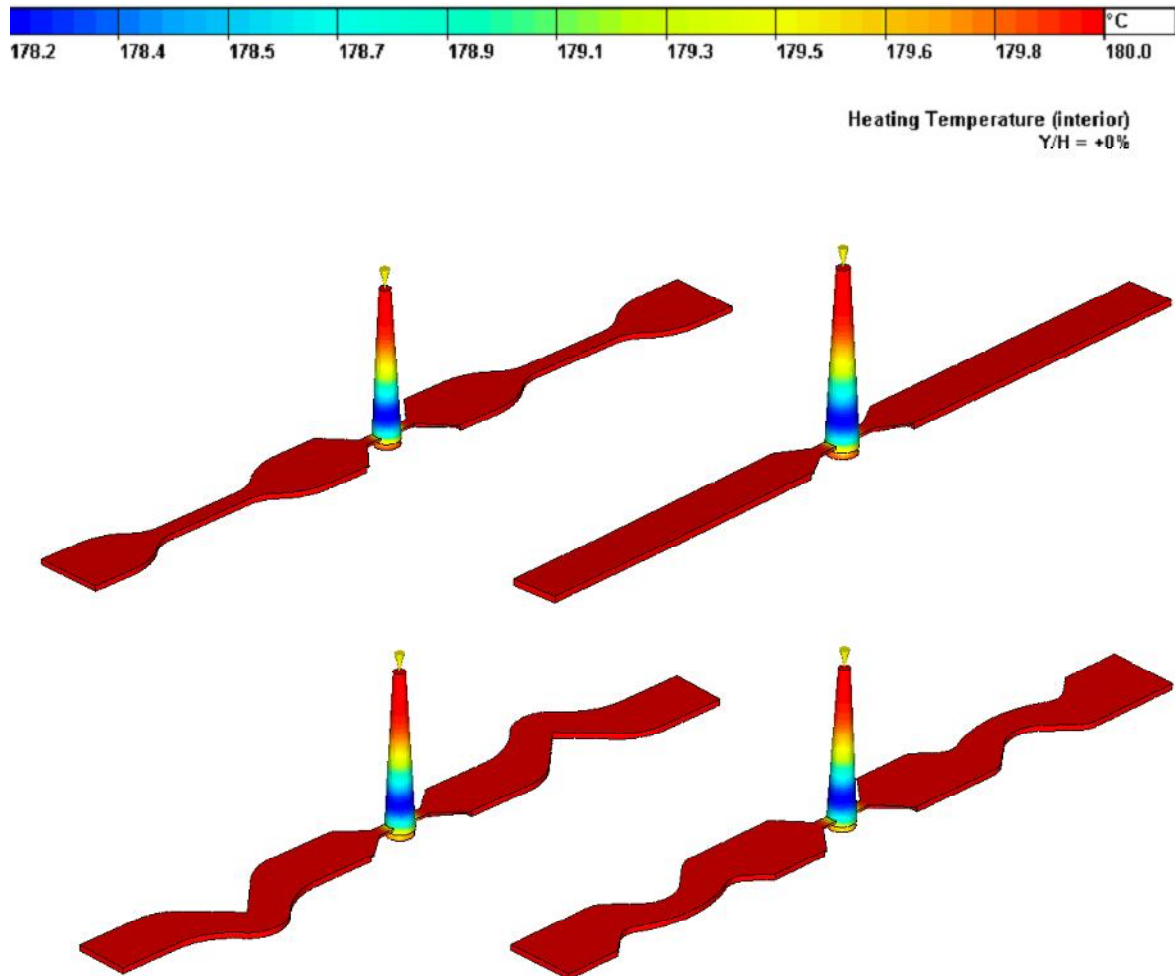


Obr. 54. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 31 s - deska



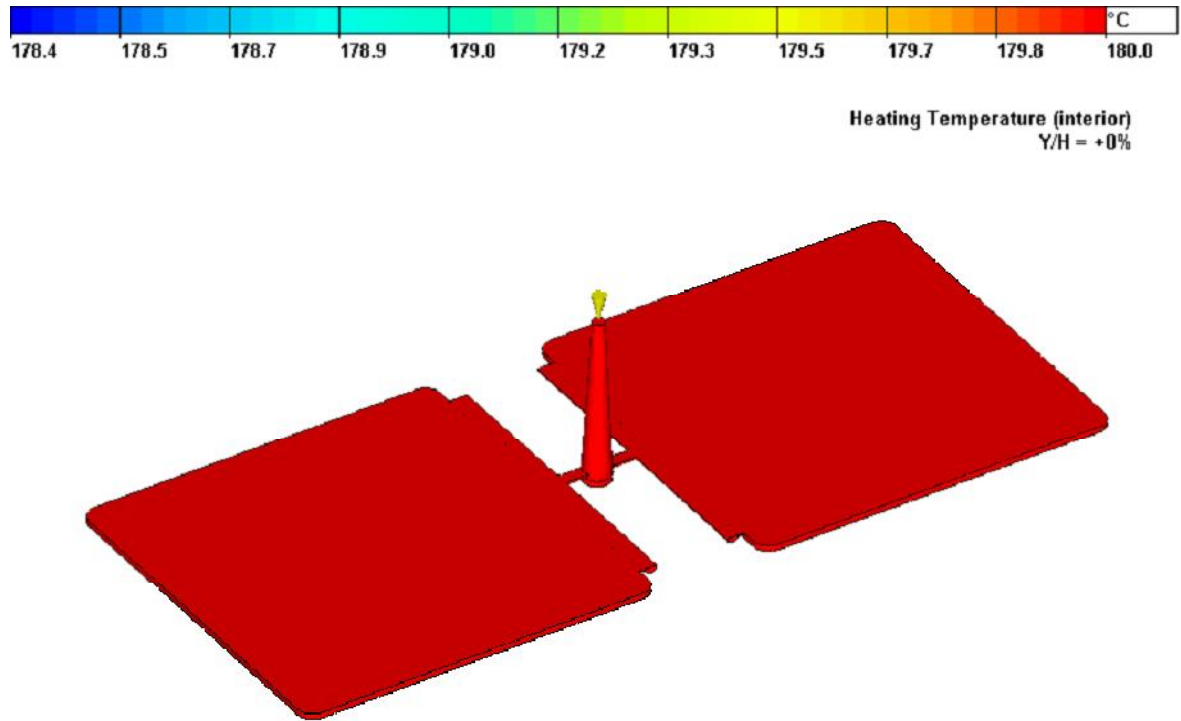
Obr. 55. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 20 s - kroužek

Na obrázku (Obr. 56) je zobrazena teplota ve výrobcích v čase 210 s (20 s – doba vstřikování, 190 s – doba vulkanizace), tedy v čase kdy dojde k otevření formy a následnému vyjmutí výrobku. Teplota je v celém výrobku ustálena na 180°C.

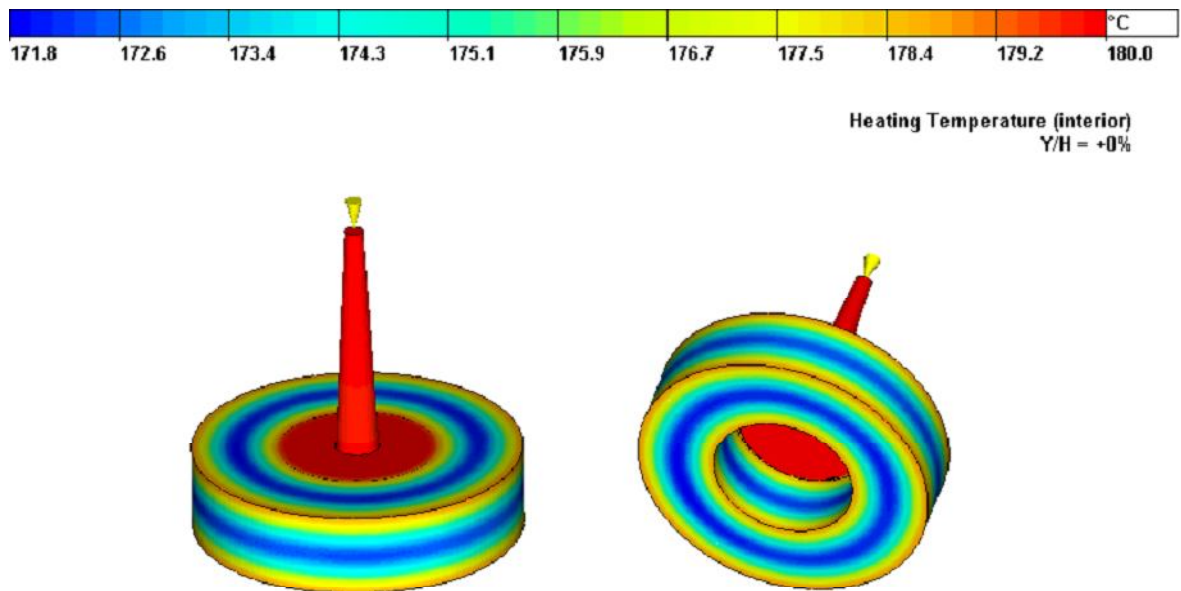


*Obr. 56. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 210 s – zkušební tělíska*

Na obrázku (Obr. 57) je zobrazena teplota v desce v čase 221 s (31 s – doba vstřikování, 190 s – doba vulkanizace), tedy v čase kdy dojde k otevření formy a následnému vyjmutí desky. Teplota celé desky činí 180°C. U kruhového výrobku byl zvolen delší čas ohřevu z důvodu větší tloušťky stěny, která se tak rychle neprohřeje na požadovanou teplotu. I při 280 s ohřevu jsou některá místa uvnitř kroužku o 8 °C chladnější, což bude mít za následek pomalejší průběh vulkanizace.



Obr. 57. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 221 s – deska



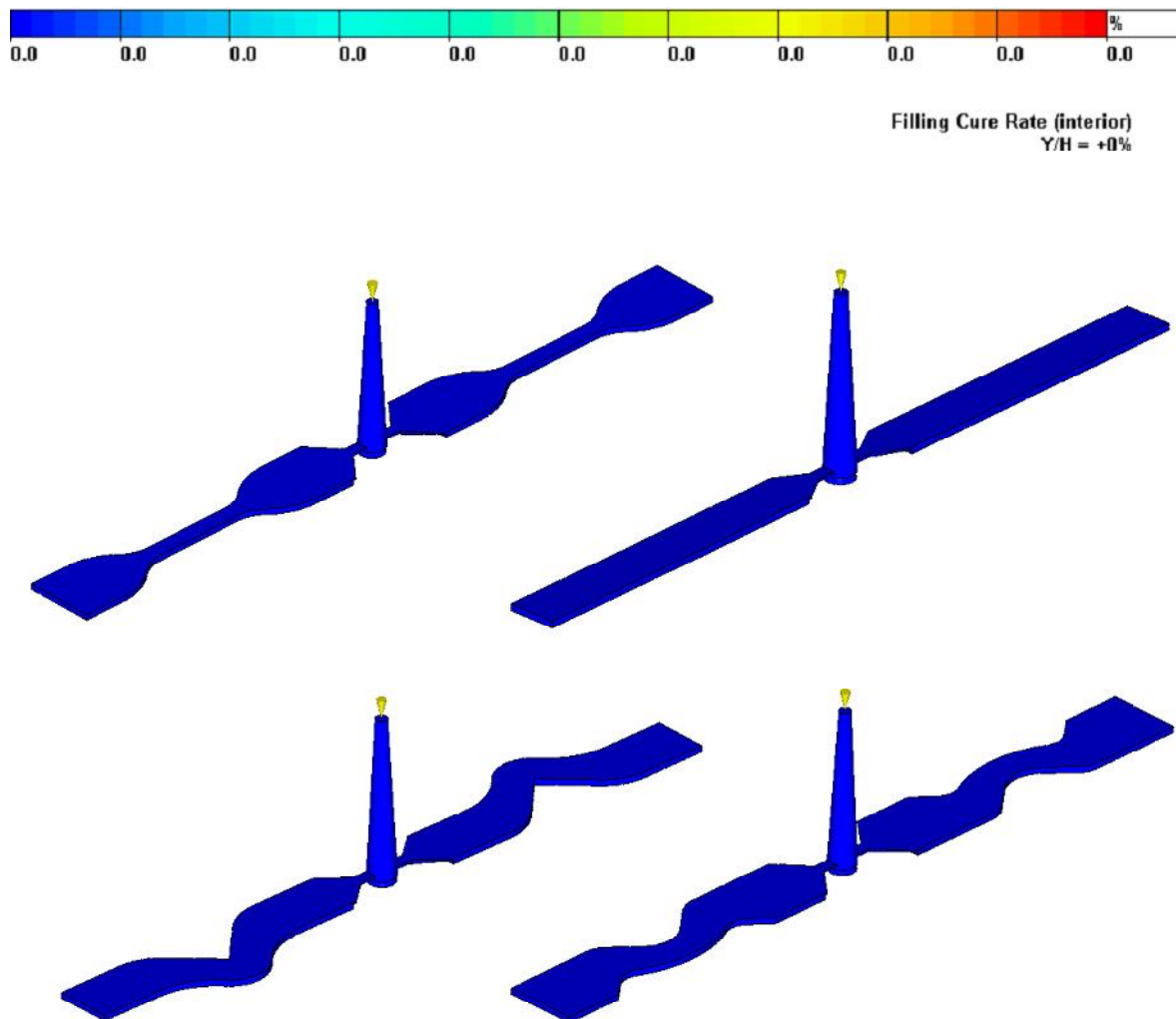
Obr. 58. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 300 s – kroužek



### 11.2.3 Průběh vulkanizace

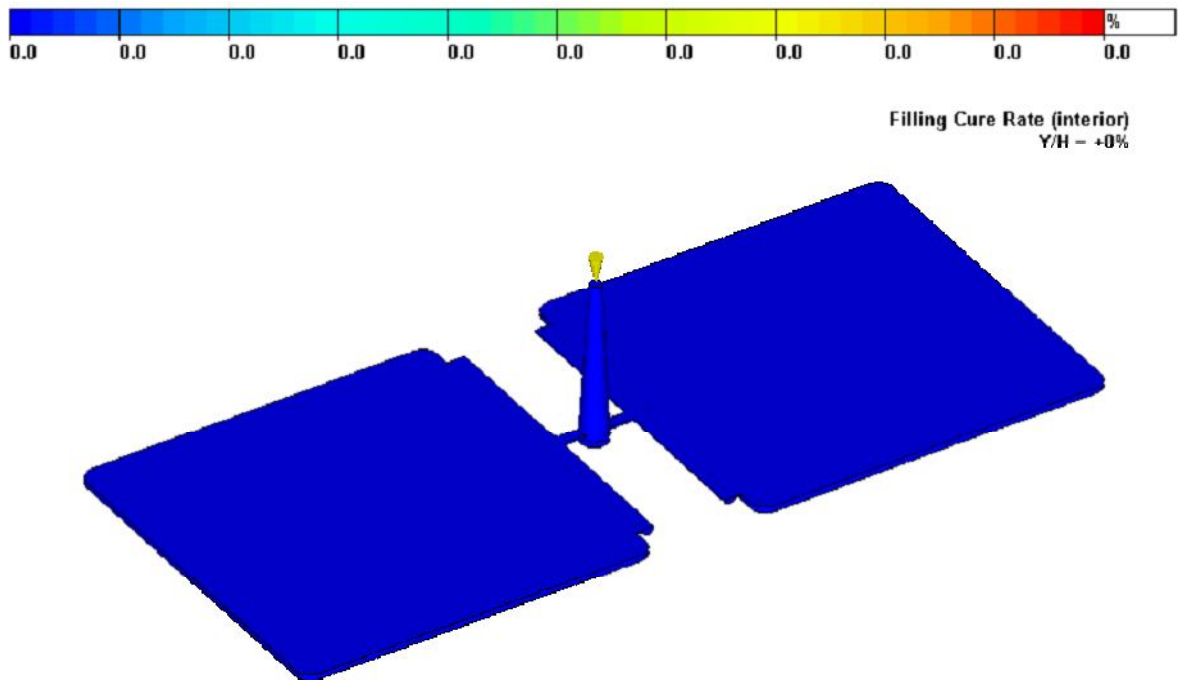
Následující analýzy ukazují dosažené procento vulkanizace výrobků v době jeho ohřevu. Důležitější jsou výsledky ze středních vrstev výrobků než z jejich povrchů. Ve střední vrstvě totiž dochází ke strukturálním změnám mnohem později než na samotném povrchu. Proto všechny následující výsledky zobrazují průběh vulkanizace ve středních vrstvách výrobků (Y/H = +0%).

První obrázek (Obr. 59) tohoto typu analýz zobrazuje procento vulkanizace v době 20 s. Jak lze vidět v tomto čase ještě vůbec nedochází k vulkanizaci uvnitř výrobků. Stejně tomu je tak i u desky (Obr. 60) a u kroužku. (Obr. 61).

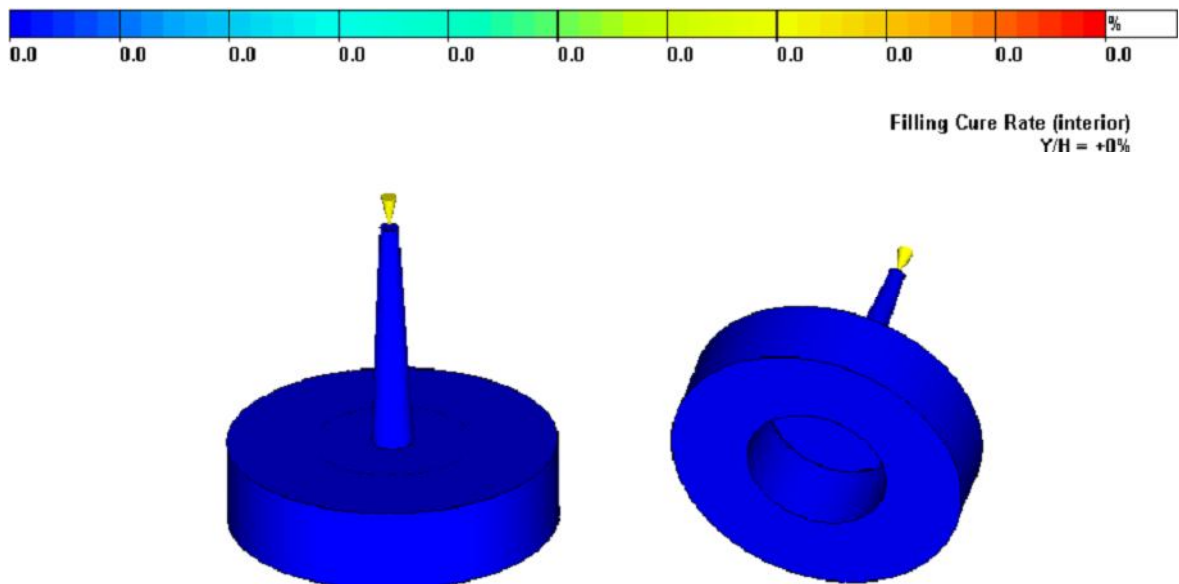


Obr. 59. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 20 s – zkušební tělíska



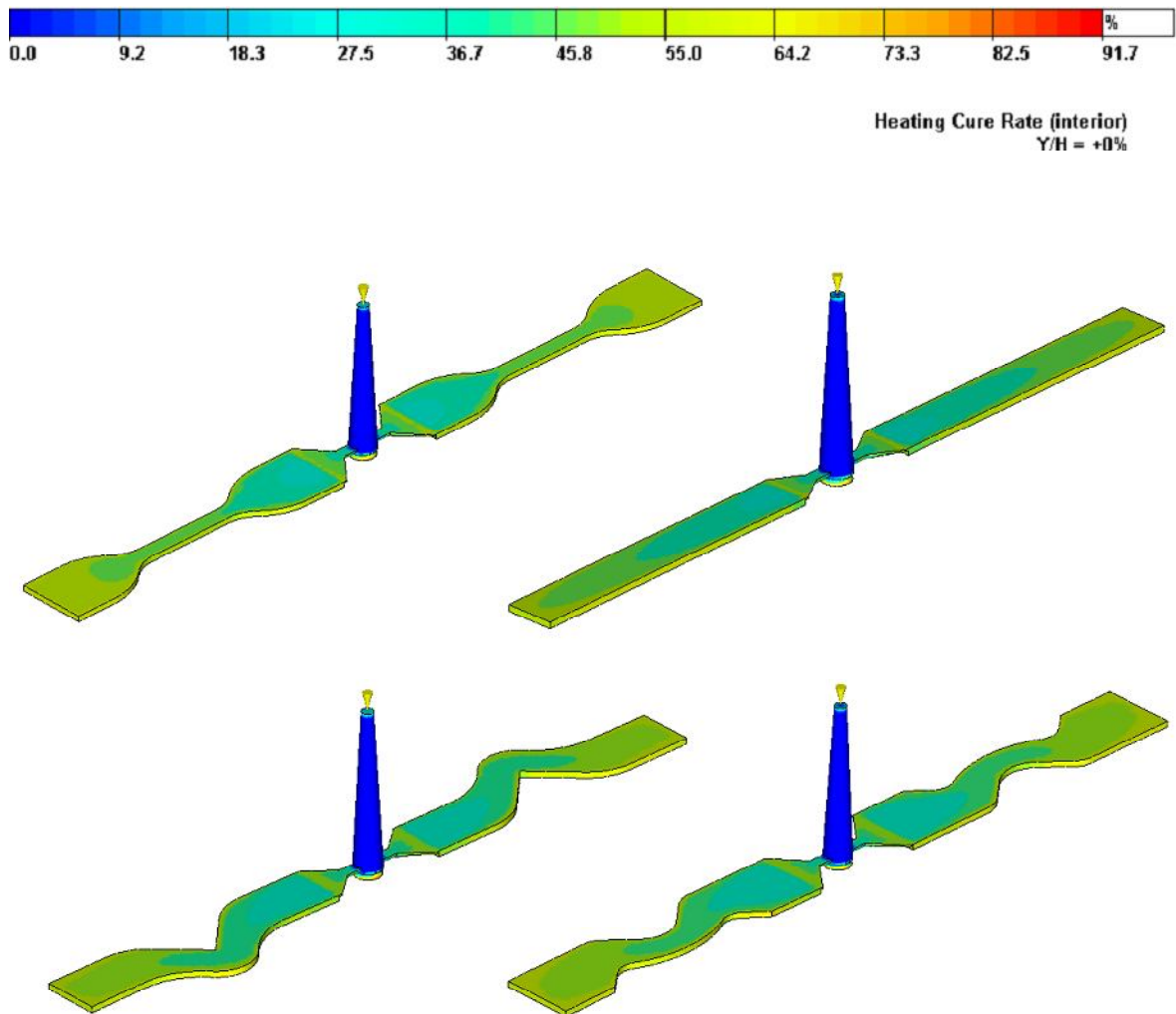


Obr. 60. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 31 s – deska

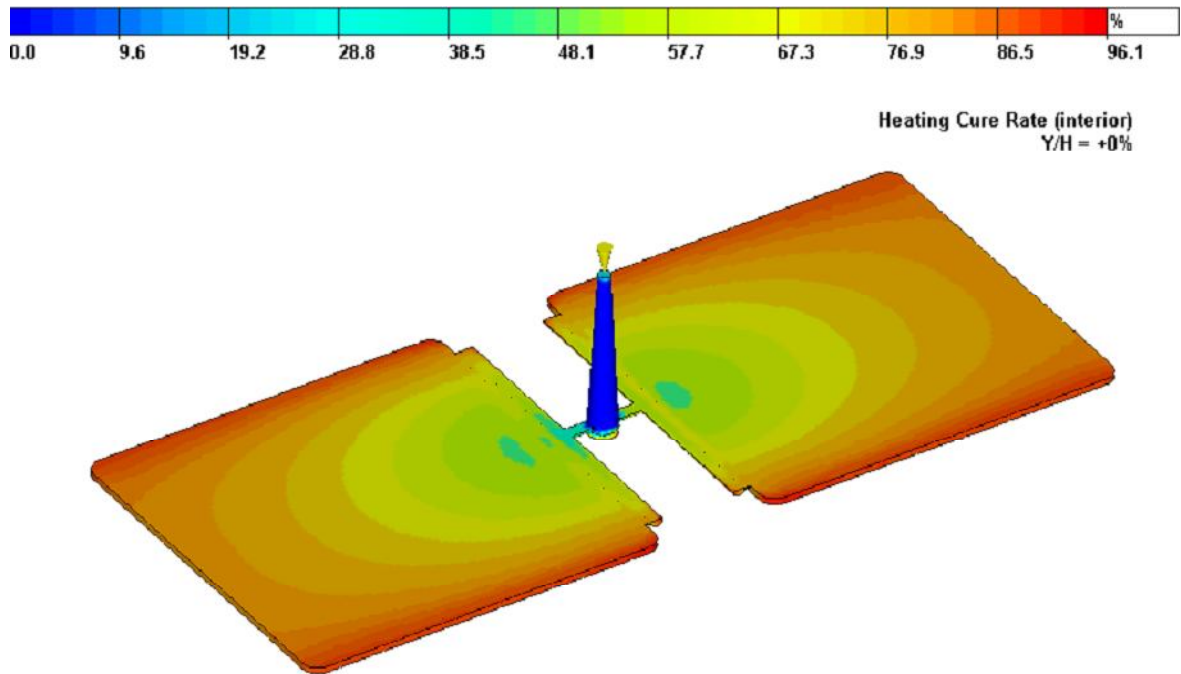


Obr. 61. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 20 s - kroužek

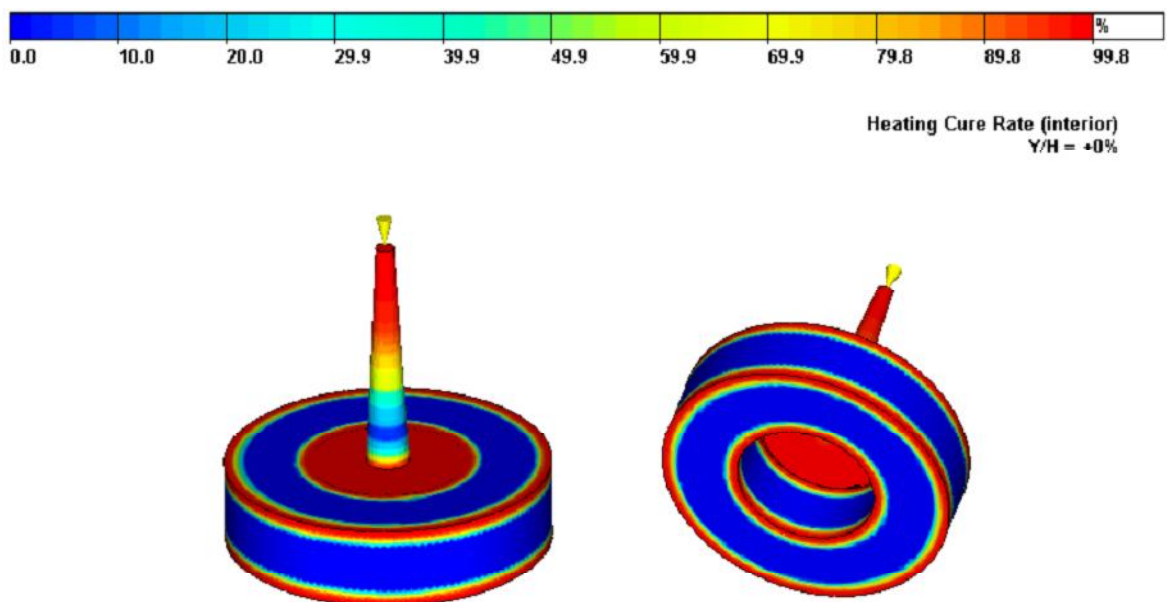
Další obrázek (Obr. 62) zobrazuje procento vulkanizace v době 80 s. V tomto čase už dochází uvnitř výrobků k vulkanizaci, která v průměru dosahuje 45%. U desky v čase 90 s vulkanizace v průměru dosahuje 75%, zatímco v rozích a v hranách desky už proběhlo více než 90%. Uvnitř kroužku v čase 150 s ještě nedochází ke strukturálním změnám, zatímco v rozích a v membránovém vtoku už proběhlo přes 95%.



Obr. 62. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 80 s – zkušební tělíska



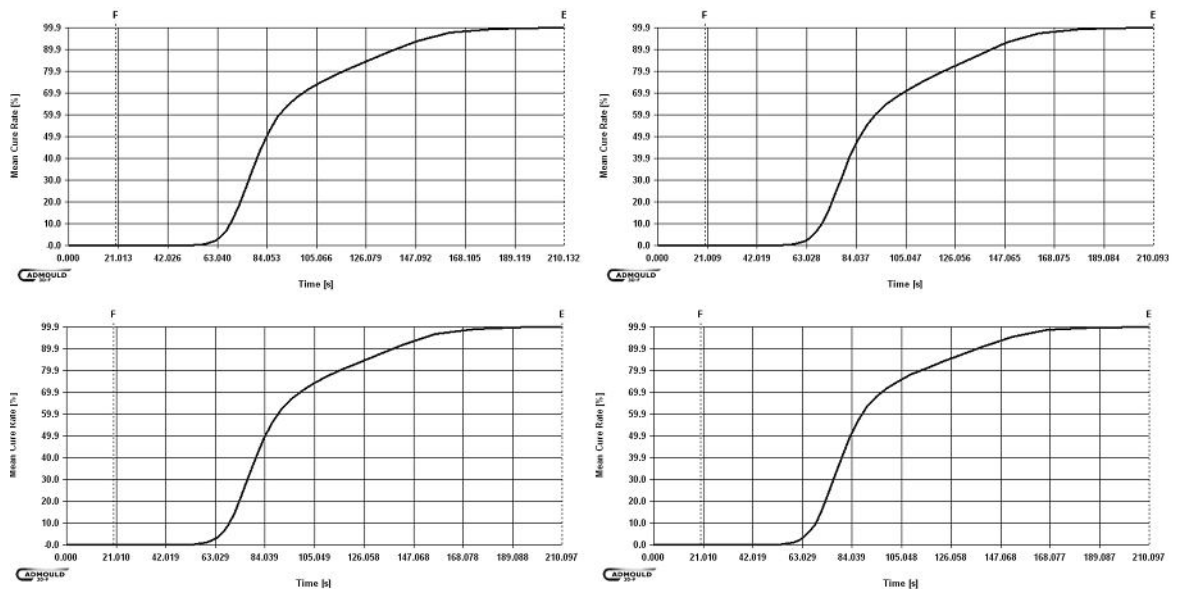
Obr. 63. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 90 s - deska



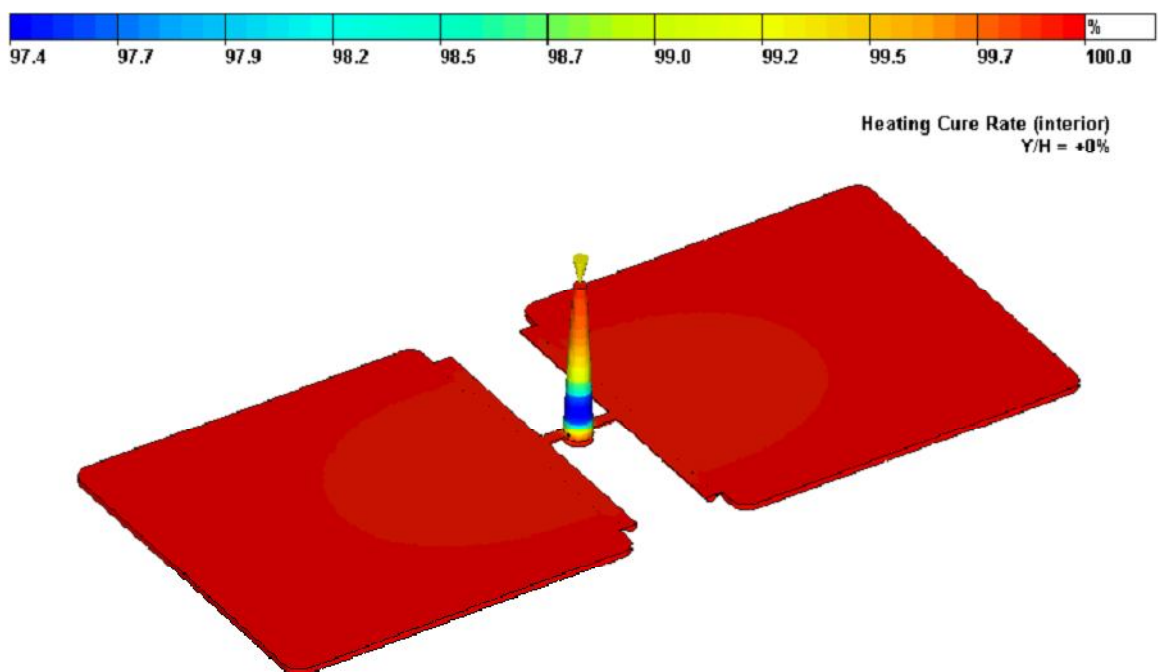
Obr. 64. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 150 s - kroužek

Vzhledem k rozměrům a podobným tvarům zkušebních tělísek je průběh vulkanizace téměř stejný. To potvrzuje grafické znázornění (Obr. 65), kde jsou křivky

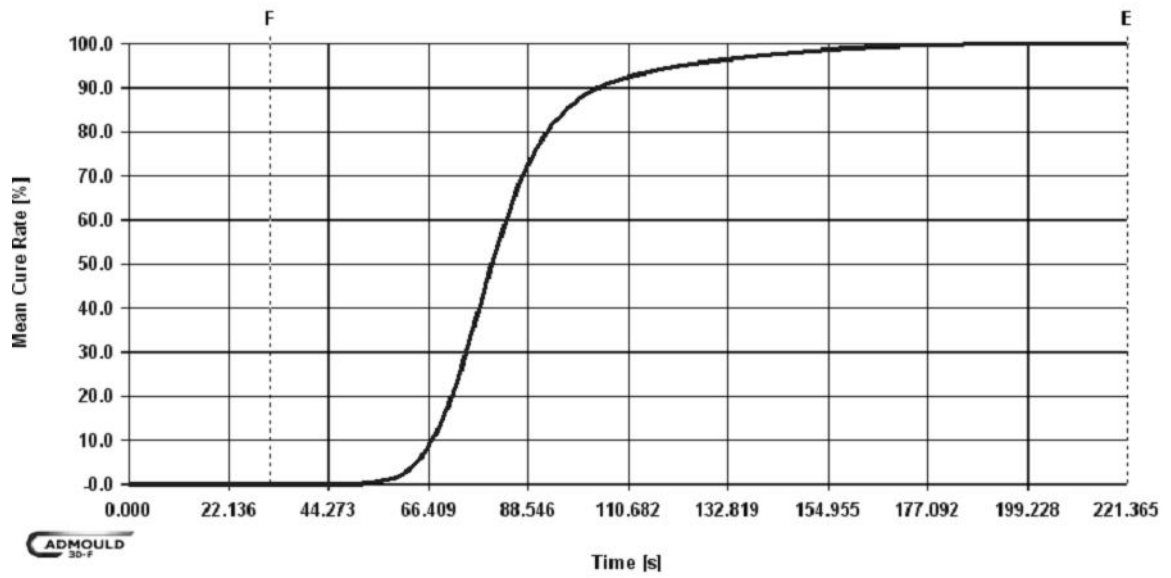
průběhu vulkanizace téměř totožné. Díky 2 mm tloušťce, prvních 50% vulkanizace probíhá velmi rychle, to lze vidět i ze strmosti křivek. Podobný je i průběh vulkanizace desky (Obr. 66). Kdežto u kroužku, díky větší masě materiálu, vulkanizace probíhá pomaleji (Obr. 67). V čase 300 s (v čase otevření formy) proběhlo více než 98% strukturních změn (Obr. 68).



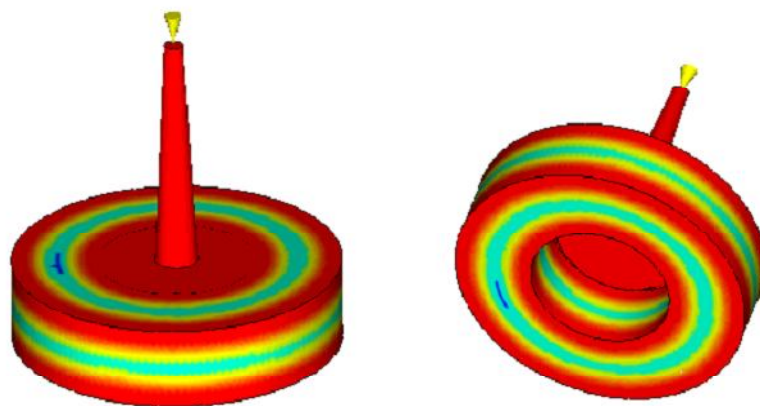
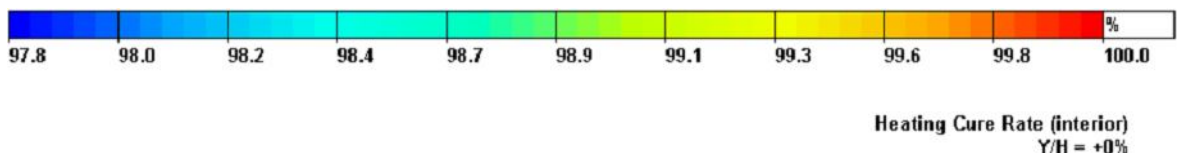
Obr. 65. Grafické znázornění průběhu vulkanizace – zkušební tělíska



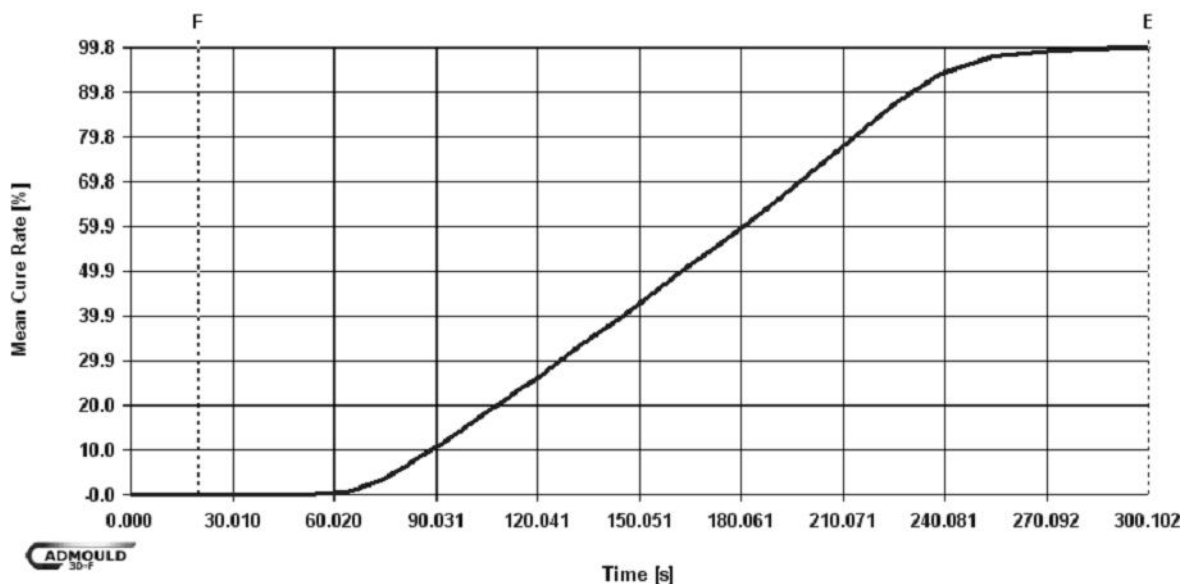
Obr. 66. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 221 s – deska



Obr. 67. Grafické znázornění průběhu vulkanizace - deska



Obr. 68. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 300 s - kroužek

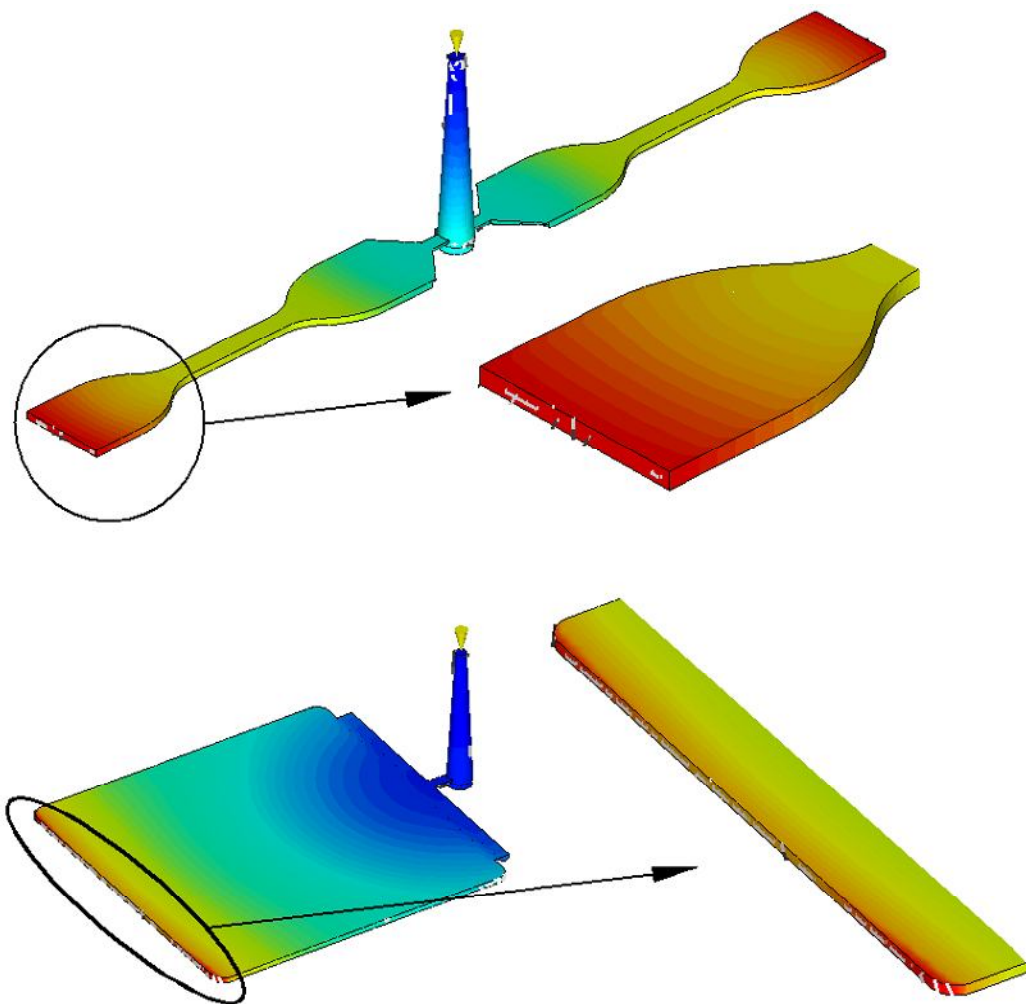


Obr. 69. Grafické znázornění průběhu vulkanizace - kroužek

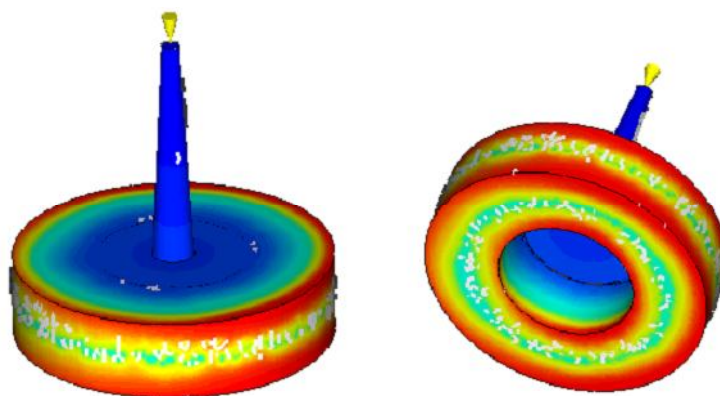
Jednotlivé časy ohřevů byly nastaveny tak, aby v každém výrobku proběhlo více jak 95% všech strukturních změn. Syntetický kaučuk NBR má dlouhé vulkanizační platá a není tak náchylný k delšímu setrvání na vulkanizační teplotě. Navíc vstříkovanými výrobky jsou zkušební tělíska, které by měly být co nejkvalitnější.

#### 11.2.4 Studené spoje

Analýza ukazuje místa potencionálního výskytu studených spojů na výrobku. Studeným spojem je myšleno místo, kde se setkávají dvě čela taveniny s vyšším stupněm vulkanizace. Studený spoj je pohledovou i mechanickou chybou. Studené spoje lze eliminovat vhodným umístěním vtoku, konstrukcí výrobku či změnou technologických podmínek. U zkušebních tělísek se většina studených spojů nachází buď ve vtokovém kanálu, nebo na jedné z čelních hran. (Obr. 70). V obou případech neovlivňují mechanické vlastnosti zkušebních vzorků. U kroužku se studené spoje vyskytují po obvodu, v místech, kde se při plnění setkávají čela tavenin v různých časech (Obr. 71).



*Obr. 70 Studené spoje – zkušební tělíska a deska*

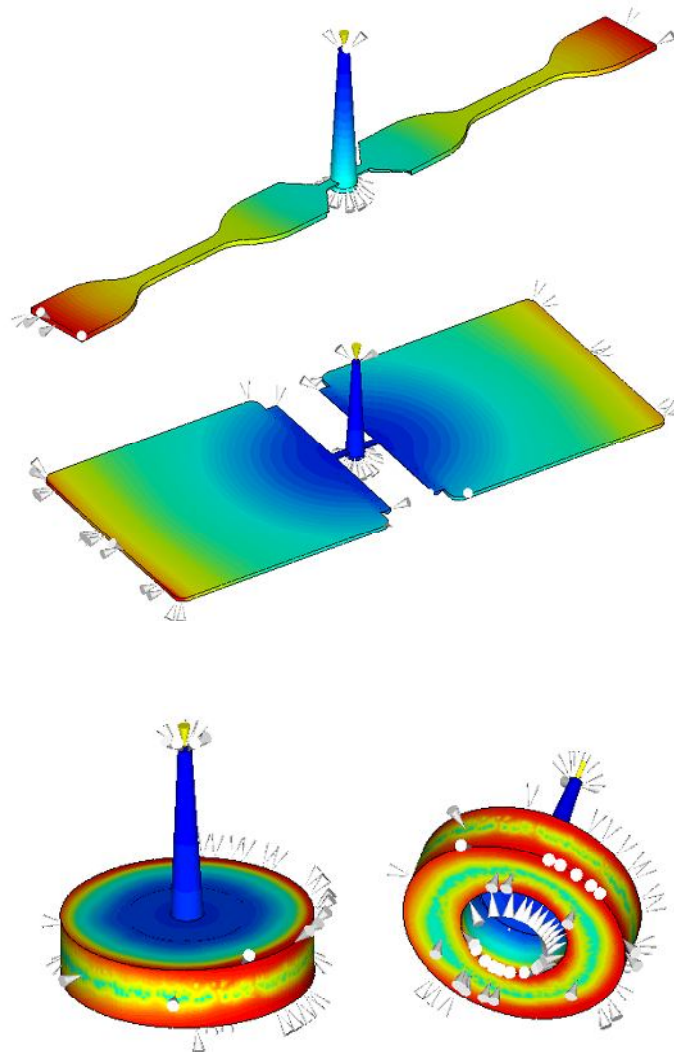


*Obr. 71 Studené spoje – kroužek*



### 11.2.5 Vzduchové kapsy

Analýza zobrazuje místa, ve kterých se v dutině formy pravděpodobně bude uzavírat vzduch. Tyto místa jsou označena bílými kužely. Vzduch je v dutině formy při vyplňování tlačěn před taveninou, až je postupně uzavřen. Buď mezi dvě čela proudů taveniny, nebo tam, kde tavenina končí svůj tok. Tyto místa se ve výrobku často vyskytují naproti vtoku. Výjimkou nejsou ani vstříkované zkušební tělíska, zde se vzduchové kapsy vyskytují na jedné z čelních hran, naproti vtoku (Obr. 72). U kroužku se vzduch uzavírá v obvodových hranách. Jak už bylo zmíněno, tvarové desky jsou v místech možného výskytu vzduchových kapes opatřeny přetokovou drážkou, kudy vzduch unikne.



Obr. 72 Vzduchové kapsy



## 12 ANALÝZA MECHANICKÉHO CHOVÁNÍ TVAROVÝCH DESEK

Styčné plochy jednotlivých dílů formy jsou zatíženy uzavírací silou vstřikovacího stroje. Díly v dutině formy (tvarové vložky) a jejich povrch zase vstřikovacím tlakem. Na silně exponovaných místech vznikne v materiálu napětí, které může přestoupit jeho dovolenou mez. Takovými místy bývá dělicí rovina, dosedací plochy rozpěrek, styčné plochy vyhazovačů apod. Tyto součásti je vhodné zkontrolovat na otláčení a ohyb.

Mechanické analýze byly podrobeny vybrané tvarové desky formy. Pro tvarové desky byl zvolen materiál 1.2343 (ekvivalent dle ČSN 19 552). Tvrdost daného materiálu je 52 ÷ 54 HRC a pevnost v zakaleném stavu 1600 MPa.

Pro díly namáhané vstřikovacím tlakem platí vztah:

$$\sigma_O = \frac{p_v}{S_0} \leq \sigma_{O_{dov.}} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

$\sigma_O$  .... zjištěné namáhání na otláčení (MPa)

$\sigma_{dov}$  ... dovolené namáhání na otláčení (MPa)

$p_v$  ..... maximální vstřikovací tlak (MPa)

$S_0$  ..... plocha tvarové dutiny ( $\text{mm}^2$ )

Materiálové parametry:

- modul pružnosti při teplotě 180°C:  $E = 1,98 \cdot 10^5$  MPa,
- poissonova konstanta:  $\nu = 0,285$ ,
- dovolené napětí v tlaku pro míjivém zatížení:  $\sigma_{dov} = 520$  MPa,

Hodnoty maximálních dosažených vstřikovacích tlaků:

*Tab. 8. Hodnoty max. dosažených tlaků v jednotlivých dutinách*

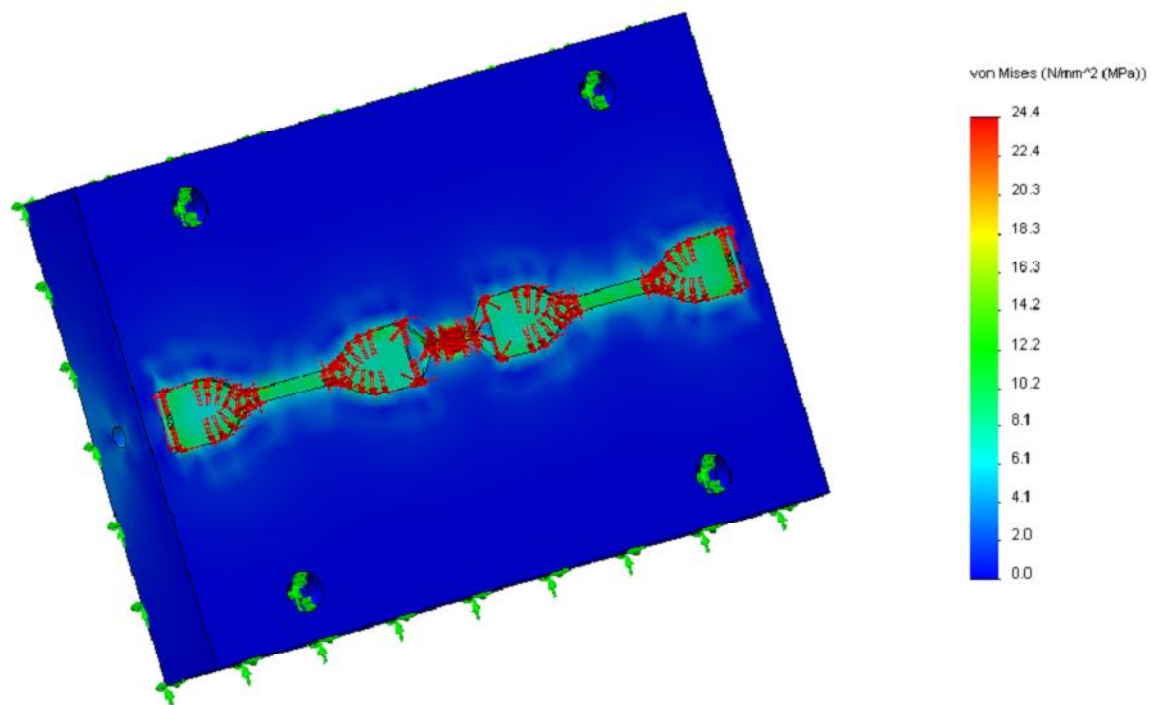
	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
Tvarová dutina oboustranné lopatky	MPa	12,35
Tvarová dutina tělíska trouser	MPa	10,12
Tvarová dutina tělíska graves	MPa	10,87
Tvarová dutina tělíska crescent	MPa	11,28
Tvarová dutina desky	MPa	14,37
Tvárnice dutina kroužku	MPa	6,70

## **12.1 Výsledky mechanické analýzy tvarový desek**

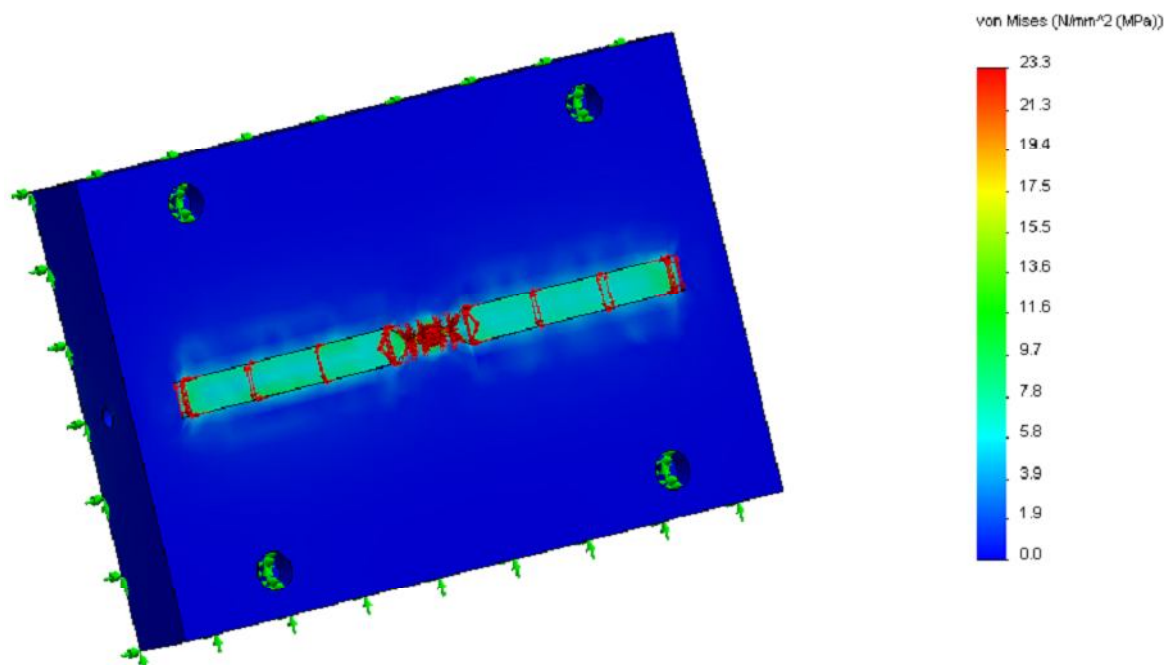
Do programu SolidWorks byly vloženy modely tvarových vložek ve formátu stp. V modulu Simulation Xpress byl dále zvolen materiál, určeno uložení a tlakové zatížení. Nakonec byl proveden výpočet. Zde jsou uvedeny výsledky jednotlivých tvarových desek.

### **12.1.1 Velikost maximálního napětí**

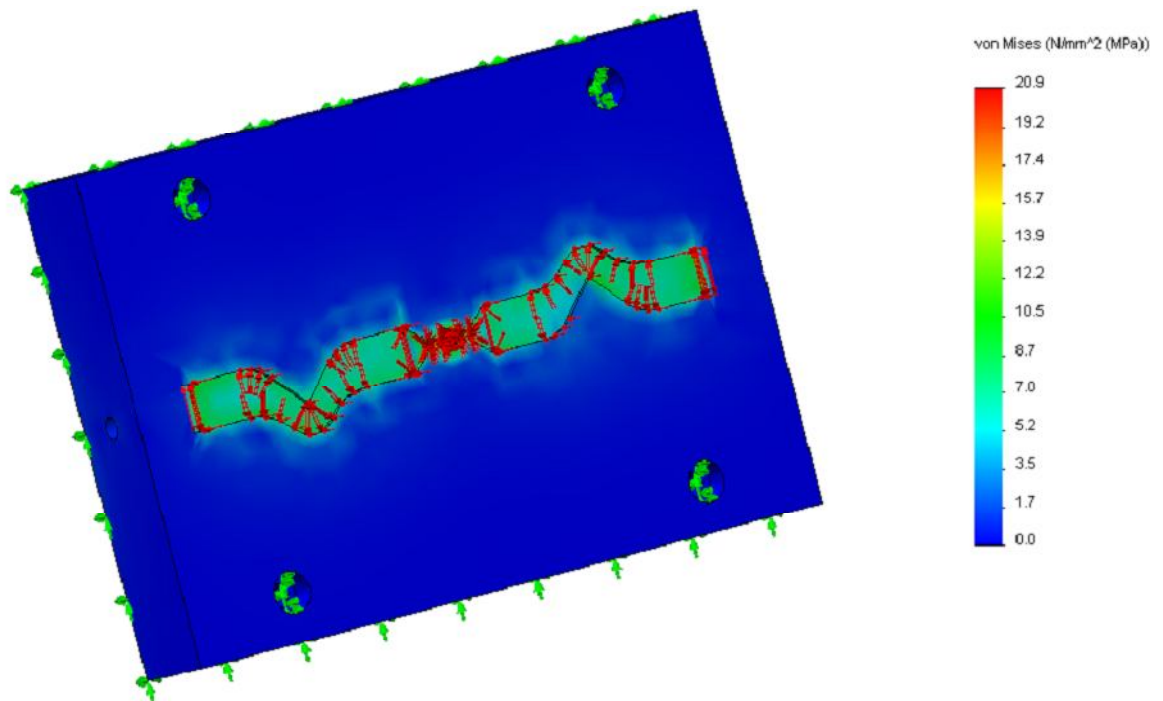
Uložení tvarové desky znázorňují zelené šipky a působení tlaku v dutině znázorňují červené šipky (Obr. 73 až 79).



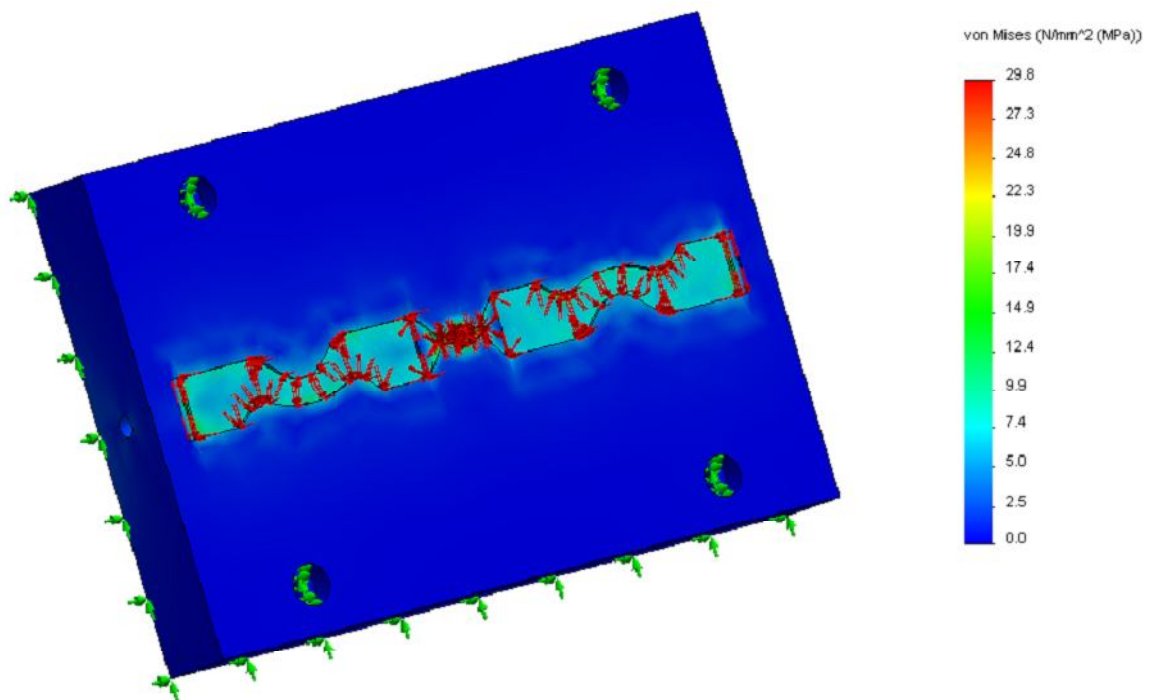
Obr. 73. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce oboustranné lopatky



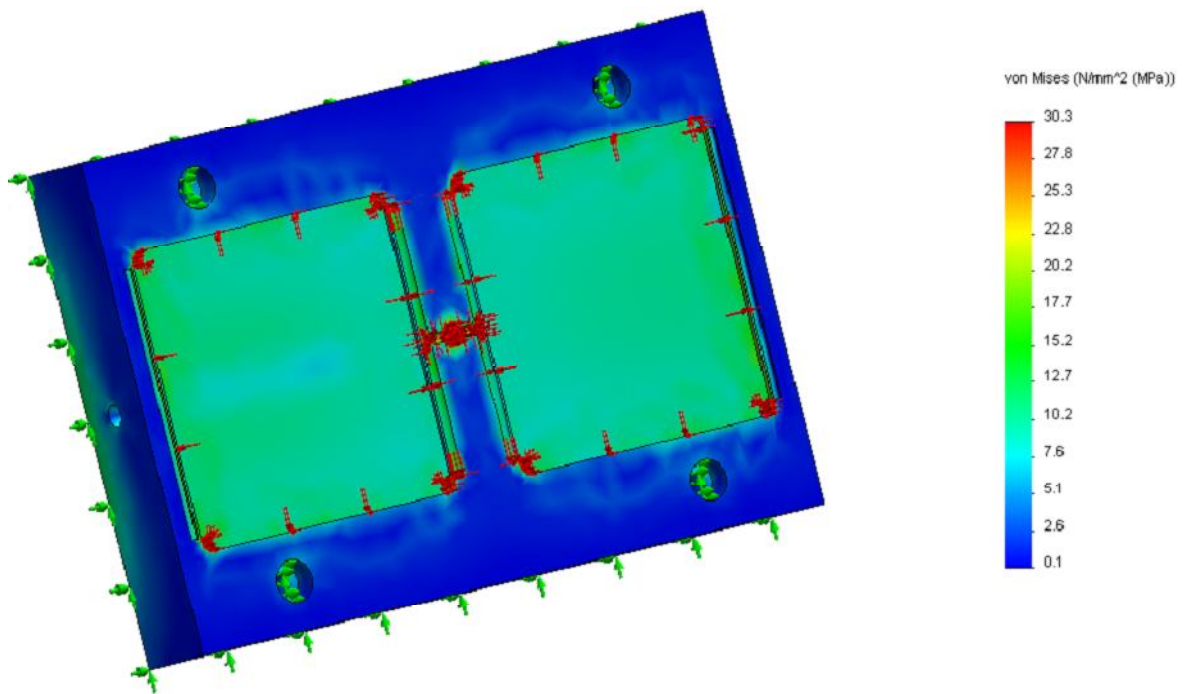
Obr. 74. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce tělíska trouser



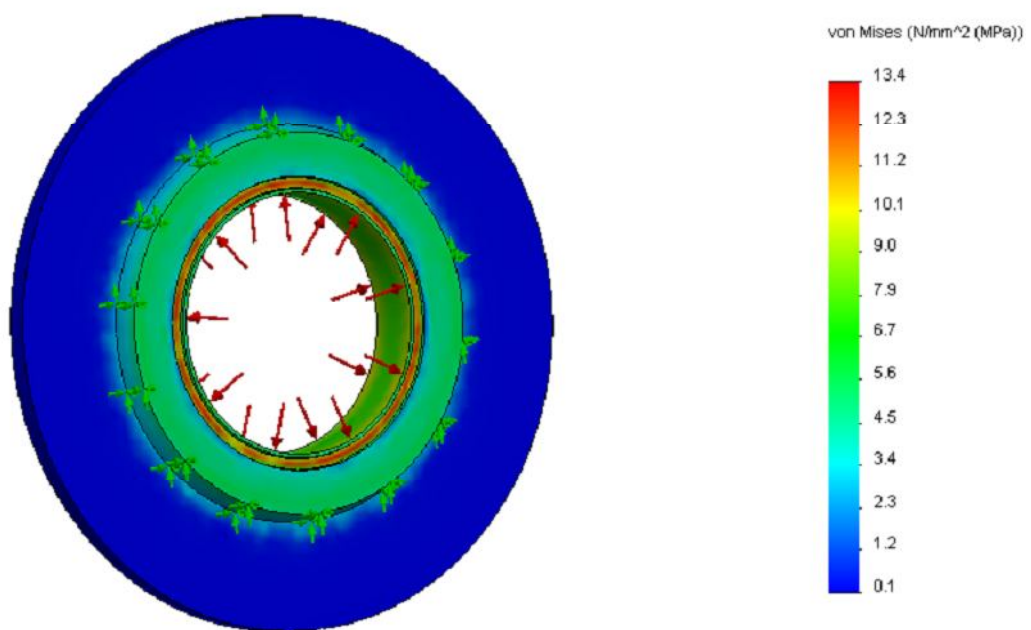
Obr. 75. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce tělíska graves



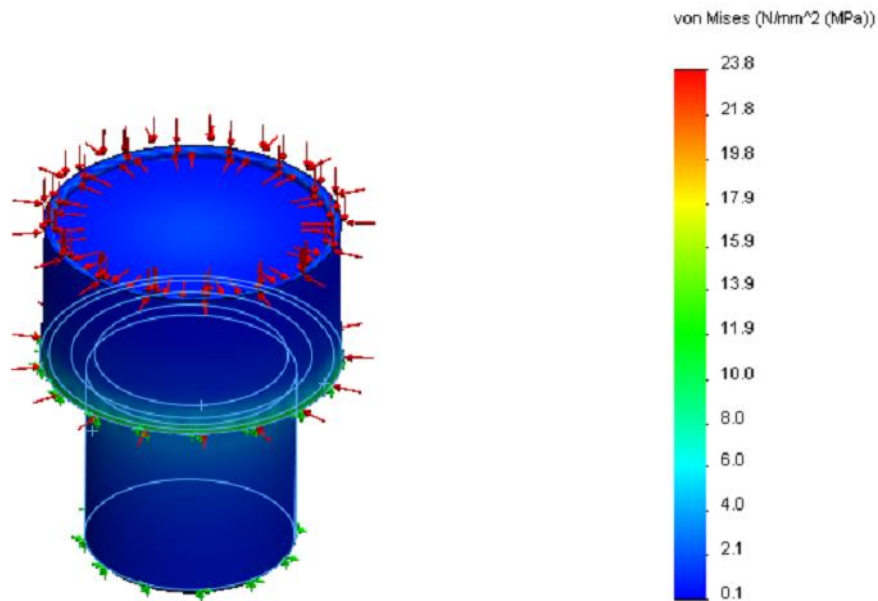
Obr. 76. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce těliska crescent



Obr. 77. Von Misesovo napětí vznikající v prostřední tvarové desce desky



Obr. 78. Von Misesovo napětí vznikající v tvárnici kroužku



Obr. 79. Von Misesovo napětí vznikající v trnu kroužku

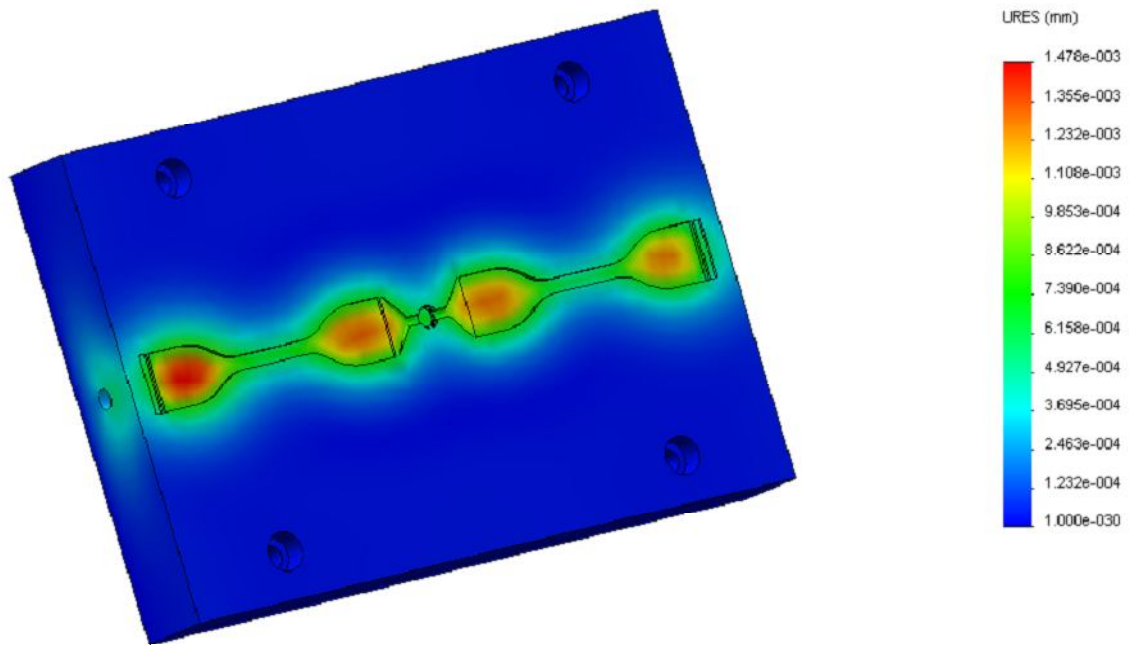
Hodnoty jednotlivých vznikajících napětí ukazuje následující tabulka (Tab. 8).

Tab. 9. Von Misesovo napětí

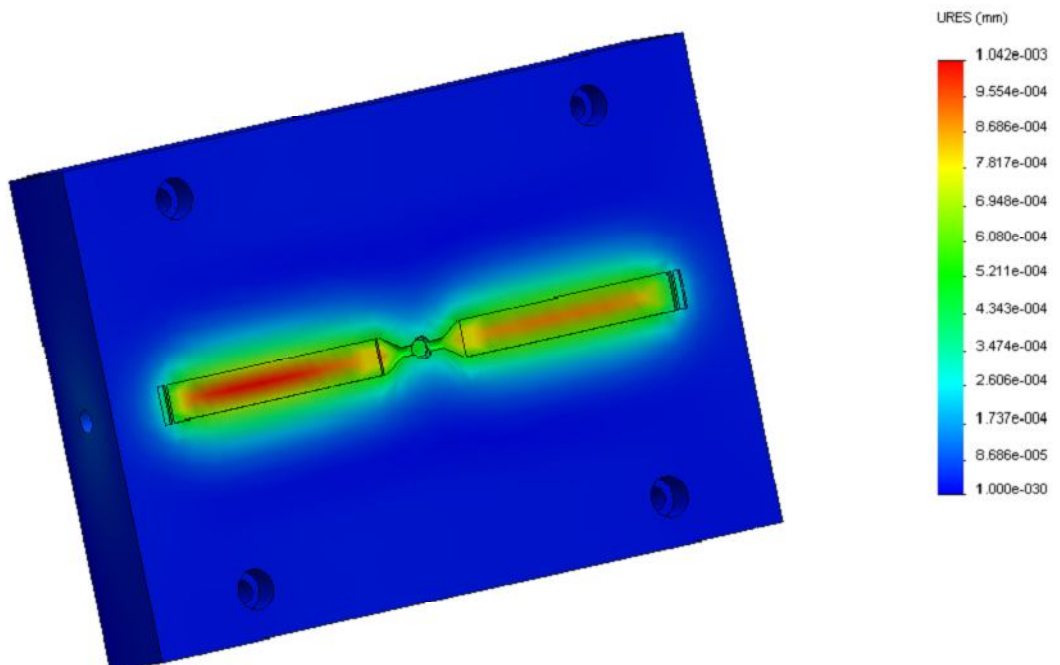
	Jednotka	Hodnota
Tvarová deska oboustranné lopatky	MPa	24,4
Tvarová deska tělíska trouser	MPa	23,3
Tvarová deska tělíska graves	MPa	20,9
Tvarová deska tělíska crescent	MPa	29,8
Tvarová deska desky	MPa	30,4
Tvárnice kroužku	MPa	13,4
Tvárník kroužku	MPa	23,8

Maximální hodnoty von Misesova napětí ve všech tvarových deskách nepřekračují dovolenou mez, podmínka  $\sigma_o \leq \sigma_{O_{dov.}}$  je tedy splněna.

## 12.1.2 Maximální průhyb vlivem deformace

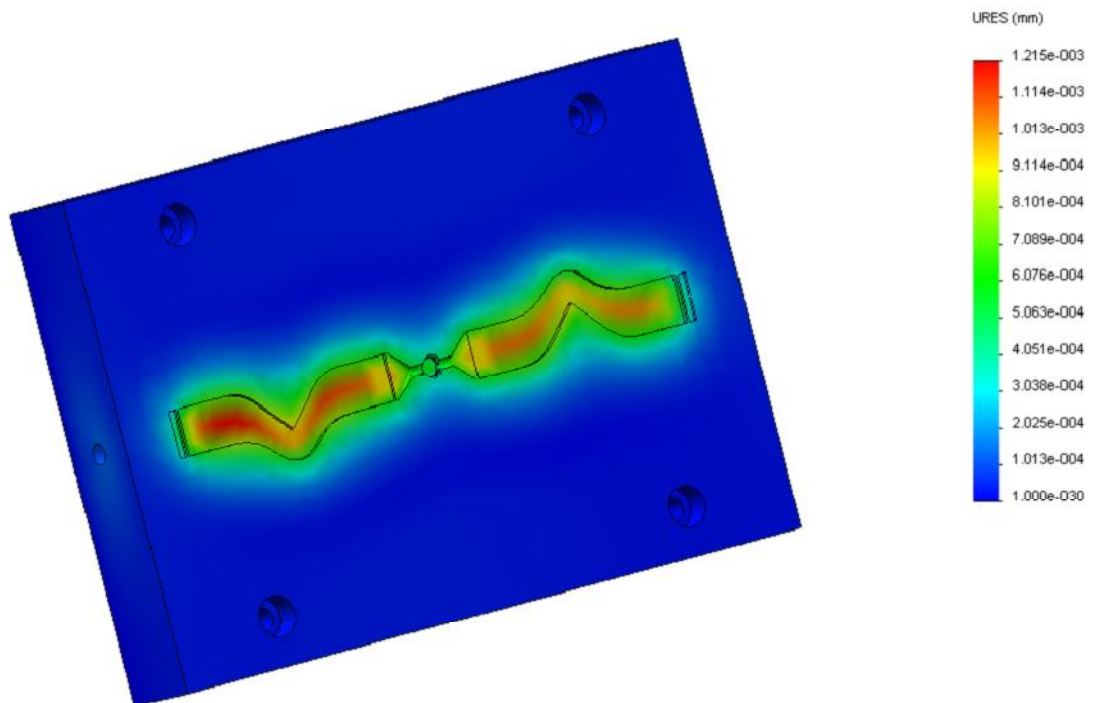


Obr. 80. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce oboustranné lopatky

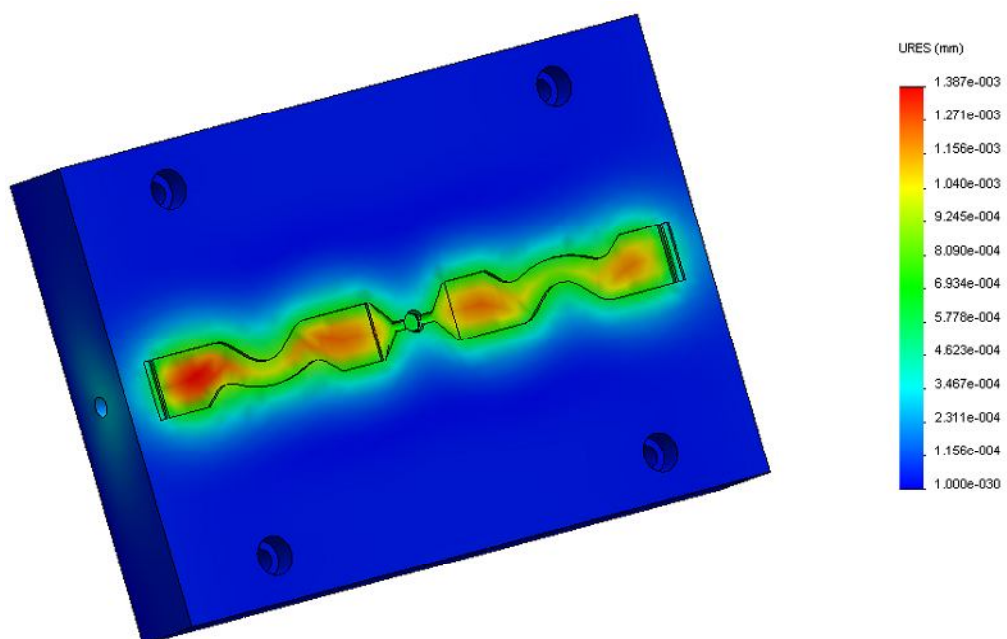


Obr. 81. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce tělíska trouser



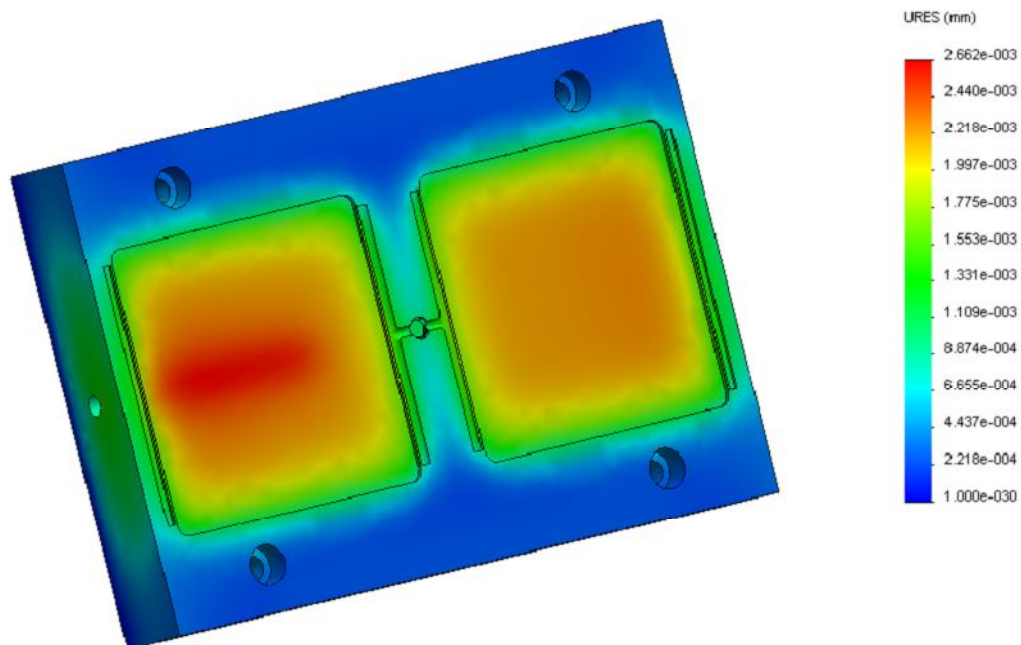


Obr. 82. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce tělíska graves

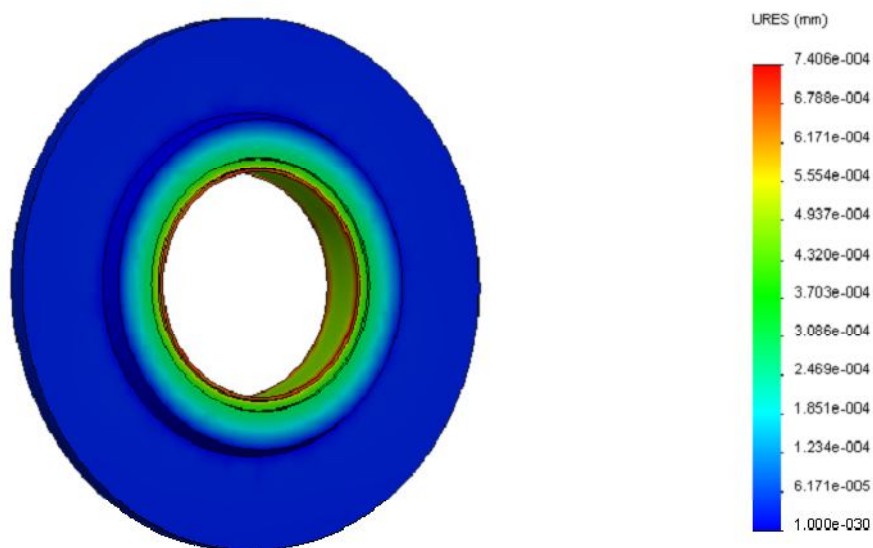


Obr. 83. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce tělíska crescent

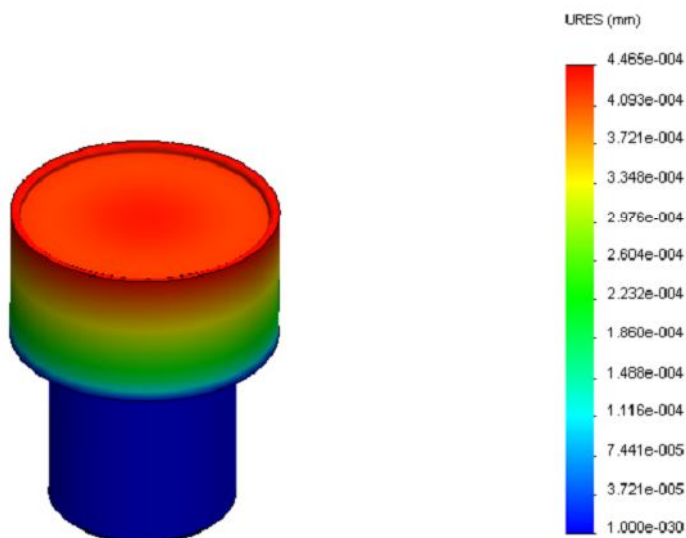




Obr. 84. Max. posunutí (průhyb) v kruhové tvarové desce



Obr. 85. Max. posunutí (průhyb) v kruhové tvarové desce



Obr. 86. Max. posunutí (průhyb) v tvárníku kroužku

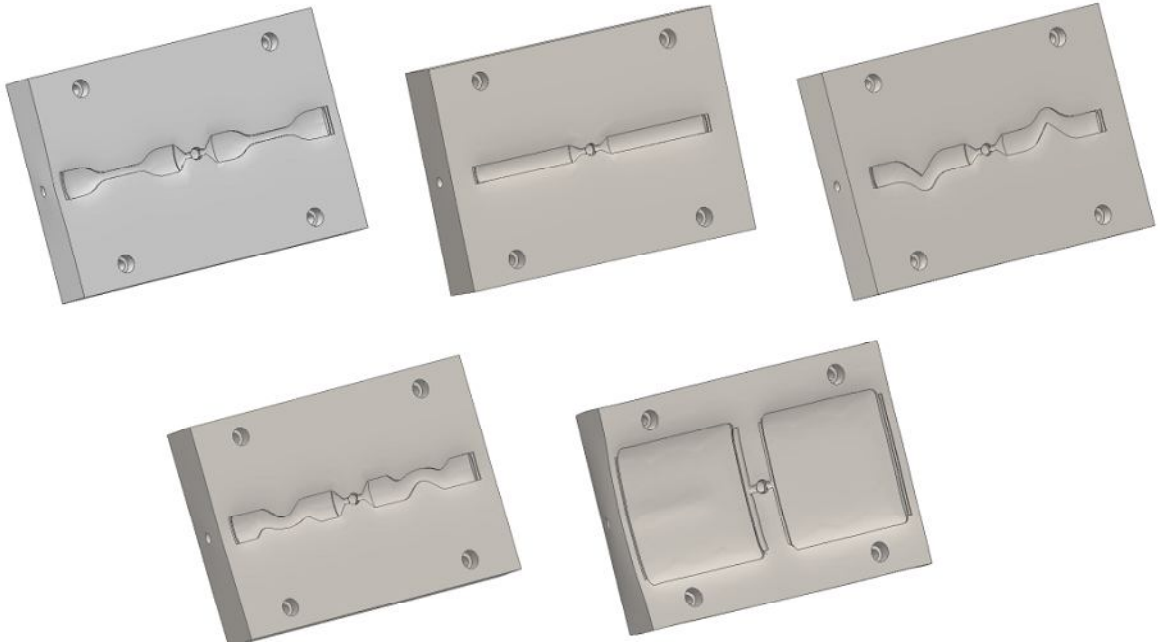
Místo největšího průhybu tvarových desek plošných výrobků se nachází vždy v ploše levé tvarové dutiny. (Obr. 80 až 86). Je to způsobeno vlivem oslabení průřezu desky otvorem pro teplotní čidlo. Největší průhybem tvárnice desky disponují vnitřní obvodové hrany, které jsou oslabeny díky přetokové drážce. U tvárníku je nejvíce deformována vrchní plocha usměřující tok taveniny do stran a obvodový lem vytvářející štěrbinu membránového vtoku. Velikosti jednotlivých průhybů jsou v následující tabulce (Tab. 9). Velikosti průhybů jsou tak malé, že nedojde k ovlivnění rozměrů vstříkovaných výrobků.

Tab. 10. Hodnoty max. posunutí (průhybů)

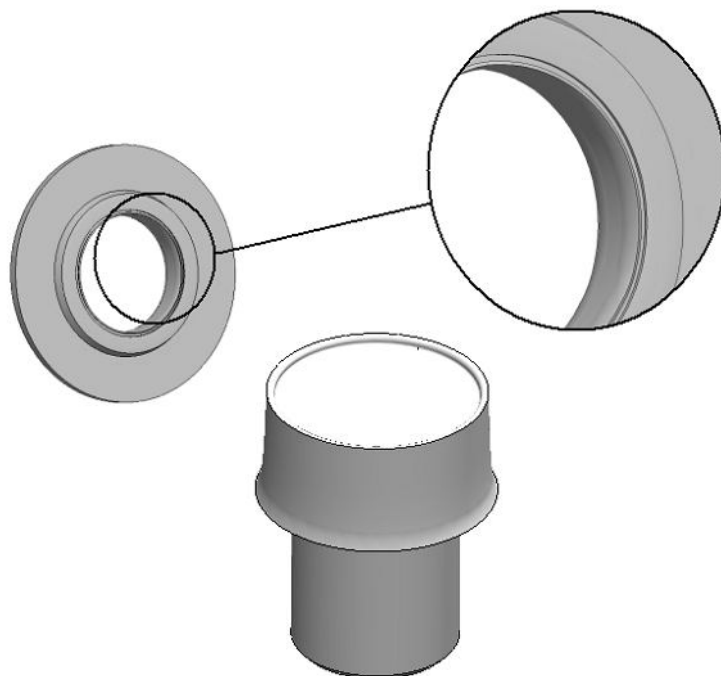
	Jednotka	Hodnota
Tvarová deska oboustranné lopatky	mm	$1,478 \cdot 10^{-3}$
Tvarová deska tělíska trouser	mm	$1,042 \cdot 10^{-3}$
Tvarová deska tělíska graves	mm	$1,215 \cdot 10^{-3}$
Tvarová deska tělíska crescent	mm	$1,387 \cdot 10^{-3}$
Tvarová deska desky	mm	$2,662 \cdot 10^{-3}$
Tvárnice kroužku	mm	$7,406 \cdot 10^{-4}$
Tvárník kroužku	mm	$4,485 \cdot 10^{-4}$

### 12.1.3 Deformace

Největší deformace tvarových desek vznikají v místech největších průhybů. Deformace jsou velmi malé. Jsou zobrazeny v měřítku 1:5000, aby tyto místa byly lépe viditelná. (Obr. 87 a 88).



*Obr. 87. Deformace tvarových desek plošných výrobků*



*Obr. 88. Deformace tvárnice a tvárníku kroužku*

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

První kapitola praktické části jednotlivě popisuje vstřikované výrobky. Jsou to zkušební tělíska typu oboustranné lopatky, trouser, graves a crescent. Dalším výrobkem je deska o rozměrech 120 x 120 mm, která slouží jako polotovár pro vyseknutí již zmiňovaných tělísek. A posledním výrobkem je kroužek sloužící jako nosič běhounových vzorků ke zkouškám otěruvzdornosti. Jako materiál výrobků byl zvolen syntetický kaučuk NBR o tvrdosti 50 Sh. Forma byla speciálně navržena na vstřikovací stroj od francouzské firmy Rep, typ V27/Y125 MonoDigit. Popisem a parametry stroje se zabývá další kapitola. Forma se skládá z univerzálního rámu, tedy horní a dolní upínací desky, které jsou pomocí šroubů spojeny s topnými deskami stroje. Dále pro každý výrobek byly navrženy výměnné tvarové desky, jejichž dutiny byly zvětšeny o hodnotu předpokládaného smrštění 1,5%. Pro plošné výrobky byla navržena z hlediska vyváženosti dutina dvojnásobná. Tvarová dutina plošných výrobků je vyhotovena jen v dolní tvarové desce. Horní deska je plochá, tudíž odpadá nutnost středění a vedení horní a dolní části formy pomocí čepů. Vtokový systém tvoří kuželový kanál rozvedený do stran půlkruhovým rozváděcím kanálem, ústí vtoku je filmové. U vstřikování kroužku z hlediska přesnosti resp. sousosti vnitřního a vnějšího průměru nebylo možné zvolit větší násobnost než jedna. Kroužek je opatřen vnitřním membránovým vtokem, aby bylo zajištěno rovnoměrnější plnění dutiny a minimalizován vznik studených spojů. V tomto případě jsou tvarové desky středěny tzv. na kužel. Při tomto způsobu středění se dosáhne požadované sousosti průměrů vstřikovaného kroužku. Tvárník a tvárnice jsou rovněž opatřeny přetokovou drážkou, která spíše splňuje odvodušňovací funkci. Forma je vyhřívána na vulkanizační teplotu 180 °C od, již zmíněných, topných desek. Jednotlivé tvarové desky jsou opatřeny otvorem pro zasunutí teplotního čidla, aby bylo možno teplotu v dutině formy regulovat. Po naplnění dutiny taveninou kaučukové směsi a její vulkanizaci dojde k otevření formy. Při otevření formy, výstřik zůstane v dolní části. Vyhození výrobku je ruční, za pomoci vhodné pomůcky. Stroj totiž nedisponuje vyhazovacím zařízením. Po otevření formy pro vstřikování kroužku je kruhový tvárník volný. Odformování kroužku se docílí jeho vytažením, buď i z kroužkem, či bez něho. Jestliže, kroužek zůstane na tvárníku vlivem smrštění, odstraní se z něho vhodným nářadím. To vše je předmětem první části praktické části, tedy konstrukční návrh univerzální formy.

Druhá část práce se zabývá samotnou analýzou vstřikovacího procesu. Pomocí které se ověřily nastavené časy potřebné k naplnění dutiny a optimalizovaly se časy ohřevu jednotlivých výrobků k dostatečné vulkanizaci. Čas potřebný k plnění se pohybuje okolo 20 s, u desky je potřeba až 31 s. Časy ohřevu byly nastaveny tak, aby v každém vstřikovaném výrobku proběhlo téměř 100% zesíťování. Většina výrobků je tenkostěnných, proto požadované procento vulkanizace proběhne již za 210 sekund od počátku plnění. Čas potřebný k zvulkanizování kroužku činí 300 sekund v důsledku větší tloušťky stěny. Stupeň vulkanizace byl zvolen téměř na 100% z důvodů zaručení požadovaných vlastností a k nezanesení další neznámé do vyhodnocení prováděných zkoušek tělisky vyrobených touto metodou.

V poslední části práce byla provedena mechanická analýza jednotlivých tvarových desek. Desky z nástrojové oceli 19 552 byly uloženy dle navrženého způsobu a zatíženy maximálním vstřikovacím tlakem, zjištěným z předchozích tokových analýz. Maximálnímu vstřikovacímu tlaku o velikosti 14,37 MPa je podrobena tvarová dutina ploché desky. Při tomto tlakovém zatížení je v ploše dutiny vyvoláno napětí až o velikosti 30,4 MPa, a to především v místě, kde je průřez desky oslaben dírou pro teplotní číslo. Stejně výsledky ukazují i analýzy ostatních tvarových desek. Tyto hodnoty ovšem nenabývají takové velikosti, aby nějak deformovaly tvar dutiny nebo dokonce narušily pevnost materiálu. To potvrzují i výsledky maximálního posunutí či průhybu. Hodnota maximálního průhybu v nejvíce namáhaném místě činí  $2,662 \cdot 10^{-3}$  mm, opět v dutině desky. Mechanickou analýzou tedy bylo zjištěno, že tlak vyvinutý v uzavřené dutině při vstřikování všech výrobků neohrozí pevnost a tvarovou stálost tvarových desek.

## ZÁVĚR

Obsah diplomové práce se odvíjel od požadavků v oficiálním zadání práce a také od stanovených cílů.

Už v úvodu této práce bylo zmíněno, že se elastomerní zkušební tělíska připravují lisováním a poté se jednotlivě vyseknou sekacími noži. Avšak právě tyto nože mohou negativně ovlivnit výsledky prováděné zkoušky. Na vyseknutých hranách tělíska vznikají po nástroji příčné drážky, na kterých se při tahovém zatížení koncentruje napětí. Proto by bylo vhodné, nahradit dosud používané lisování s vysekáváním vstřikováním. Zjistit, který z postupů je lepší, lze jejich vzájemným porovnáním z odlišnosti výsledků prováděných zkoušek. Aby bylo možné zkoušky realizovat, musí se nejprve navrhnout vstřikovací forma, a to bylo předmětem této práce. Byla tedy navržena funkční vstřikovací forma pro některá vybraná zkušební tělíska. Forma je univerzálního charakteru, pomocí které se dá vstřikovat zkušební tělíska o předepsaných tvarech oboustranné lopatky, trousers, graves, crescent, desky 120 x 120 mm a kroužku. Pro vstřikování tělísek z materiálu NBR byla provedena analýza, kterou byly určeny potřebné časy plnění a vulkanizace. Jednotlivé tvarové vložky byly otestovány působením vstřikovacích tlaků a shledány jako vyhovující.

Při návrhu formy byl kladen důraz především na funkčnost, jednoduchost a nízké náklady spojené s její výrobou. Pro případnou výrobu byla vyhotovena sestava formy ve dvou verzích a výrobní dokumentace jednotlivých částí formy, která je součástí přílohy.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975. 374 s. ISBN 414-33580
- [2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. a II. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s a 212 s.
- [3] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků, konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu*. 1. vyd. Zlín, 2009. 145 s.
- [4] DAVEY A. B., PAYNE A. R. *Rubber in Engineering Practice*. London, Maclaren & sons Ltd., 1966. 501 s.
- [5] TRUTNOVSKY, K. *Berührungsdichtungen an ruhenden und bewegten Maschinenteilen*, Springer – Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1975. 303 s.
- [6] LENFELD, P. *Technologie II – Vstřikování plastů*, Liberec: TU, Dostupný z WWW:  
<[http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)>.
- [7] ŠKROBÁK, A. *Konstrukce vstřikovací formy*, 2008. 76 s., Bakalářská práce.
- [8] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [9] TOMIS, F., RULÍK, F. *Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1981. 216 s. ISBN 414-33206
- [10] TOMIS, F., HELŠTÝN, J. *Formy a přípravky*. 1. vyd. Brno: VUT, 1979. 278 s. ISBN 55-635-79
- [11] KYAS, K. *Vliv geometrie a uspořádání tokových cest vstřikovacího nástroje na vlastnosti taveniny*, 2009. 106 s., Diplomová práce.
- [12] *Advanced Plastics, s.r.o.* [online]. 2004 [cit. 2007-01-23]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.advplast.cz/cze/plasty.html>>.
- [13] Růžička, K., Pospíšil, L. *Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I*. Zlín: VÚGPT. 1979. 202 s.
- [14] Franta, I. a kol., *Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. Praha: SNTL, 1969. 537 s. ISBN 04-626-69

- [15] JOHNSON, Peter S. *Rubber Processing : an Introduction*. Munich: Hanser, 2001. 145 s. ISBN 3446215786
- [16] STANĚK, M., ŠANDA, Š. *Konstrukce forem - přednášky*. Zlín: UTB – FT, 2007.
- [17] Internetové stránky softwaru CATIA V5: Dostupný z WWW: <<http://www.catia.cz>>
- [18] STANĚK, M., GABRIEL, J. *Vstřikování plastů - simulace procesu a vstupní data pro simulaci s využitím softwaru Cadmould Rubber*. Mezinárodní Gumárenské Symposium. 2007. č. 11. 9 s.
- [19] *Parametry vstřikovacího stroje REP V27/Y125*.
- [20] ČSN ISO 37. *Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků. Stanovení tahových vlastností*. 4. vyd. ČNI, 2005.
- [21] ČSN 62 1459. *Stanovení strukturní pevnosti*. 1. vyd. ČNI, 1989.



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojrozměrný prostor
Al	Hliník
CAD	Počítačové projektování
CAE	Počítačově podporované konstruování
CAM	Počítačově podporovaná výroba
Cu	Měď
ČSN	Česká technická norma
D	Průměr plastikačního šneku [mm]
D.R.	Dělicí rovina
E	Modul pružnosti [MPa]
G	Smykový modul [MPa]
HRC	Tvrдость podle Rockwella typu C
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
k	Boltzmannova konstanta [ $J \cdot K^{-1}$ ]
L	Délka plastikačního šneku [mm]
n	Jednotkový objem
N	Celkový čas bezpečnosti směsi
$N_1$	Čas k tepelné zátěži
$N_2$	Čas k vyrovnání tlaku
$N_3$	Časová rezerva
NBR	Akrilonitril-butadienový kaučuk
PLM	Počítačové řízení průběhu výroby
R	Rádus [mm]

---

Sh	Tvrдость podle Shorea
T	Teplota [K]
$\nu$	Poissonova konstanta
$\sigma_0$	Napětí v tlaku [MPa]
$\sigma_{dov}$	Dovolené napětí v tlaku [MPa]
$p_v$	Maximální vstřikovací tlak [MPa]
$S_0$	Plocha tvarové dutiny [mm <sup>2</sup> ]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Základní rozdělení polymeru [11]</i> .....	13
<i>Obr. 2. Vulkanizační křivka</i> .....	17
<i>Obr. 3. Vstřikovací cyklus elastomerů</i> .....	18
<i>Obr. 4. Schéma vertikálního vstřikovacího stroje</i> .....	21
<i>Obr. 5. Vstřikovací jednotky bez předplastikace [3]</i> .....	23
<i>Obr. 6. Pístová vstřikovací jednotka se šnekovou plastikací [9]</i> .....	24
<i>Obr. 7. Konstrukční uspořádání vstřikovací trysky a vtokové vložky [13]</i> .....	31
<i>Obr. 8. Průřezy vtokových a rozváděcích kanálů</i> .....	33
<i>Obr. 9. Odstupňování rozváděcích kanálů</i> .....	33
<i>Obr. 10. Nejpoužívanější typy vtokových ústí [13]</i> .....	36
<i>Obr. 11. Postup vyplňování dutiny taveninou [13]</i> .....	37
<i>Obr. 12. Postup vyplňování dutiny při nestejném průřezu</i> .....	37
<i>Obr. 13. Provedení zaskřípovací drážky</i> .....	38
<i>Obr. 14. Příklady středění formy</i> .....	39
<i>Obr. 15. Sestavení izolačních a topných desek formy</i> .....	42
<i>Obr. 16. Řešení dělicích rovin</i> .....	46
<i>Obr. 17. Konstrukční řešení přechodu tloušťky stěn [13]</i> .....	47
<i>Obr. 18. Konstrukční řešení přechodu tloušťky stěn [13]</i> .....	48
<i>Obr. 19. Konstrukční řešení přechodu tloušťky stěn [13]</i> .....	48
<i>Obr. 20. Zaoblení hran výstřiku [13]</i> .....	49
<i>Obr. 21. Otvory v pryžových výstřicích [13]</i> .....	50
<i>Obr. 22. Otvory v pryžových výstřicích [13]</i> .....	50
<i>Obr. 23. Okraje pryžových výstřiků [13]</i> .....	51
<i>Obr. 24. Odlehčení okrajových vláken [13]</i> .....	51
<i>Obr. 25. Oboustranná lopatka [20]</i> .....	58
<i>Obr. 26. Trouser [20]</i> .....	58
<i>Obr. 27. Graves [20]</i> .....	59
<i>Obr. 28. Crescent [20]</i> .....	59
<i>Obr. 29. Deska</i> .....	60
<i>Obr. 30. Kroužek</i> .....	60
<i>Obr. 31. Vstřikované výrobky</i> .....	61

<i>Obr. 32 Vstřikovací stroj Rep V27/Y125 .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 33 Dělicí rovina plošných výrobků .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 34 Dělicí roviny kroužku.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 35. Filmové ústí vtoku plošných výrobků .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 36. Membránové ústí vtoku kruhového výrobku.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 37 Tvarové desky plošných výrobků .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 38 Horní tvarová deska kroužku.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 39 Tvárnice kroužku .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 40 Dolní tvarová deska kroužku s tvárníkem.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 41. Upnutí horní a dolní upínací desky na topné desky stroje.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 42. Středící kroužek a vtoková vložka .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 43. Upevnění teplotního čidla .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 44. 1. modifikace – forma na tělísko oboustranné lopatky .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 45. 2. modifikace – forma na tělísko trouser .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 46. 3. modifikace – forma na tělísko graves .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 47. 4. modifikace – forma na tělísko crescent .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 48. 5. modifikace – forma na desku.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 49. 6. modifikace – forma na kroužek .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 50. Čas plnění – zkušební tělíska .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 51. Čas plnění - deska .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 52. Čas plnění – kroužek.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 53. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 20 s – zkušební tělíska .....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 54. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 31 s - deska.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 55. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 20 s - kroužek .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 56. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 210 s – zkušební tělíska.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 57. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 221 s – deska.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 58. Teplotní pole ve střední vrstvě v čase 300 s – kroužek .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 59. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 20 s – zkušební tělíska .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 60. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 31 s – deska .....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 61. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 20 s - kroužek .....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 62. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 80 s – zkušební tělíska .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 63. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 90 s - deska.....</i>	<i>83</i>

<i>Obr. 64. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 150 s - kroužek .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 65. Grafické znázornění průběhu vulkanizace – zkušební tělíska.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 66. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 221 s – deska.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 67. Grafické znázornění průběhu vulkanizace - deska .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 68. Průběh vulkanizace ve střední vrstvě v čase 300 s - kroužek .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 69. Grafické znázornění průběhu vulkanizace - kroužek.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 70 Studené spoje – zkušební tělíska a deska.....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 71 Studené spoje – kroužek .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 72 Vzduchové kapsy.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 73. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce oboustranné lopatky .....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 74. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce tělíska trouser .....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 75. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce tělíska graves.....</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 76. Von Misesovo napětí vznikající v tvarové desce tělíska crescent.....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 77. Von Misesovo napětí vznikající v prostřední tvarové desce desky.....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 78. Von Misesovo napětí vznikající v tvárnici kroužku .....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 79. Von Misesovo napětí vznikající v trnu kroužku .....</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 80. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce oboustranné lopatky.....</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 81. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce tělíska trouser .....</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 82. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce tělíska graves.....</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 83. Max. posunutí (průhyb) v tvarové desce tělíska crescent.....</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 84. Max. posunutí (průhyb) v kruhové tvarové desce .....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 85. Max. posunutí (průhyb) v kruhové tvarové desce .....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 86. Max. posunutí (průhyb) v tvárníku kroužku .....</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 87. Deformace tvarových desek plošných výrobků.....</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 88. Deformace tvárnice a tvárníku kroužku .....</i>	<i>99</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Orientační hodnoty pro vstřikování.....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2. Parametry uzavírací jednotky [19] .....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 3. Parametry vstřikovací jednotky [19] .....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 4. Další parametry [19].....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 5. Parametry vstřikovací formy.....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 6. Procesní podmínky vstřikování zkušebních tělísek a desky .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 7. Procesní podmínky vstřikování kroužku .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 8. Hodnoty max. dosažených tlaků v jednotlivých dutinách .....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 9. Von Misesovo napětí.....</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 10. Hodnoty max. posunutí (průhybů).....</i>	<i>98</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

### **P I Výkresová dokumentace:**

- sestavy formy vč. kusovníku,
- výrobní výkresy všech součástí formy.

### **P II CD disk obsahující:**

- textovou část diplomové práce ve formátu pdf,
- 3D model formy v programu CATIA V5R18,
- výkresovou dokumentaci v programu CATIA V5R18 a ve formátu pdf,
- soubory vstříkovací analýzy v programu Cadmould Rubber 4.5,
- soubory mechanické analýzy v programu SolidWorks 2010.