

# Konstrukce vstřikovací formy pro pryžový tlumící komponent

Dominik Rišian

---

Bakalářská práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

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

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dominik Rišian**  
Osobní číslo: **T17098**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro pryžový tlumící komponent**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte 3D návrh vstřikovaného pryžového výrobku.
3. Navrhněte vstřikovací formu včetně výrobní dokumentace.
4. Provedte analýzu vstřikovacího procesu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Franta, I. a kol., Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. Praha: SNTL, 1969. 537 s. ISBN 04-626-69
2. DUCHÁČEK, Vratislav. Gumárenské suroviny a jejich zpracování: určeno pro posl. chemicko-technologické fak. 2., přeprac. vyd. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1990, 153 s. ISBN 80-708-0077-1.
3. De, Sadhan K. (31 December 1996). Rubber Technologist's Handbook, Volume 1 (1st ed.). Smithers Rapra Press. p. 287. ISBN 978-1859572627. Retrieved 7 February 2017.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Adam Škrobák, PhD.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 17. dubna 2019

L.S.

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

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

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro daný vstřikovaný komponent z pryže. V teoretické části jsou popsány elementární informace o elastomerním materiálu, jeho zpracování a zásadách pro konstrukci vstřikovacích forem. Praktická část popisuje návrh dílu, požadavky na díl a postup konstrukce vstřikovací formy pro daný díl. Ke zkonstruování 3D dílu, formy a technické dokumentace byl použit software Catia V5.

Klíčová slova: pryž, forma, lisování, vstřikování, vstřikovací forma

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with construction of injection molding for production of rubber part. In the theoretical part of the bachelor thesis they are described elementary information about elastomeric material, its processing and principles for the design of injection molds. The practical part describes the design of the part, the requirements for the part and the procedure of the injection mold design for the part. The Catia V5 software was used to construct 3D parts, forms and technical documentation.

Keywords: rubber, mold, compression molding, injection molding process

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Adamu Škrobákovi, Ph.D., za vedení, odborné rady, připomínky a čas, který s největší ochotou byl ochoten věnovat konzultacím na téma, které jsem si zvolil pro vypracování bakalářské práce.

„Pro život, ne pro školu se učíme.“

(Seneca)

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronicky nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ POLYMERŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ELASTOMERY .....	12
1.2 KAUČUK.....	13
1.2.1 Přírodní kaučuky .....	15
1.2.2 Syntetické kaučuky .....	16
<b>2 GUMÁRENSKÉ SMĚSI</b> .....	<b>18</b>
2.1 SKLADBA GUMÁRENSKÉ SMĚSI.....	18
2.1.1 Regenerát.....	19
2.1.2 Vulkanizační činidlo .....	19
2.1.3 Urychlovače .....	19
2.1.4 Aktivátory.....	20
2.1.5 Antidegradanty – (Prostředky proti stárnutí) .....	20
2.1.6 Plniva.....	21
2.1.7 Změkčovadla .....	21
2.1.8 Pigmenty.....	21
2.1.9 Zvláštní přísady .....	22
2.2 DÁVKOVÁNÍ GUMÁRENSKÉ SMĚSI.....	23
2.3 ČÍSLOVÁNÍ DRUHŮ GUMÁRENSKÝCH SMĚSÍ.....	24
<b>3 VULKANIZACE</b> .....	<b>25</b>
3.1 PODSTATA VULKANIZACE .....	26
3.2 VÝHODY VULKANIZACE .....	26
3.3 PROVEDENÍ VULKANIZACE .....	27
3.4 VULKANIZAČNÍ KŘIVKA .....	27
<b>4 TECHNOLOGIE VÝROBY PRYŽOVÝCH DÍLŮ</b> .....	<b>29</b>
4.1 VSTŘIKOVÁNÍ.....	29
4.1.1 Vstřikovací cyklus.....	30
4.1.2 Výhody a nevýhody vstřikování .....	31
<b>5 VSTŘIKOVACÍ STROJ</b> .....	<b>32</b>
5.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	32
5.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace.....	33
5.1.2 Vstřikovací jednotka s předplastikací .....	34
5.1.3 Vstřikovací jednotka bez předplastikace.....	35
5.1.4 Uzavírací jednotka.....	36
5.1.5 Ovládání a řízení stroje .....	36



<b>6</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>37</b>
6.1	VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO KAUČUKOVÉ SMĚSI .....	37
6.2	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	38
6.3	POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY .....	38
6.4	NÁVRH DUTINY FORMY .....	39
6.5	DĚLÍCÍ ROVINA .....	40
6.6	VTKOVÝ SYSTÉM .....	40
6.8	VTKOVÉ ÚSTÍ .....	42
6.9	PLNĚNÍ DUTINY FORMY .....	44
6.10	PŘETOKY V DĚLÍCÍ ROVINĚ .....	45
6.11	ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY .....	45
6.12	VYTÁPĚNÍ FOREM .....	46
6.13	STŘEDĚNÍ FOREM .....	46
6.14	VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ Z FOREM .....	47
<b>7</b>	<b>ZÁSADY PŘI NAVRHOVÁNÍ ELASTOMERNÍCH VÝROBKŮ .....</b>	<b>48</b>
7.1	DĚLÍCÍ PLOCHA .....	48
7.2	TLOUŠŤKA STĚN .....	49
7.3	ZAOBLENÍ HRAN .....	50
7.4	ÚKOSY, PODKOSY, ZÁPICHY .....	51
7.5	OTVORY .....	51
7.6	OKRAJE, OBRUBY .....	51
<b>8</b>	<b>PROBLÉMY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ .....</b>	<b>52</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>POUŽITÉ SOFTWARE .....</b>	<b>56</b>
10.1	CATIA V5 .....	56
10.2	CADMOULD V11 .....	56
10.3	MEUSBURGER KATALOG .....	56
<b>11</b>	<b>SPECIFIKACE VÝROBKU .....</b>	<b>57</b>
11.1	POUŽITÝ MATERIÁL .....	58
<b>12</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>59</b>
<b>13</b>	<b>KONSTRUKCE FORMY .....</b>	<b>61</b>
13.1	NÁSOBNOST FORMY .....	62
13.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU .....	62
13.3	VTKOVÝ SYSTÉM .....	64
13.4	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....	65
13.5	ODFORMOVÁNÍ .....	66
13.6	ODVZDUŠNĚNÍ .....	68
13.7	TEMPERACE FORMY .....	69
<b>14</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>	<b>70</b>

14.1	PŘÍPRAVA MODELU .....	70
14.2	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	71
14.3	METODA KONEČNÝCH PRVKŮ .....	71
14.4	VÝSLEDKY ANALÝZ .....	72
14.4.1	Plnění dutiny .....	73
14.4.2	Tlaková analýza.....	73
14.4.3	Průběh teplotního pole .....	74
14.4.4	Průběh vulkanizace .....	76
14.4.5	Studené spoje.....	78
14.4.6	Vzduchové kapsy .....	78
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

V dnešní době se ukazuje technologie vstřikování jako jeden z nejproduktivnějších způsobů zpracování materiálů. Proto je vynakládáno velké úsilí tyto technologie posouvat kupředu a aplikovat nejenom na produkty z plastu, ale také na produkty z elastomerních materiálů a tím nahradit i jiné materiály aplikované v ostatních odvětvích. Velkou výhodou produkce plastových a elastomerních dílů je jejich cena a efektivita výroby. Složení kaučkových směsí nám dovoluje zrod materiálu s rozsáhlým množstvím vlastností, kterými již nedisponují jiné materiály a tím jsou téměř nenahraditelné. Využití těchto materiálů je možné v širokém spektru odvětví, od automobilového průmyslu, až po potravinářský průmysl, kde jsou přísné podmínky, aby nedošlo ke kontaminaci potravin.

Klíčovým činitelem v dnešní době je v první řadě cena, nicméně vstřikovací formy jsou velmi nákladné. Je tudíž potřebné vyvíjet technologie, které dokážou eliminovat náklady na jejich výrobu. Forma je zatížena velkým množstvím požadavků a podmínek, které ve finále ovlivňují jakost výrobku. Aby se mohly snížit náklady na výrobu vstřikovací formy, musí mít konstruktér dostatečně hluboké znalosti o problematice elastomerních materiálů, zvláště jejich tokové chování během vstřikovacího procesu a vulkanizace. Výrazné ušetření nám může přinést konečná analýza a simulace celého procesu, ještě před zahájením výroby za pomoci speciálních softwarů. Příkladem je například simulace průběhu plnění dutiny formy kaučukem, teplotní pole uvnitř formy, nebo také stupeň vulkanizace a spousta dalších prospěšných rozborů.

Předmětem bakalářské práce je konstrukční návrh vstřikovací formy pro pryžový tlumící komponent z automobilu.

Z důvodu rozdílností elastomerních směsí díky přísadám, je dobré znát chování směsi během plnění a vulkanizace ještě před konstrukcí dané formy. K analyzování dané problematiky byl použit program Autodesk Moldflow 2016.

Tato práce se zabývá návrhem nástroje-vstřikovací formy pro výrobu pryžového tlumícího prvku pro automobil. Samotný návrh předchází literární studie dané problematiky.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ POLYMERŮ

Polymery jsou děleny do dvou skupin. Na skupinu elastomerů a na skupinu plastů. Plasty jsou následně rozděleny na termoplasty a reaktoplasty. Jsou to látky tvořené makromolekulami s převážným obsahem uhlíku C, vodíku H, kyslíku O, dusíku N, a dalších chemických prvků. Zpracováváný polymer obvykle prochází kapalným, nebo pastovitým stavem. Tvar budoucího výrobku určuje zejména technologické zařízení a to většinou za zpracovatelské teploty a tlaku, někdy i v průběhu časového intervalu. Dále jsou plasty děleny na reaktoplasty a termoplasty. [3,14]

Tab. 1 Základní dělení polymerů [11]

POLYMERY		
PLASTY		ELASTOMERY
TERMOPLASTY	REAKTOPLASTY	KAUČUKY

Termoplasty tvoří přibližně 88-90 % všech zpracovaných plastů a jsou tedy nejrozšířenějším typem plastů. Jejich největší výhodou je možnost opakované recyklace. Termoplasty ještě dále dělíme na amorfnní a semikrystalické. Nejčastěji se termoplastické materiály zpracovávají pomocí vstřikování.

### 1.1 Elastomery

Elastomery jsou důležitým konstrukčním materiálem, se kterým se lze setkat téměř ve všech výrobních oborech. V součástkové základně stroje jde o významné součásti, které rozhodují o jeho spolehlivosti a také životnosti. S vhodnou skladbou kaučukové směsi lze získat materiály o speciálních požadovaných vlastnostech. [3]

Využití elastomerních materiálů započalo již před přibližně dvanácti tisíci lety použitím přírodních elastomerů. Začátek použití kaučuků jako takových se datuje k 15. století. Objevem vulkanizace započalo jeho průmyslové využití. Od této doby roste exponenciálně využití kaučuků a elastomerů celkově. K přírodním elastomerům se od 19. století přidaly syntetické elastomery – chemicky připravené, kterým lze upravovat jejich vlastnosti pro určité použití. [3]

Jedná se o amorfnní polymery udržované nad teplotou skelného přechodu tak, aby byla molekulární konfigurace bez přerušení kovalentních vazeb. Vysoce elastické chování

je charakteristické relativně nízkým modulem ve smyku s malou závislostí na teplotě. Tyto materiály lze vratně deformovat již za použití malé síly a to bez porušení.

Jejich primární použití se týká těsnění, lepidel a tvarovaných pružných dílů. Oblasti použití pro různé druhy pryže jsou různorodé a pokrývají segmenty, jako jsou pneumatiky, podrážky pro boty nebo tlumící a izolační prvky.

Elastomery jsou až do své teploty rozkladu zesítně (vulkanizované) látky, které jsou při nízkých teplotách sklovitě tvrdé a samé při vysokých teplotách nemají viskózní tok, zato obzvlášť při pokojové teplotě se chovají vysoce elasticky.

## 1.2 Kaučuk

Kaučuk je elastomer schopný vulkanizace, tj. polymer převeditelný za pomoci chemické reakce z lineárního, nebo rozvětveného stavu, do stavu rovnoměrně zesíťovaného.

Síťovací reakce se nazývá vulkanizace. [4]

Kaučuk je polymerní materiál přírodního nebo syntetického původu, vyznačující se velkou pružností, tedy schopností se účinkem vnější síly výrazně deformovat a poté opět zaujmout původní tvar. Jako jeden z mála polymerů má neobvyklé fyzikální vlastnosti. Oplývá vysokou tvrdostí při velké elasticitě a také dosahuje velké tažnosti. Díky těmto vlastnostem je hojně využíván v gumárenských směsích. [4]

Základní vlastnosti:

- Teplota skelného přechodu  $T_g$
- Viskozita (plasticita)
- Vulkanizovatelnost (schopnost kaučuku být vulkanizací převeden na pryž). [4]

K dispozici je již spousta kaučuků s určitými vlastnostmi, podle kterých se dále volí pro daný výrobek. Nejčteněji používané kaučuky vyobrazuje tabulka (Tab. 2), spolu s jejich celosvětovou spotřebou a použitím. [21, 22]

Tab. 2 Relativní spotřeba nejčastěji užívaných kaučuků [22]

Zkratka	Název	Spotřeba [%]	Použití
NR	přírodní kaučuk	32	pro všeobecné použití
IR	izoprenový kaučuk	3	
SBR	butadien-styrenový kaučuk	37	
EPD/EPDM	ethyl-propylenový kaučuk	7	
BR	butadienový kaučuk	10	
IIR	butyl kaučuk	3	
CR	chloroprenový kaučuk	3	el. kabely
NBR	butadien-akrylonitrilový kaučuk	3	těsnění
ACM	akrylátový kaučuk	0,5	hadice pro horký olej
OT	polysulfidový kaučuk	0,1	otiskovací hmota v lékařství
MQ	silikonový kaučuk	0,1	manžety
FPD	fluoruhlíkový kaučuk	0,1	Speciální okroužky

### 1.2.1 Přírodní kaučuky

V současné době se kaučuk sklízí hlavně ve formě latexu ze stromu kaučukovníku brazilského (*Hevea brasiliensis*). Strom *Hevea brasiliensis* pochází z Jižní Ameriky a nyní roste také v pralesech Brazílie, Bolívie, Peru a v poříčí Amazonky. Tento strom je naplněn mléčnou šťávou, takzvaným latexem. Z jednoho stromu je možné denně získat 20-200g kaučuku. *Hevea* brazilská je velmi rozšířený strom, přesto se ukazovala potřeba zvýšit výrobu přírodního za pomoci plantážnického dobývání. [15]



Obr. 1 Odběr latexu ze stromu *Hevea brasiliensis*

Latex je lepkavý, mléčný koloid, který se nachází v buňkách v kůře po celém povrchu stromu a získává se čepováním. Do kůry se vytvoří šikmý zářez do určité hloubky, takže se naruší stěny buněk. Latex se poté nechá ztékat do nádoby upevněné pod řezem. Při styku se vzduchem snižuje své pH pod 7, čímž vzniká samovolná koagulace, proto se latex stabilizuje přidáním Amoniaku. Je velmi důležité, aby se stabilizační činidlo do načepovaného latexu přidalo co nejdříve, protože obsahuje velké množství vody. Většina latexu se zpracovává na suchý kaučuk. [15]

Latex je pak rafinován do gumy připravené pro komerční zpracování. V hlavních oblastech je povoleno koagulovat latex ve sběrném šálku. Koagulované hrudky se shromažďují a zpracovávají na suché formy.



Přírodní kaučuk se používá v mnoha aplikacích a výrobcích, a to buď samostatně, nebo v kombinaci s jinými materiály. Ve většině svých užitečných forem má velký poměr roztážení a vysokou pružnost a je extrémně nepromokavý. [3]

Nejpoužívanější výrobou přírodního kaučuku je srážení. K latexu se se přidá kyselina mravenčí, nebo kyselina octová. Latex časem zhoustne a ve velkých nádržích vznikají bloky kaučuku, ty se propírají a dále zpracovávají na světlou krepu nebo uzený kaučuk.

Složení kaučuku je proměnlivé, záleží na povětrnostních podmínkách, teplotě, vlhkosti, věku stromu, místě pěstování, ročního období, počtu čepování a dalších faktorech.

Tab. 3 Složení čerstvého latexu přírodního kaučuku

Složka	Podíl (%)
Voda	60
Kaučukový uhlovodík	35
Ostatní složky (z toho):	5
- bílkoviny	2,0
- pryskyřice, mastné kyseliny	1,8
- anorganické látky	1,2

### 1.2.2 Syntetické kaučuky

Syntetický kaučuk se začal vyrábět ve velkém množství v období druhé světové války z důvodu odtržení bohatých zdrojů přírodního kaučuku v Asii. V tomto období se zjistilo, že výroba syntetického kaučuku je výhodnější, než výroba přírodního. Od té doby se zlepšila kvalita syntetického kaučuku, rozšířil se sortiment a vyvíjely se nové druhy. Některé nové druhy měly dokonce lepší vlastnosti, než kaučuk přírodní. V posledních letech se syntetický kaučuk od přírodního vlastnostmi téměř neliší. To způsobilo, že je dnes výroba syntetických kaučuků větší, než přírodního.

Vyrábí se za pomoci polymerace nebo kopolymerace některých nenasycených uhlovodíků, může mít různé složení. Mezi nejběžnější typy patří polybutadienové kaučuky, kopolymerní butadien-styrenové kaučuky, ethylen-propylenové kaučuky a isoprenové kaučuky (jejich monomerem je isopren, tedy jsou chemickou obdobou přírodního kaučuku). Mezi syntetické kaučuky patří i silikonové kaučuky, což jsou zesíťované polysiloxany, ale také polychloropren a další halogenované kaučuky. Z kaučuků na bázi uhlovodíků se pryž vyrábí přidávkem plniv, antioxidantů, vulkanizačních činidel a následnou vulkanizací.

Chemické složení kaučuků určuje jejich chemické vlastnosti, ale také fyzikálně-mechanické, zpracovatelské, dynamické. Jiné vlastnosti závisí od uspořádání strukturních jednotek v makromolekulách, od tvaru, velikosti a distribuci makromolekul a od uspořádání makromolekul v prostoru. Chemická struktura je pro kaučuky důležitá z hlediska jejich možné vulkanizace, odolnosti vůči stárnutí a bobtnání v olejích.

Mikrostruktura má významný vliv na elastické vlastnosti kaučuků. Mikrostruktura makromolekul se projevuje na jejich krystalizační schopnosti a to souvisí s pevnostními charakteristikami. Čím pravidelnější jsou makromolekuly, tím vyšší jsou jejich pevnostní charakteristiky a tím lépe krystalizují. [15]

Z důvodu velkého množství vyráběných syntetických kaučuků byly zavedeny pro jejich dlouhé názvy zkratky. Podle chemické struktury jsou následně kaučuky tříděny do 8mi základních skupin (Tab. 4). [21, 22]

Tab. 4 Mezinárodní klasifikace kaučuku do základních skupin

Označení skupiny	Chemická struktura makromolekulárního řetězce
M	nasycený uhlovodíkový řetězec
R	nenasycený uhlovodíkový řetězec
N	řetězec obsahující atomy dusíku
O	řetězec obsahující atomy kyslíku
Q	řetězec obsahující siloxanové vazby (-Si-O-)
T	řetězec obsahující atomy síry
U	řetězec obsahující současně atomy dusíku a kyslíku
Z	řetězec obsahující současně atomy fosforu a dusíku

## 2 GUMÁRENSKÉ SMĚSI

Gumárenské směsi prochází neustálým vývojem, protože vstupní suroviny a jejich ceny jsou proměnlivé. Jednu z hlavních rolí zde hrají i důvody technické (snaha vyrobit výrobek s lepšími vlastnostmi), tak i ekonomické (výroba totožných výrobků za nižší cenu).

Samostatné kaučuky bohužel nejsou vhodné pro výrobu pryžových dílů. Použitelné se stávají až po přidání dalších přísad. [9]

Z důvodu velkého množství různých výrobků s různými vlastnostmi vede k použití velkého počtu směsí. Například při výrobě pneumatik se používají směsi upravené pro požadavky budoucí výroby. Takovýto typ směsi se nazývá recept.

Bohužel z důvodu nedostatečného množství některých surovin, změn požadavků a nebo změn výrobního postupu je potřeba tyto recepty často modifikovat. [2]

### 2.1 Skladba gumárenské směsi

Základní složkou gumárenské směsi je kaučuk. Směs vzniká přidáním určitých, požadovaných přísad, které umožňují jeho vulkanizaci a dávají vulkanizátu (výrobku) jeho žádané vlastnosti. [5]

V případě vmíchání pouze některých přísad ze složek kaučukové směsi vzniká tzv. předsměs, neboli béč. Tyto předsměsi jsou většinou složeny z kaučuku, změkčovadla a plniva. Chybějící složky se do předsměsi přidávají až před finálním zpracováním gumárenské směsi a její vulkanizací. Výhodou předsměsi je možnost dlouhodobého skladování bez degradace oproti již kompletní směsi, u které při skladování může dojít k navulkanizování, protože vulkanizační systém reaguje už při pokojové teplotě (kolem 20 °C) [5]

Kučuková směs obsahuje zpravidla tyto složky:

- elastomer – kaučuk přírodního, nebo syntetického původu,
- regenerát,
- vulkanizační činidla – síra, peroxidy, diaminy, atd.,
- urychlovače vulkanizace,
- aktivátor vulkanizace,
- antioxidanty – látky proti stárnutí,
- plniva – aktivního, nebo neaktivního typu,
- změkčovadla,
- pigmenty,
- zvláštní přísady. [2]

### 2.1.1 Regenerát

Jedná se znovuvyužití odpadního pryžového materiálu, který je schopen opětovné zpracovatelnosti a vulkanizace. Bohužel mechanické vlastnosti vulkanizátu z regenerátu jsou horší, než původního kaučuku. Jako přísada do kaučukových směsí se přidává jen kolem 10 %, počítáno na spotřebu surového kaučuku.

Přidáním regenerátu do směsi se zkracuje doba míchání, zlepšuje zpracovatelnost a tvárnost směsi. V případě jemného regenerátu se směsi lépe vytlačují, zachovávají si lepší tvar a profily se při volné vulkanizaci nedeformují. [2]

### 2.1.2 Vulkanizační činidlo

Obecně mezi vulkanizační činidla patří veškeré látky, které mají schopnost tvořit chemickou reakcí mezi řetězci kaučukového uhlovodíku příčné vazby. Tuto dovednost má větší množství látek, ale reálně použitelných je pouze hrstka z nich. I když s příchodem nových syntetických kaučuků se objevila nová vulkanizační činidla, nejpoužívanějším zůstala elementární síra. [2]

### 2.1.3 Urychlovače

Urychlují podstatně průběh vulkanizace, ze začátku za pomoci anilinu. Z důvodu jeho jedovatosti byl ale brzy nahrazen sulfonamidy.

V nedávné době byla objevena další skupina urychlovačů, které mají mnohem lepší síťovací účinky, než sulfonamidy.

Organické urychlovače jsou schopné zkrátit dobu vulkanizace z řádu hodin na minuty. Další výhodou je možnost snížení vulkanizační teploty, čímž se dosáhne značné úspory energie a ochrání se tím také další přítomné složky ve směsích, jako jsou například organická barviva.

Velkou výhodou použití urychlovačů je podstatné omezení dávky síry, jakožto vulkanizačního činidla. [2]

#### 2.1.4 Aktivátory

Vlastností aktivátoru je zvětšování síťovací účinnosti vulkanizačního systému. Jako aktivátor se používá oxid zinečnatý, který zvětšuje síťovací účinnost přibližně o 60 %. Největší účinnost vykazuje u přírodních a syntetických kaučuků, kde síťovací účinnost vrostе téměř 5x. Oxid zinečnatý je též často označován jako „zinková běloba“. Pod tímto názvem se dříve vyráběl jako bílý pigment pro nátěrové hmoty a používal se v minulosti i jako gumárenský pigment a plnivo. [2]

Oxidy jako aktivátory vulkanizace vyžadují přítomnost dostatečného množství mastných kyselin, které je převádějí na rozpustnou formu v kaučuku.

#### 2.1.5 Antidegradanty – (Prostředky proti stárnutí)

Jedná se o přísady do kaučukových směsí zpomalující proces degradace (stárnutí) výrobků vlivem vnějších faktorů, zejména kyslíku, ozonu a slunečního záření. Antidegradanty jsou zejména antioxidanty a antiozonanty.

- Antioxidanty

Tyto látky se do kaučukových směsí vkládají z důvodu prodloužení životnosti vulkanizátu z přírodního a syntetického kaučuku. Tyto látky jsou z větší části organické látky dávkující se v množství 1-2% na množství kaučuku. Mezi tyto látky se řadí například

- Antiozonanty

Tyto prostředky většinou chrání výrobek proti teplotním vlivům, povětrnostním podmínkám, ozónu a také proti světelné degradaci. Nevýhodou antidegradantů je bohužel zbarvení světlých vulkanizátu, protože většina antidegradantů je barevná. [2]

### 2.1.6 Plniva

Plniva jsou významnou složkou do kaučukových směsí. Velkou mírou mění vlastnosti směsí a ještě více vlastnosti pryže. Jsou to z větší části látky tuhé konzistence s velmi malými částicemi, dobře rozptýlitelné v kaučuku.

Dělí se zejména podle barvy na saze a světlá plniva a poté z hlediska vlivu na vlastnosti pryže na aktivní, poloaktivní a neaktivní.

Plniva snižují cenu kaučukových směsí díky tomu, že zvětšují její objem. Zároveň ovlivňují tvrdost, tuhost směsi a odolnost vůči oděru. [5]

Běžně v praxi se plniva dělí do dvou skupin:

- saze, (aktivní a neaktivní),
- světlá plniva (neaktivní a aktivní),

Při běžném složení kaučukové směsi zaujímá plnivo 0 ÷ 200 dsk.

### 2.1.7 Změkčovadla

Tyto přísady jsou nízkomolekulární látky, většinou tvořeny kapalinami, případně pryskyřicemi s molární hmotností kolem 300 g/mol, které se rozpouštějí v kaučuku. Po vmíchání do kaučukové směsi zlepšují její zpracování, nebo snižují její tuhost. V daném případě tedy působí opačně, než plniva, která tuhost naopak zvětšují. Hodnocení tuhosti probíhá pomocí viskozity. Při použití změkčovadel klesá cena kaučukové směsi, neboť je to jedna z nelevnějších složek kaučukové směsi. [5]

### 2.1.8 Pigmenty

Dodávají pryži požadované zbarvení. Používá se buď anorganických, nebo organických pigmentů, která jsou často označována nepřesným názvem vulkánová barviva.

Jako základní pigment pro kaučuk se využívá titanové běloby. Je nejlepším bílým pigmentem a to nejen pro kaučuk. Pro vybarvení směsi na bílo je dostačujících 5-10 dsk titanové běloby. Pro šedý odstín se spolu s titanovou bělobou používají saze ve velmi malé koncentraci. Tyto pigmenty spadají do anorganických.

Organických pigmentů je dnes nepřeberné množství, které vyrábí spousta firem ve velkém množství barev a odstínů. Vyrábějí se buď ve formě prášku, nebo jako velmi koncentrovaná běče v inertním pojivu.

Při aplikaci organických pigmentů je potřeba podkladovou směs pigmentovat bílou barvou, téměř výhradně titanovou bělobou. Optimální koncentrace barevného pigmentu poté činí 0,5 až 2 dsk. [2]

### 2.1.9 Zvláštní přísady

Jsou to látky různých vlastností, které mají speciální vlastnosti. Přidávají se pouze do některých směsí a jejich obsah ve směsi bývá většinou malý, s výjimkou, kdy kaučuk slouží pouze jako pojivo. [5]

Mezi zvláštní směsi patří:

- pigmenty,
- faktisy,
- nadouvadla,
- prostředky pro spojování pryže s kovy a vlákny,
- retardéry hoření,
- antistatické prostředky,
- brusné prostředky,
- výbušniny.

## 2.2 Dávkování gumárenské směsi

V gumárenských směsích se většinou koncentrace přísad označuje **dsk** (díly na sto dílů kaučuku) nebo **phr** (z anglického parts per hundred rubber).

Základem směsi je vždy 100 dílů kaučuku. V případě použití kaučuku nastaveného olejem nebo sazemi se musí jeho dávkování zvýšit, aby celková kaučuková směs obsahovala 100 dílů kaučuku.

Použití 100 dílů kaučuku jako základ směsi zlehčuje dávkování vulkanizačních činidel a plniv, protože jejich vyjádření koncentrace je též v jednotce dsk. To zajišťuje stejný poměr kaučuku a přísad pro různé kaučukové směsi.

Obvyklá kaučuková směs pro vstřikování obsahuje na 100 dsk:

Tab. 5 Složení vstřikovací kaučukové směsi [23]

Složka směsi	Obsah složky [dsk]
Přírodní kaučuk	100
Vysrážený oxid křemičitý SiO <sub>2</sub> (silika)	40
Diethylenglykol (DEG)	2
Oxid titaničitý TiO <sub>2</sub>	5
Oxid zinečnatý ZnO	5
Kyselina stearová	2
Antioxidant (Wingstay L)	1
Ochranné vosky	5
Vulkanizační činidlo - síra	3
Urychlovač MBTS	1
Urychlovač TMTM	0,3



## 2.3 Číslování druhů gumárenských směsí

- První číslo označuje třídu pryžového materiálu. Většinou se jedná o technickou pryž, která je označena číslem 3.
- Druhé číslo označuje způsob zpracování:
  1. lisovací,
  2. vytlačovací,
  3. pro vstříkolisy,
  4. pro bubnové lisy.
- Třetí číslo označuje kvalitu:
  0. Pro zdravotně nezávadnou pryž pro potravinářské a zdravotní účely bez obsahu síry.
  1. PK střední kvality – se zvýšenou pružností a dobrou odolností vůči dynamickému namáhání
  2. SBR nastavovaný olejem s menším množstvím regenerátu. Plní se sazemi a minerálními plnivy
  3. SBR s vysokým obsahem regenerátu
  4. Kralex (SBR) s obsahem sazí se zvýšenou odolností proti obrušivosti.
  5. NBR olejvzdorný a benzinovzdorný. Vulkanizační teplota nesmí přesáhnout teploty 165 stupňů, jinak se začnou vypařovat změkčovadla.
  6. a) směsi NBR + SBR které jsou olejvzdorné a mrazuvzdorné.  
b) směsi s CR (neopren).
  7. Teplovzdorné pryže (do 130 C)
  8. PK s obsahem sazí. Dosahují velké houževnatosti.
  9. Ozonovzdorné. Obsahují CR v kombinaci s jiným kaučukem.
- Čtvrté číslo vynásobeno deseti udává tvrdost pryže v Shore (-5 Sh + 4 Sh)
- Páté číslo určuje barevný odstín:
  - 1 - bílá, 2 - žlutá, 3 - oranžová, 4 - červená, 5 - karmínová, 6 - hnědá, 7 - zelená, 8 - modrá, 9 – nevybarvená, 10 – zvláštní požadavky.

### 3 VULKANIZACE

Před objevením vulkanizace se kaučuk používal pouze tam, kde se neprojevovaly jeho nedokonalosti. V přírodním stavu je kaučukový uhlovodík houževnatý a jeho praktické využití je omezené. Při vyšších teplotách je lepivý a při nižších zase lámavý. Výrobky se z něj tedy mohly využívat pouze v úzkém teplotním rozmezí.

Vulkanizaci objevil v roce 1839 Charles Goodyear, když zjistil, že kaučuk v přítomnosti čínidel změnil svůj charakter tak, že nezůstal plastickým při zvýšené teplotě a zvýšila se jeho pevnost.

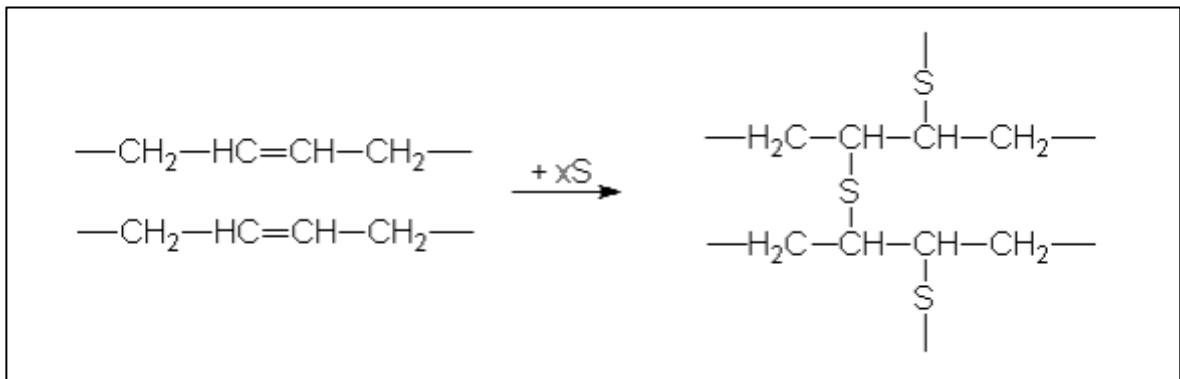
Vulkanizace kaučuku je podstatný proces gumárenské technologie, při kterém kaučuk ztrácí plastické vlastnosti a stává se elastickým, pevným a nabývá i jiné vlastnosti vulkanizátu. [3]

Po objevení vulkanizace se kaučuk začal používat ve všech oblastech průmyslu. Aby se zproduktivnila výroba a čas vulkanizace se zkrátil z několika hodin na několik minut, začali se používat organické sloučeniny jako urychlovače. Důležitými faktory při vulkanizaci jsou tlak a teplota. Teplota se pohybuje od 140 do 180 °C, u syntetických kaučuků až 200 °C. Vulkanizační čas závisí od teploty. Pokud se zvýší teplota, zkracuje se čas potřebný na vulkanizaci, a naopak při snižování teploty se vulkanizační čas prodlužuje. Tlak tvaruje směsi a zlepšuje fyzikálně-mechanické vlastnosti vulkanizátu, proto nemá až tak podstatný vliv na průběh vulkanizace. [14]

Vlastnosti pryže jsou dány především koncentrací příčných vazeb, jejich povahou a na vedlejších produktech vulkanizační reakce. [3]

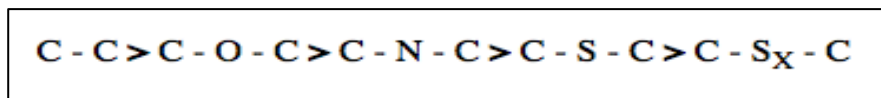
### 3.1 Podstata vulkanizace

Vulkanizace je fyzikálně chemický proces, při němž působením vulkanizačního činidla nebo energie dochází k strukturním změnám elastomeru. Elastomer (kaučuk) s lineární strukturou makromolekul se mění v pryž s prostorovou strukturou makromolekul. Během vulkanizace se mezi lineárními řetězci tvoří příčné vazby neboli můstky, které způsobí zesíťování struktury látky. [14]



Obr. 2 Průběh vulkanizace [14]

Podle použitého vulkanizačního činidla mohou být příčné vazby tvořeny jednoduchou chemickou vazbou (např. vazbou mezi atomy uhlíku jednotlivých řetězců nebo jedním ale i více atomy síry) nebo dokonce objemnými řetězci fenolformaldehydové pryskyřice. Vlastnosti vulkanizátu jsou závislé na koncentraci příčných vazeb, na pravidelnosti jejich rozložení a na jejich stabilitě. Stabilita příčných vazeb klesá podle jejich chemické povahy v tomto pořadí:



Obr. 3 Průběh klesání stability příčných vazeb

### 3.2 Výhody vulkanizace

Hlavním důvodem, proč se kaučuk vulkanizuje je, že se podstatně vylepší jeho mechanické i fyzikálně chemické vlastnosti. Z mechanických vlastností se zvýší pevnost v tahu, strukturní pevnost (odolnost proti dalšímu trhání), odolnost v oděru i pružnost, ale zároveň se sníží tažnost. Na rozdíl od nevulkanizovaného kaučuku, který je rozpustný v některých organických rozpouštědlech, vulkanizovaný kaučuk v nich jen bobtná. Vulkanizovaný kaučuk je také méně citlivý ke změnám teploty a zachovává si ohebnost i tuhost ve značném teplotním rozsahu.

### 3.3 Provedení vulkanizace

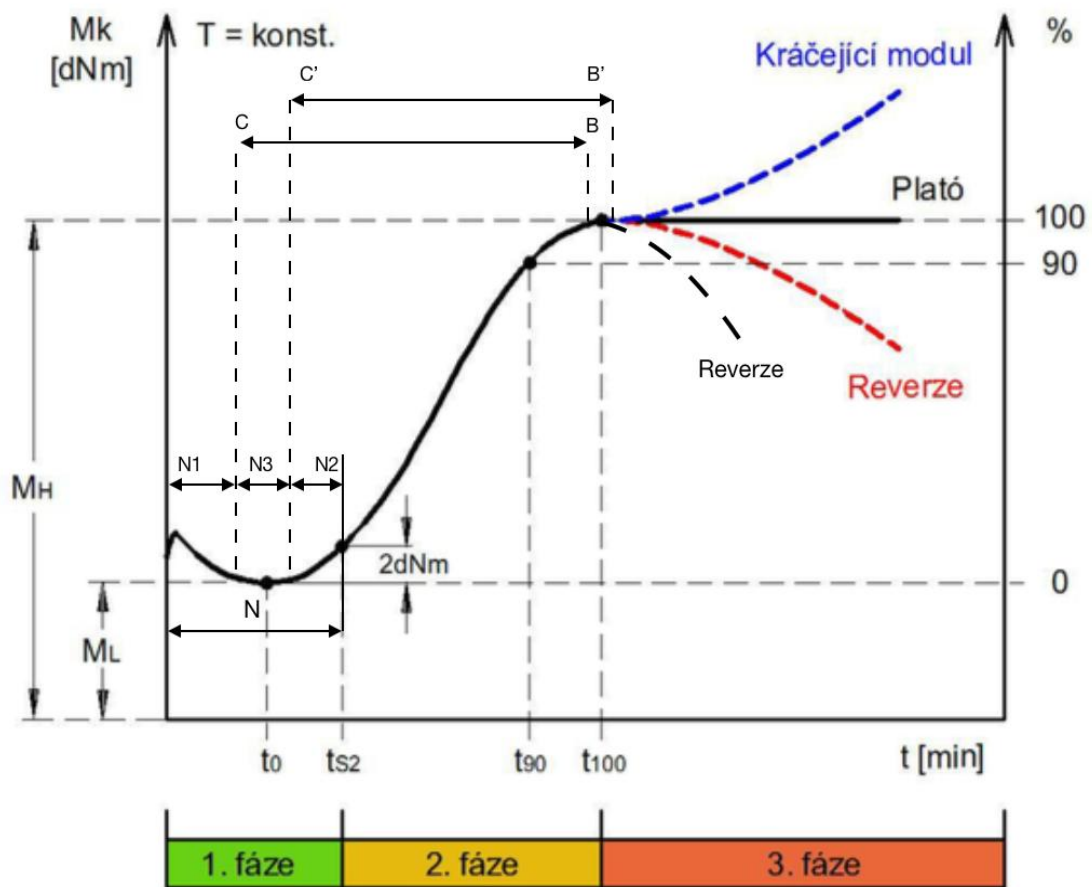
Vulkanizace je poslední fází technologického postupu při výrobě pryže. Vulkanizace kaučukových polotovarů se provádí tímto způsobem: kaučukový polotovar se vloží do vulkanizačního lisu, kde působením horké tlakové páry o teplotě v rozmezí 140 – 180 °C se polotovar vytvaruje podle formy a zároveň působením vulkanizačního činidla kaučuk z vulkanizuje. To znamená, že tváření výrobku a vulkanizace jsou spojeny v jednu operaci. Aby se výrobek na formu nepřilepil, vystřikuje se forma emulzemi separačních činidel.

### 3.4 Vulkanizační křivka

Průběh vulkanizace je sledován vulkanizační křivkou. Následující graf je složen z úseku bezpečnosti směsi a z úseku vulkanizační křivky. Bezpečnosti směsi je zobrazena jako celková doba  $N$ , po které dojde ke změně zpracovatelnosti směsi. Doba bezpečnosti směsi musí být přinejmenším 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. [3]

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  $N_2$  a  $N_3$ . 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  $N_3$ , 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. obr. 2.[6]



Obr. 4 Vulkanizační křivka. [2]

- $M_L$  – minimální kroučící moment odpovídající viskozitě kaučukové směsi,
- $M_H$  – maximální kroučící moment, charakterizující tuhost vulkanizátu,
- $t_{s2}$  – doba začínajícího růstu kroučícího momentu (zpracovatelská bezpečnost),
- $t_{90}$  – potřebný čas k dosažení 90% rozdílu mezi maximálním a minimálním kroučícím momentem ( $M_H - M_L$ ) tzv. optimum vulkanizace.

K úplnému využití urychlovače a vulkanizačního činidla je potřebná přítomnost aktivátorů. Jako aktivátoru se obvykle ve všech směsích používá oxid zinečnatý. U přírodního kaučuku je třeba dodávat některou z organických mastných kyselin, většinou kyselinu stearovou a to z důvodu kolísání množství mastných kyselin a aby byl zinek převáděn na rozpustnou formu v kaučuku. Obsah organických kyselin je třeba upravovat i u kaučuků syntetických. [2]

## 4 TECHNOLOGIE VÝROBY PRYŽOVÝCH DÍLŮ

Výrobky z elastomeru je možno zpracovávat několika způsoby, z nichž nejvíce používané jsou:

1. Lisování
2. Přetlačování
3. Vstřikování
4. Vytlačování
5. Ostatní možnosti (válcování, natírání, atd.)

Metoda vytlačování se podobně jako například válcování používají především pro výrobu polotovarů. Tyto metody se dále řadí k souvislým výrobním procesům. Cílem této práce je ale především vstřikování výrobků z kaučukové směsi. [7]

### 4.1 Vstřikování

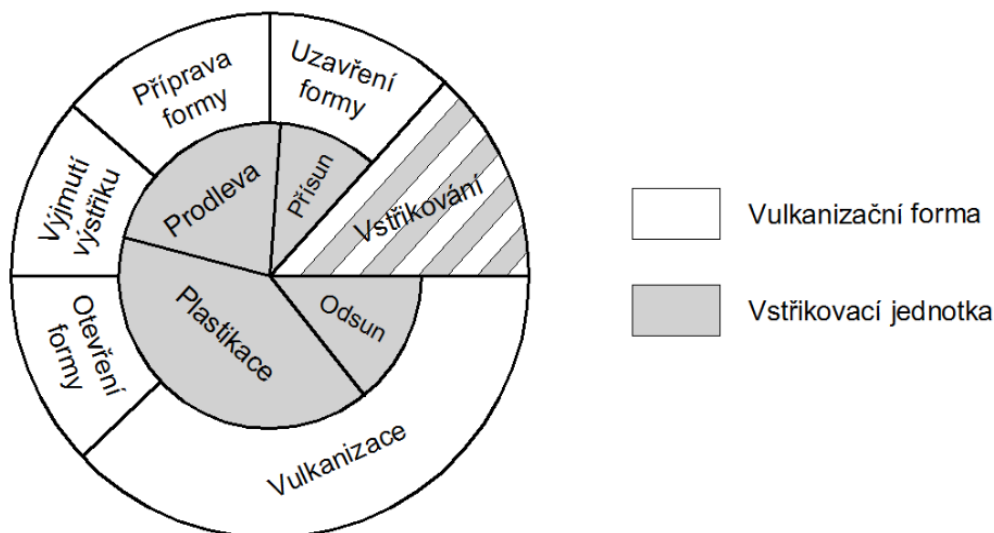
Tato technologie je jedna z nejproduktivnějších při výrobě tvarových výrobků z pryže. Metodou vstřikování lze zpracovávat většinu kaučukových směsí a také umožňuje vyrábět výrobky s různou tloušťkou stěny o různých velikostech. Cílem této technologie je výroba kvalitních dílů s velkou mírou reprodukovatelnosti kvality.

Jedná se o mechanicko-tepelný proces tváření elastomerů, při kterém dochází vlivem tepla ke změně skupenství výchozí kaučukové směsi na pryž. Ta se pomocí vstřikovacího stroje dostává pod vysokým tlakem do temperované dutiny formy, která ji dodá finální tvar. Po určité chvíli, kdy na pryž z vulkanizuje, vzniká hotový výrobek.

Dříve se tento způsob aplikoval při zpracování polymerních materiálů. Pro zpracování kaučukových směsí bylo potřeba změnit teplotní průběh s ohledem na reologické vlastnosti elastomerních směsí a jejich vulkanizačních schopností. [7] [8]

#### 4.1.1 Vstříkovací cyklus

Cyklus lze rozdělit do dvou oblastí. První oblast se vztahuje k plastikaci kaučukové směsi a druhá k formě. Z toho plyne velká produktivita vstříkování polymerních a gumárenských směsí. Vstříkovací cyklus je znázorněn na obrázku. [Obr. 7]



Obr. 5 Vstříkovací cyklus

Vstříkovací cyklus se realizuje na vstříkovacím stroji. Před vstupem taveniny do dutiny formy se tato směs musí náležitě připravit (temperace, vložení zálišků, závitových jader...). Vytemperovaná a upnutá forma je uzavřena uzavírací silou tak, aby dělicí rovina zůstala při vstříku uzavřená. Průběh uzavírání formy je rychlý, zpomaluje se až těsně před dotekem desek, aby nedošlo k jejich poškození. Po uzavření formy se k ní přisune vstříkovací jednotka a tryska dosedá na vtokovou vložku formy. Následuje vstříkování, při kterém se vyplňuje dutina formy zplastifikovanou kaučukovou směsí. Po vyplnění dutiny formy se dále na materiál působí tlakem, který se nazývá dotlak. Síla dotlaku bývá stejně velká, nebo nižší, než síla vstříkovacího tlaku. Dotlak pomáhá kompenzovat smršťování materiálu při chládnutí a zabraňuje unikání materiálu z dutiny formy. Čas, po který lze doplňovat materiál do dutiny je omezen dobou zatuhnutí materiálu ve vtokovém systému. Použití dotlaku je bezvýznamné u tenkostěnných výstříků. Při následné vulkanizaci se ze syrové kaučukové směsi, za zvýšené teploty a pomoci vulkanizačního činidla, stává elastický vulkanizát. Takto zvulkanizovaná pryž ještě určitou dobu chladne v dutině formy a po dostatečném ochlazení se dutina formy otevře a výrobek je systémem vyhazovačů vyhozen z formy. Před zahájením nového cyklu je určitá prodleva, která slouží pro uložení vložek do formy, případně k odebrání zbytku materiálu a přetoků. [7]

Při vstřikování elastomerního materiálu se často užívá separačního činidla, které slouží k snadnému vyhazování hotového výstřiku z dutiny formy, protože bez separačního činidla má pryž tendenci zůstat přilepená na tvarových částech uvnitř dutiny formy. [7]

Pro jednotlivé typy materiálů musí být jednotlivé teploty a tlaky uzpůsobeny. Pro gumárenské směsi udává orientační hodnoty tabulka.

Tab. 6 Orientační hodnoty pro vstřikování

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

#### 4.1.2 Výhody a nevýhody vstřikování

Výhody:

- velká produktivita výroby (Příprava materiálu ve šneku již v době vulkanizace výrobku ve formě),
- jednoduché dávkování materiálu,
- nenáročná automatizace procesu,
- nižší ztráty na materiálu, než při přetlačovací technologii.

Nevýhody:

- náročný a poměrně drahý vstřikovací stroj,
- náročná výroba formy,
- možnost vnitřního pnutí ve finálním produktu. [7] [8]



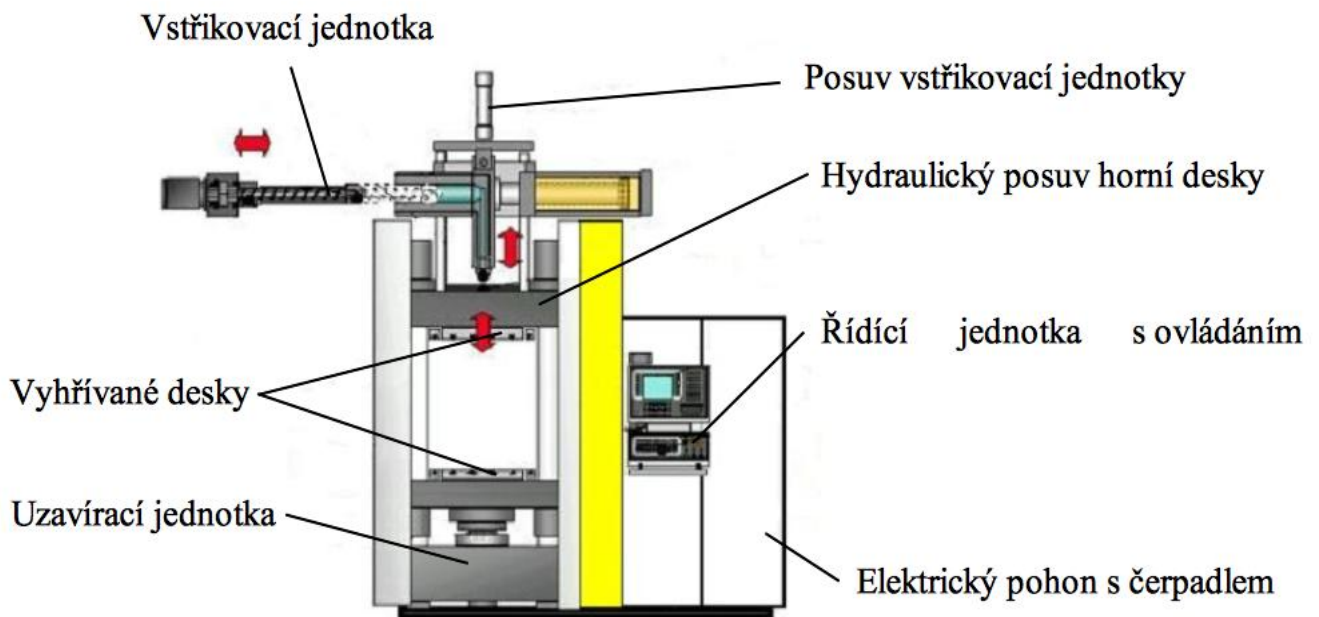
## 5 VSTŘIKOVACÍ STROJ

V dnešní době se dosahuje vysoké produktivity za pomoci moderních vstřikovacích strojů z důvodu automatizace celého procesu. Značnou nevýhodou daného procesu jsou vysoké pořizovací ceny strojních zařízení a vstřikovacích forem. Proto se daná technologie nejlépe hodí pro velkosériovou výrobu. [13] [16]

K dispozici jsou stroje různých konstrukcí, stupněm řízení, opakovatelností a stabilitou jednotlivých atributů, jednoduchou obsluhou a pořizovací cenou.

Konstrukce vstřikovacího stroje je popsána podle:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- řízení a ovládání stroje. [13] [16]



Obr. 6 Schéma vertikálního vstřikovacího stroje

### 5.1 Vstřikovací jednotka

Úkolem vstřikovací jednotky je jednak měnit granulát na homogenní taveninu o dané viskozitě a vstřikuje taveninu s vysokým tlakem a rychlostí do dutiny formy. Nedoporučuje se vstřikovat více jak 90 % kapacity jednotky, protože je potřebná rezerva, pokud by došlo k většímu smrštění materiálu. Doporučuje se 80 %. [7]

Vstřikovací jednotky:

- pístová,
- šneková,
- pístová se šnekovou předplastikací. [7]

### 5.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace

Plastikace zde probíhá v tavicí komoře (plastikace pístová), nebo v pracovním válci (plastikace šneková). [7]

#### *Pístová plastikace*

Zpracovávaný materiál je touto metodou dávkován dávkovacím zařízením do tavicí komory buď to hmotově nebo objemově. Uvnitř tavicí komory dojde k roztavení materiálu a ten se následně pístem vstříkne do dutiny formy.

Výhody:

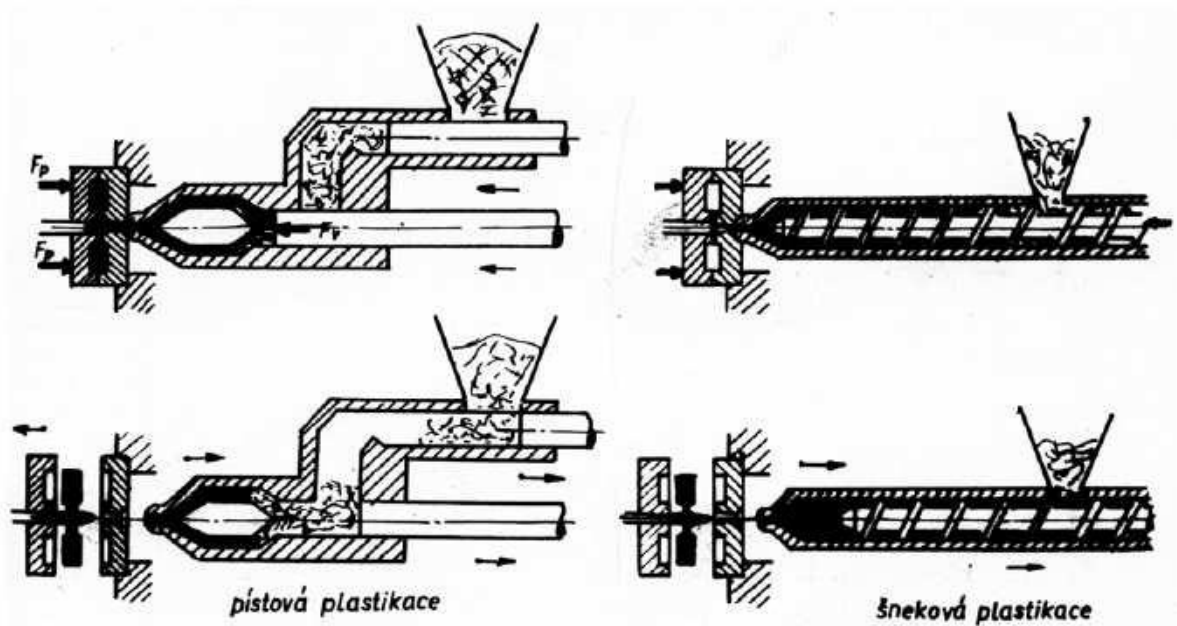
- jednoduchá konstrukce,
- jednoduché dosažení vysokých vstřikovacích tlaků

Nevýhody:

- horší homogenizace taveniny. [7]

#### *Šneková plastikace*

Zpracovaný materiál zde vstupuje skrz násypku do pracovního válce. Uvnitř pracovního válce dochází k plastikaci a homogenizaci materiálu, kde se materiál dále dopravuje za pomoci šneku. Otočným pohybem se šnek otáčí a vytváří tím prostor pro taveninu. Jakmile je určité množství zplastikováno, vstříkne se daný materiál axiálním pohybem šneku přes vstřikovací trysku do dutiny formy. Pohyb šneku je zajištěn rotačním a přímočarým hydro-motorem s mechanickými převody. [7]



Obr. 7 Vstřikovací jednotky bez předplastikace [3]

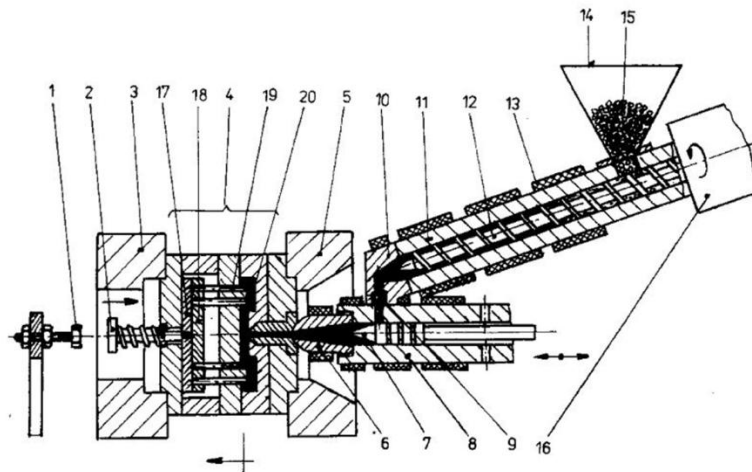
Výhody plastikační jednotky šnekové:

- dobrá plastikace včetně skvělé homogenizace roztaveného plastu,
- nedochází k přehřívání materiálu uvnitř tavicí komory,
- libovolné zvyšování velikosti výstřiku,
- přesné dávkování směsi,
- malé ztráty tlaku v průběhu pohybu směsi.

### 5.1.2 Vstřikovací jednotka s předplastikací

Plastikace zpracovávaného materiálu se provádí v oddělené plastikační jednotce, odkud se tato tavenina dále dopravuje do vstřikovacího válce, kde se následně vstřikuje za pomoci pístu do formy. Tímto uspořádáním lze dosáhnout výrazného zkrácení vstřikovacího cyklu. [7]

Uvnitř pracovního válce probíhá plastikace. Vstřikovací píst zajišťuje vstřikování. Tímto uspořádáním dosahujeme jak výhod šnekové plastikace, tak výhod vstřikování pístem. Lze tak dosáhnout jak dokonalé a rychlé plastikace materiálu, tak vysokého vstřikovacího tlaku spolu s velkou rychlostí. Vyšších výkonů a lepšího ovládní plastikačních podmínek dosahuje šneková plastikace. Tato metoda ale klade vyšší nároky na údržbu a celkovou složitost. Uplatňuje se zejména při vstřikování elastomeru. [7]



Obr. 8 Pistová vstříkovací jednotka se šnekovou plastikací [23]

1 - doraz, 2 - tyč vyhazovače, 3 - zadní upínací deska, 4 - forma, 5 - přední upínací deska, 6 - vstříkovací tryska, 7 - vstříkovací píst, 8 - vstříkovací 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 - výstřík

### 5.1.3 Vstříkovací jednotka bez předplastikace

Plastikace materiálu zde probíhá v pracovním válci, takzvaná šneková plastikace. [24]

Šneková plastikace:

Do pracovního válce vstupuje zpracovávaný materiál ve tvaru pásku, kde se následně uvnitř válce se šnekem plastikuje a dopravuje přes čelo šneku. Prostor pro taveninu je vytvářen otočným pohybem šneku, který se posouvá směrem dozadu. Homogenizovaný materiál je vstříknut do formy axiálním pohybem šneku skrz vstříkovací trysku. [24]



Obr. 9 Vstříkovací jednotka bez předplastikace [3]

#### 5.1.4 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k otevírání a uzavírání formy, dle procesu vstřikování a zajišťuje takovou přitlačnou sílu, aby se během vstřikování forma neotevřela. V procesu je třeba rozlišovat dvou sil a to sílu přísouvací a uzavírací. Moderní stroje disponují nastavitelnou silou a rychlostí uzavíracího procesu vstřikovací formy. [13]

Skladba uzavírací jednotky:

- pevně spojená opěrná deska s ložem stroje,
- pohyblivé desky,
- upínací desky,
- vodící sloupky

Druhy uzavíracích systémů:

- hydraulické,
- mechanické,
- hydraulicko-mechanické,
- elektro-mechanické. [13]

#### 5.1.5 Ovládání a řízení stroje

Jednoduchá obsluha a seřízení stroje jsou charakteristickými znaky jeho kvality. Jedním z hlavních faktorů je stálá reprodukovatelnost technologických parametrů. V případě kolísání parametrů v průběhu výroby, dojde k ovlivnění celkové kvality a přesnosti výrobku. Je tedy nutné zajistit správné řízení stroje správnými regulačními a řídicími prvky. [12]

Je důležité kontrolovat nastavení stroje za pomoci řídicího systému. K této operaci může také sloužit zobrazovací displej, za pomoci kterého je možné provádět určité korektury programu. Zde má zcela zásadní vliv řízení stroje na výslednou přesnost a jakost výrobku. [12]

- nastavení doby a výše vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti chlazení a vstřiku. (Parametry ovlivňující přesnost a toleranci výstřiku),
- nastavení doby a výšky teploty taveniny. (Homogenizace je určena fyzikálními a mechanickými vlastnostmi výstřiku).

## 6 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj, jehož použitím na vstřikovacím stroji vzniká výrobek z polymerní hmoty. Používané vstřikovací formy jsou často poměrně technicky komplikované nástroje, na které jsou kladeny velké požadavky z hlediska produktivity, kvality, automatizace výroby a spolehlivosti. [11]

Forma je tvořena obvykle ze dvou hlavních částí, z čehož jedna je pevně upnuta na nepohyblivé straně vstřikovacího stroje a druhá je upevněna naopak na pohyblivé straně. Na nepohyblivé části je upnutá takzvaná tvárnice, kde hlavní funkcí představuje zajištění přívodu taveniny do dutiny formy za pomoci vtokového systému. Na pohyblivé straně se nachází uchycen tvárník, jehož účelem je zajistit správné odformování výrobku z dutiny formy. Pomocí vyhazovacího systému je poté výrobek z formy vyhozen. (Tyto části následně zajišťují náležitou teplotu výstříku před vytažením z formy a to díky temperačním rozvodům v každé části formy). [17]

Vstřikovací formy určené pro elastomery vycházejí ze zásad konstrukce platných pro vstřikovací formy při respektování typických vlastností zpracovávaných materiálů. Vulkanizační teplota uvnitř formy je udržována na určité teplotě, které je ale vyšší, než teplota taveniny. Používají se obdobné formy, jako při vstřikování termoplastů. Použití jednonásobných i vícenásobných forem, při použití dvou i třídílných forem. [18]

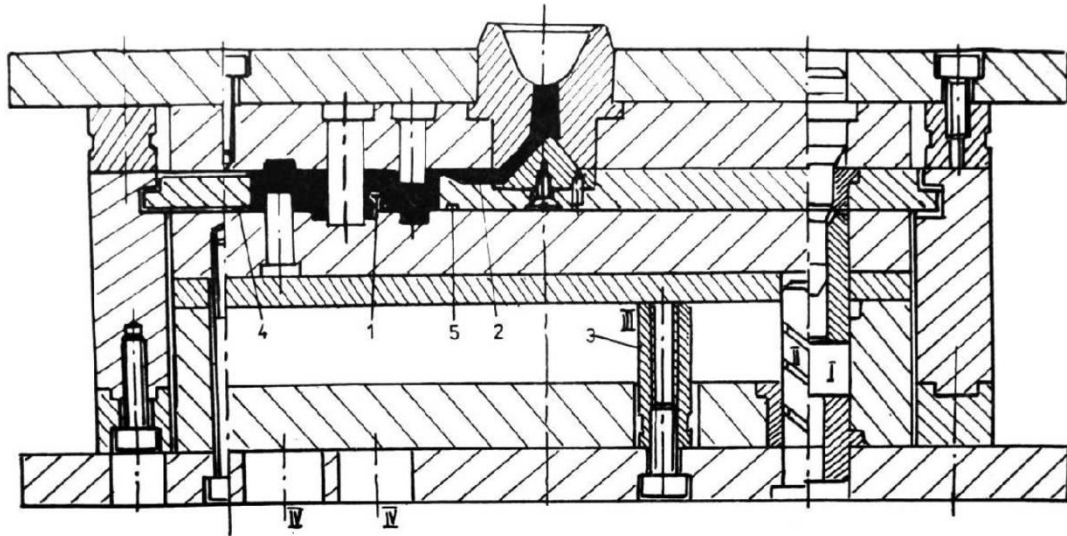
### 6.1 Vstřikovací formy pro kaučukové směsi

Konstrukce vstřikovací formy pro kaučukové směsi probíhá obdobně, jako konstrukce pro formy pro reaktoplasty s ohledem na vysokou pružnost vulkanizátu. Rozdílná je teplota formy pro vulkanizaci, která je vyšší, oproti teplotě vstřikovací. To zásadně ovlivňuje teplotu formy.

Formy pro kaučukové směsi mohou být:

- dvoudílné,
- třídílné,
- jednonásobné,
- vícenásobné.

Z technologického postupu vychází budoucí návrh formy, jehož součástí tvoří výkresová dokumentace a technické podmínky. [25,26]



Obr. 10 Příklad vstřikovací formy pro kaučukovou směs [25]

1 - dutina formy, 2 - rozváděcí kanály, 3 - podpěra, 4 - odvzdušňovací drážka, 5 - přetoková drážka

## 6.2 Konstrukce vstřikovací formy

Dle technologického projektu se řeší komplexní konstrukce vstřikovací formy pro daný výrobek. V potaz musí být brán hlavně typ vstřikovaného materiálu a objem výrobní série. Neméně důležité je přihlížet na kvalitu práce (přesnost a jakost). [12]

U vstřikovacích forem je vyžadováno následující:

- žádaná jakost spolu s vysokou přesností funkčních ploch v zhotovené dutině formy a dalších funkčních částí,
- maximální pevnost a tuhost celku a jednotlivých částí formy, pro potřebné zachycení tlaků,
- vhodný vtokový systém, správná funkce formy, vyhazování, temperování, odvzdušnění,
- životnost zaručená optimální konstrukcí, výrobou a materiálem. [12]

## 6.3 Postup při konstrukci formy

Konstrukční návrh spolu s výkresem vyráběného dílu tvoří základní podklad pro konstruktéra formy.

Při konstrukci se postupuje následujícím postupem:

- posouzení dané výkresové dokumentace součásti z hlediska rozměru, tvaru a tvářecích podmínek. Je zapotřebí opětovně zkontrolovat tolerance, rozměry a rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na lunkry a propadliny. Důležitá je také úprava rohů a ostrých hran, které mohou vyvolat obtížné plnění dutiny formy a dále velké pnutí,
- upřesnění určení dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na vzhled a funkci. Také je potřeba brát zřetel na velikost a směr úkosů. Zaformování musí odpovídat uložení ústí vtokové soustavy a vyhazování z dutin,
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Vhodná volba typu vtokového systému, délky a tvaru hlavního rozváděcího kanálu, velikosti průřezu i ústí vtoku,
- určení návrhu temperačního a vyhazovacího systému spolu s odvzdušněním formy,
- návrh rámu formy s ohledem na určitou typizaci, rozmístění i počet dutin, systém temperace formy a vyhazování,
- určení správného uspořádání středění a upnutí formy na stroj s ohledem na použití dostupných prostředků v rámci bezpečnosti práce,
- kontrola funkčních parametrů dané formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další veličiny s ohledem na vybraný vstřikovací stroj. [12]

#### 6.4 Návrh dutiny formy

Výroba technické pryže představuje velké množství různých tvarů, ku příkladu různé průchodky, o-kroužky, zátky, těsnění, podložky, nárazníky, atd. Početnou část tvoří výstřiky rotačních tvarů. Dutina formy je nejčastěji obráběna za pomoci třískového obrábění na klasických obráběcích strojích. [19]

Funkce a konstrukce výrobku udávají finální rozměry. Rozměry dutiny budou odlišné při zaformování od finálního výrobku a to z důvodů:

- přesnosti výroby formy
- opotřebenosti funkčních částí formy
- tolerancí a mezních úchylek jednotlivých rozměrů výrobku
- smrštění zpracovávaného materiálu

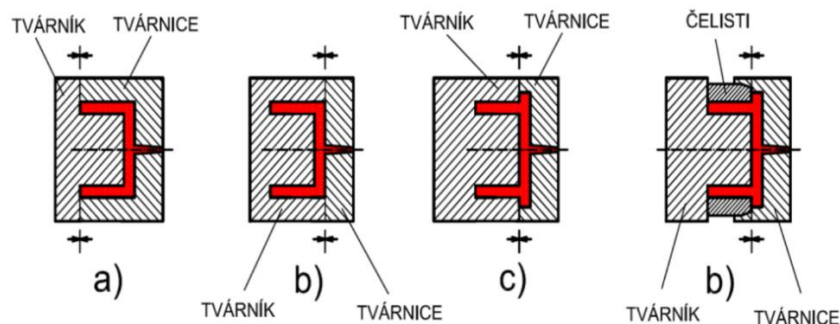
Největší roli zde hraje smrštění materiálu uvnitř formy. [12]



## 6.5 Dělicí rovina

K zásadní roli v konstrukci formy patří vhodně zvolená dělicí rovina. Správné zvolení zajišťuje dodržení správného rozměru a tvaru výstřiku. Ta většinou vychází z konstrukčního řešení vstřikovaného komponentu. [7]

Místo, kde na sebe dosedají části formy při uzavírání formy se nazývá dělicí rovina. Volba dělicí roviny musí být navržena tak, aby stopa po dělicí rovině nezpůsobovala vady na dílu a aby jej bylo možné co nejjednodušeji odformovat. Je třeba se držet určitých zásad, které jsou přesně definovány. [7,27]



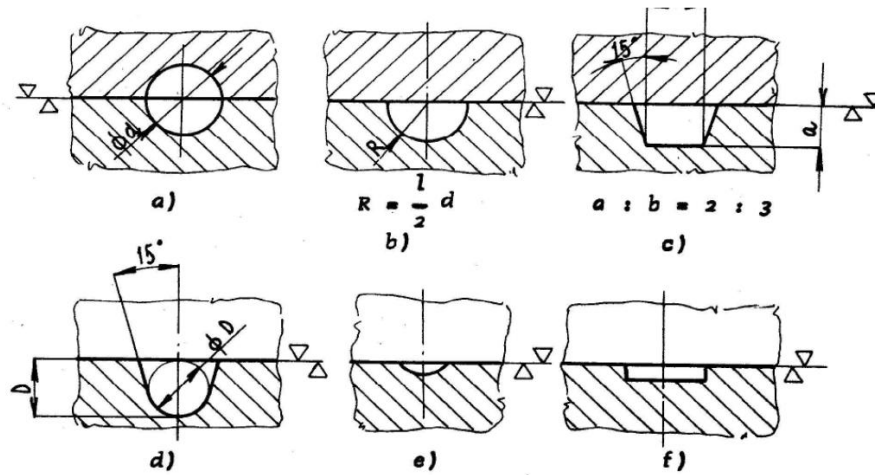
Obr. 11 Nejčastější způsoby zaformování výstřiku

## 6.6 Vtokový systém

V systému vtokových kanálů disponujících různými tvary proudí tryskou kaučuková směs do vtokové soustavy vstřikovací formy. Kanály vedou kaučukovou směs do jedné, nebo mnoha dutin formy, které jsou následně zaplněny. Doporučuje se užít co nejkratších vtokových kanálků z důvodů možných tlakových zdrát na kaučukové směsi, která narůstá jejich délkou. Při užití nižších vstřikovacích tlaků se užívá kanálků o větších průměrech. Pro vysoké vstřikovací tlaky jsou voleny kanálky o menších průměrech a větších délkách. [20, 27]

Rozdílné uspořádání vtokové soustavy je dáno konstrukcí formy. Rozměry, tvar a umístění vtokového systému ovlivňují:

- vzhled, rozměry a vlastnosti výrobku,
- spotřebu materiálu,
- začistění výrobku a náročnost opracování,
- energetická náročnost výroby. [12]

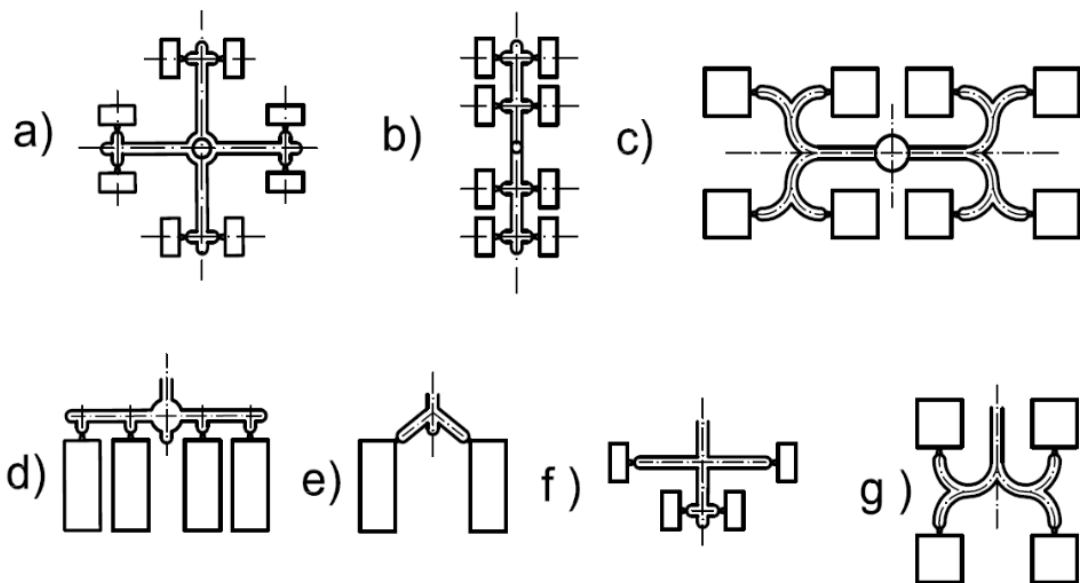


Obr. 12 Typy vtokových kanálků [20]

a) kruhový, b) půlkruhový, c) lichoběžníkový, d) kombinovaný,

c - nedoporučovaný tvar,

e,f – nevhodný tvar



Obr. 13 Typy vtokových systémů [27]

a,c,e,f,g - správné řešení; b,d – potřebná úprava vtokového ústí

## 6.8 Vtokové ústí

Jedná se o segment vtokové soustavy vyústujícího přímo do tvarové dutiny formy. Zaručuje co nejmenší ztráty na vstřikovacím tlaku. [20]

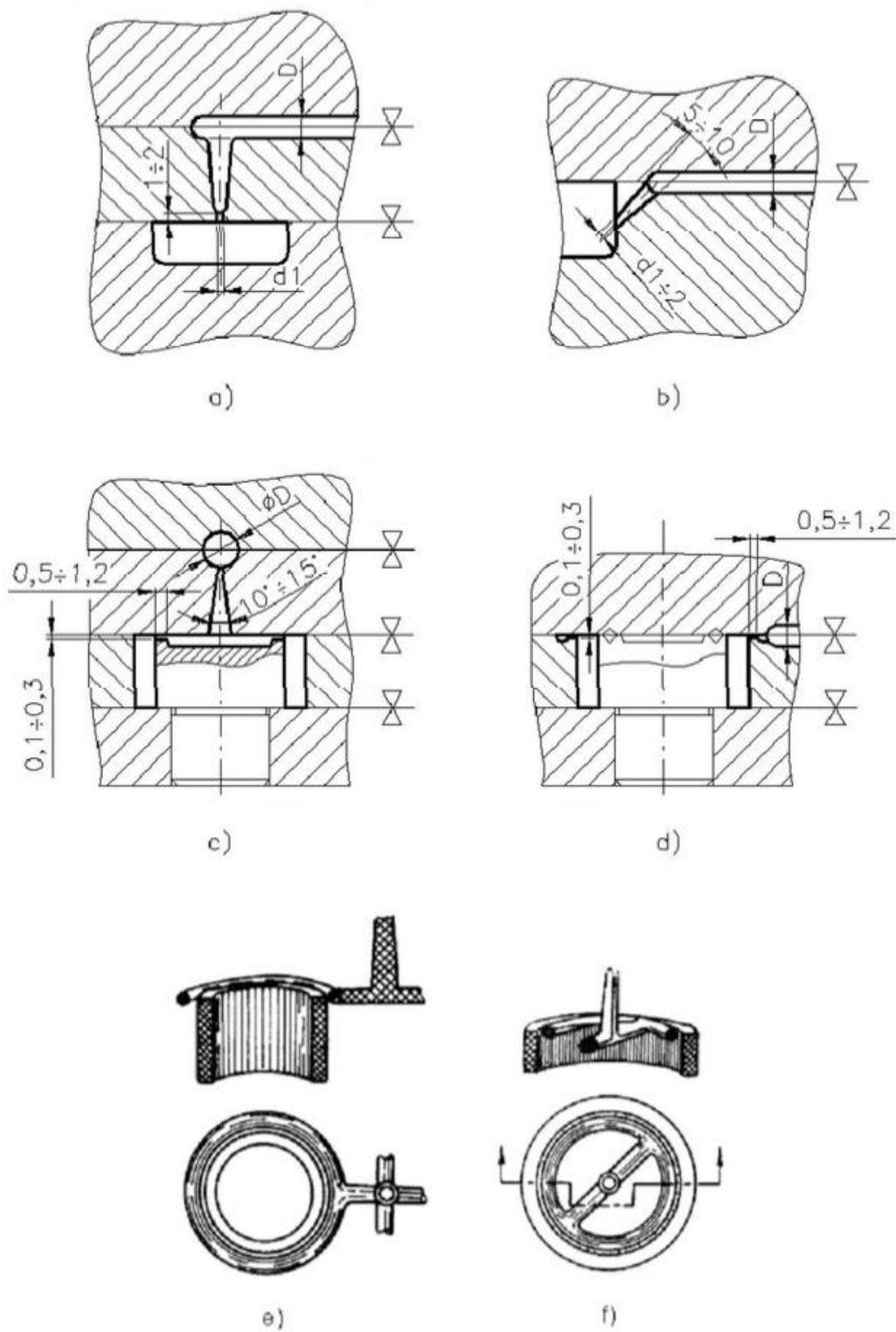
V případě zmenšení průřezu je možné dosáhnout vyšší rychlosti cirkulace kaučukové směsi. Teplo vznikající v části se zmenšeným průřezem ovlivňuje pozitivně dobu vulkanizace.

Umístění vtokového ústí:

- v místě nejtlustšího výstřiku. Šíření taveniny probíhá z míst o největších průřezech do míst s nejmenším. Z důvodu aby tuhnutí taveniny probíhalo nejdříve na vzdálenějších místech od vtokového ústí,
- do střední části dutiny formy, aby bylo tavenině umožněno zatékat rovnoměrně do všech míst,
- u dílů opatřenými žebry by měla kaučuková směs proudit po směru jejich umístění,
- mimo namáhaných míst nebo výstřiků pro opticky činné plochy,
- u výrobků s dírami se ústí umísťuje do těchto otvorů,
- v místech, kde by mohlo docházet k únikům vzduchu z dutiny formy
- v místech s velkou pravděpodobností vzniku studených spojů a mimo pohledová a namáhaná místa,
- do míst formy, aby bylo zamezeno turbulentnímu toku kaučukové směsi,
- do míst, aby nebyla vidět po odstranění vtoku vstřikovací stopa. [12]

Typy nejčastěji používaných vtokových ústí:

- bodová - výhodou je automaticky oddělený vtokový zbytek od výstřiku při otevření dutiny formy,
- tunelová - hlavní využití spočívá tam, kde není možné plnění dutiny formy uskutečnit v dělicí rovině z důvodu vzhledových, nebo funkčních,
- membránová - užití u kruhových výstřiků. Mezi výhody patří rychlé zaplnění formy po obvodu. Nevýhoda spočívá ve větším vtokovém zbytku,
- vějířovitá - užití nalézá u dílů s malou tloušťkou materiálu a směsi s nízkou viskozitou. Výhody spolu s nevýhodami jsou podobné, jako u membránového vtokového ústí,
- prstencová – užití nalézá u výstřiků dutých a rotačních.

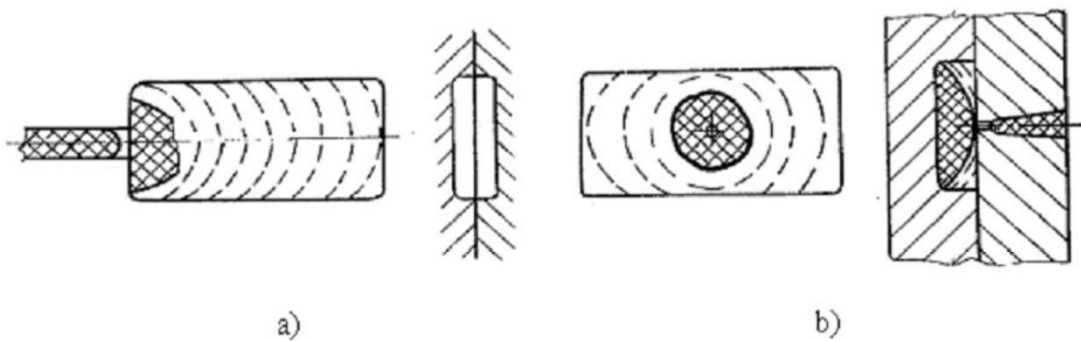


Obr. 14 Nejužívanější druhy vtokových ústí [20]

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

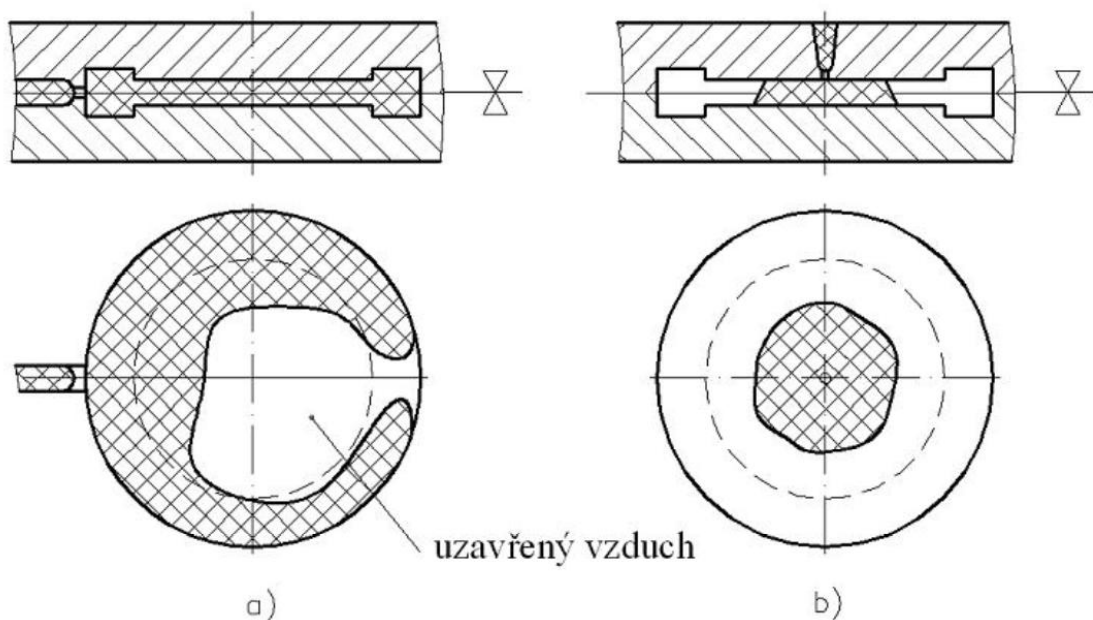
## 6.9 Plnění dutiny formy

Ideální plnění dutiny formy kaučukovou směsí probíhá za předpokladu, že je dutina formy symetrická. Po změně průřezu formy přestává daná zásada platit. V takovém případě tavenina proudí dutinou formy místem nejmenšího odporu skrz největší průřez. Pokud nastane daný problém, tak se vtokové místo přesouvá do největšího průřezu a do dělicí roviny. [20]



Obr. 15 Postup vyplňování dutiny formy taveninou [20]

a) boční vtokové ústí, b) středové bodové ústí



Obr. 16 Postup vyplňování dutiny při rozdílném průřezu [20]

a) boční vtokové ústí, b) středové bodové ústí

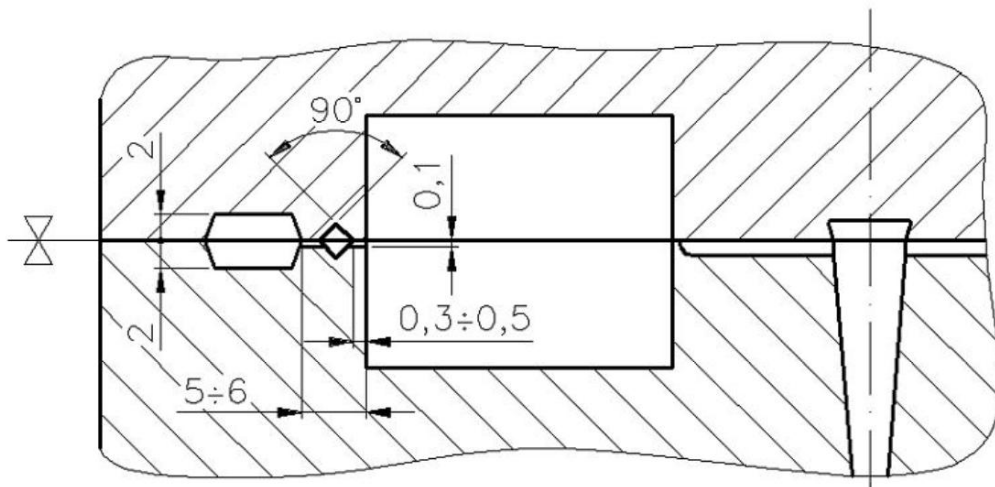
## 6.10 Přetoky v dělicí rovině

V případě chybného dávkování směsi a vysokých vstřikovacích tlaků nad 100MPa může docházet k takzvanému přeplnění. V případě, že dojde k přeplnění, dochází k zatečení vstřikované směsi do dělicí roviny. Následně se tvoří výstřiky s velkými přetoky, které je potřeba oddělovat od následného výstřiku. Tímto dochází k větší pracnosti a celkové finanční nákladnosti. [20]

Za pomoci vylehčení dosedacích ploch v dělicí rovině lze předejít přeplnění formy

Možné konstrukční řešení dosedacích ploch:

- dosedací plocha je odlehčena po obvodu tvarové dutiny ve vzdálenosti 5mm od zaskřipávací drážky. dosedacích ploch a vtokových kanálků,
- snadné odstranění přetoků zajistí zhotovená přetoková a zaskřipávací drážka kolem tvarové dutiny ve vzdálenosti 0,3 až 0,5 mm [20]



Obr. 17 Možné provedení zaskřipávací drážky [20]

## 6.11 Odvzdušnění dutiny formy

Jedná se o konstrukčně technologické opatření, které zajišťuje dostatečné odvzdušnění dutiny formy. V případě nedostatečného odvzdušnění formy, může dojít k jejímu zahřátí, které následně způsobí spálené místo na výstřiku. U pomalých úniků vzduchu vzniká výrobek nedostříknutý. [20]

## 6.12 Vytápění forem

Probíhá většinou za pomoci elektrické energie, kde je poté ve formě dosahováno teplot v rozpětí 140 až 200 °C. Zrychlení průběhu vulkanizace se docílí zvýšením teploty o přibližně 20 °C. Nad 200 °C již zvyšování teploty postrádá smysl. Nad 240 °C již nedochází k žádnému pozitivnímu účinku na průběh rychlosti vulkanizace. Následnou regulaci zajišťují termostatické přístroje. O rovnoměrnost teplotního pole se starají izolační prvky. [18]

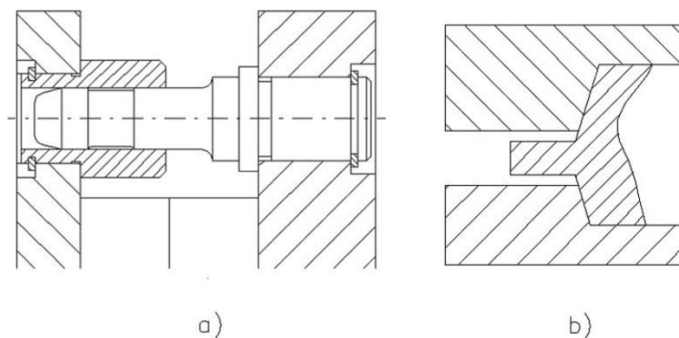
Vytápění pro stroje:

- horizontální - tepelná tělíska
- vertikální - topné desky

Před začátkem výrobního procesu je nutné formu vytemperovat na určitou teplotu. Následně je za pomoci trysky do dutiny formy přivedena kaučuková směs, která je uvnitř vytemperována na teplotu vulkanizace daného materiálu. [12]

## 6.13 Středění forem

Cílem vystředění formy je dosáhnout co nejlepší soustřednosti dutiny formy zhotovených v jednotlivých deskách. K vystředění dutiny formy se aplikují středící čepy. Čepy bývají umístěny v pevné polovině formy, kdežto v části pohyblivé jsou umístěny vodící pouzdra. Vystředění formy probíhá zasunutím středících čepů do vodících pouzder. Minimálně jeden čep je umístěn asymetricky nebo je použit většího průměru, aby bylo zabráněno otočení desky. Pouzdra i čepy jsou zhotoveny z tepelně zpracovatelných materiálů. V případě použití vodících dílů je nutné počítat s tepelnou dilatací vodících čepů. [20]



Obr. 18 Příklad středění formy

a) středění vodícími čepy, b) středění na kužel

## 6.14 Vyhazování výstřiků z forem

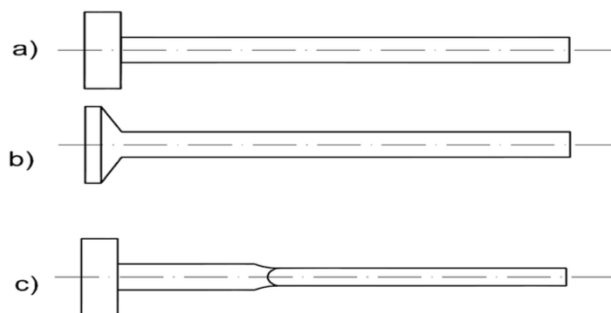
Jsou to poloautomatické, nebo automatické vyhazovací zařízení, která jsou plně automatizovaná. Je to činnost stroje, při které dochází k vyhození hotového výrobku z dutiny formy vysunutím, nebo vyhozením pomocí vyhazovacího systému. Systém vyhazování musí zajistit plynulý výrobní cyklus. [12]

Fáze vyhazovacího systému:

- dopředný pohyb (vlastní vyhazování),
- zpětný pohyb (navrácení do počáteční polohy).

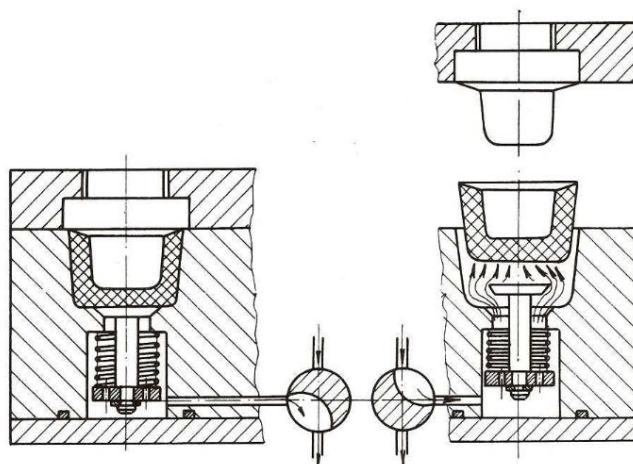
Dělení vyhazovacího systému:

- pneumatické,
- hydraulické,
- mechanické. [12]



Obr. 19 Mechanické vyhazovací kolíky

a) s válcovou hlavou, b) s kuželovou hlavou, c) prizmatické



Obr. 20 Pneumatický vyhazovací systém [20]



## 7 ZÁSADY PŘI NAVRHOVÁNÍ ELASTOMERNÍCH VÝROBKŮ

Při navrhování formy pro elastomerní výrobek je prvořadě vycházet z výkresu výrobku. Výkresová dokumentace pro elastomerní výrobek se nezabývá technologií výroby. Z tohoto důvodu se výrobek následně upravuje tak, aby byl v souladu s vybraným výrobním postupem. [18]

Při výrobě elastomerních výrobků mohou vzniknout problémy, pokud se při konstrukci nedodrží určité meze tvarů a jejich vlastností. Obecně platí, že jednodušší součásti mají výhodnější pevnostní podmínky, jednodušší dodržení rozměrů, výroba formy je méně nákladná a výroba výstřiků je méně náročná. Obecně ale platí, že je potřeba najít kompromis mezi určitými požadavky. [20]

Konstrukce musí dodržovat určité základní znaky technologičnosti:

- tvary by měly být voleny co nejjednodušší,
- úprava tvaru součásti, aby dosahovala co nejmenší hmotnosti při zachování pevnosti spolu se zachováním dynamických a mechanických vlastností,
- volba konstrukce, aby při převulkanizování nevznikaly neshodné výrobky nebo rozdílné průřezy nedovulkanizováním,
- pečlivě promyslet odvzdušněné formy,
- dokončovací práce se snažit omezit na minimum. [20]

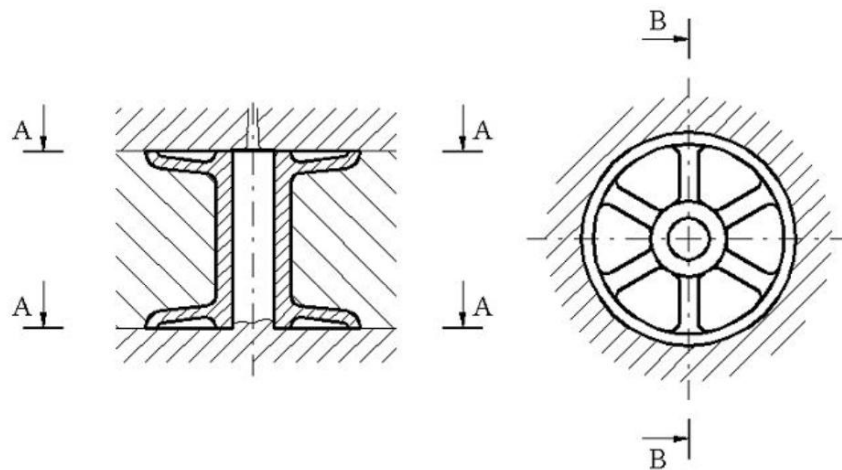
### 7.1 Dělicí plocha

Je to plocha, kde na sebe dosedají při uzavření dutiny části formy. Dělicí plocha je zde nejčastěji označována jako dělicí rovina. Její správné umístění je důležité pro následné jednoduché vyjmutí výrobku z dutiny formy a také aby nezpůsobovala vady na výrobku. [18]

Dělicí rovina se dělí na hlavní a vedlejší. Hlavní dělicí rovina je zpravidla kolmá na směr uzavírání formy. Další dělicí roviny jsou označeny jako vedlejší. [18]

Umístění dělicí roviny je zpravidla do vypouklé plochy nebo hrany výrobku.

Správným umístěním dělicí roviny je také možné eliminovat případné opotřebení formy během výroby. [18]



Obr. 21 Řešení dělicích rovin

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

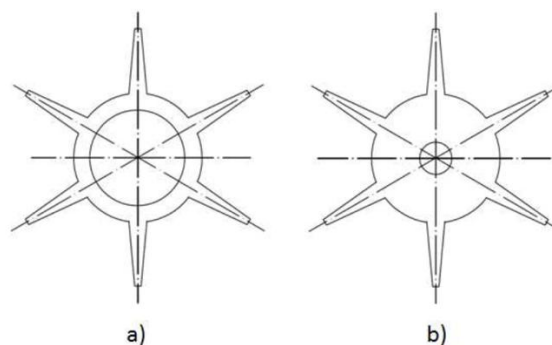
## 7.2 Tloušťka stěn

V různých místech výstřiku lze stejnoměrnosti základních vlastností pryže docílit jen tehdy, pokud je totožná tloušťka všech průřezů. Následná vulkanizace výrobku poté probíhá rovnoměrně.

Tloušťka stěn by měla splňovat následující požadavky:

1. funkční (tuhost, pevnost, rozměrová stálost),
2. výrobní (požadovaná přesnost, způsob vyhazování, vlastnosti zpracovávaného materiálu),
3. ekonomické.

Kaučukovou směs je nutné prohřát stejnoměrně v celém průřezu pro získání kvalitního vulkanizátu. Tato operace je náročná, protože kaučuková směs je špatným vodičem tepla. [18] [20]



Obr. 22 Správný a nesprávný návrh tloušťky stěny [20]:

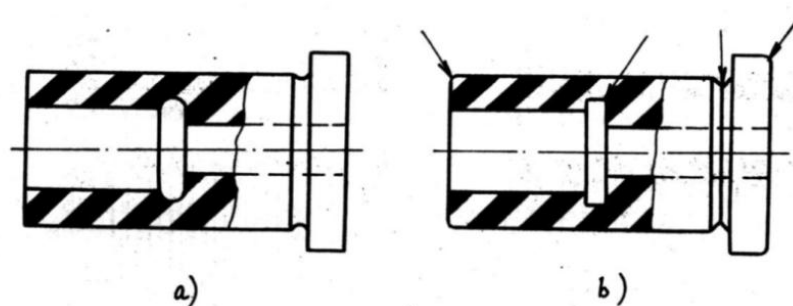
Na prvním obrázku je vyobrazen správný návrh tloušťky stěny, kde je stejnojmenná tloušťka, pozvolné přechody spolu s velkým zaoblením. Na druhém je nesprávný návrh, kde je nesprávně zvolena tloušťka stěn, spolu s náhodnými přechody a malým nebo žádným zaoblením.

Z větší části nelze dosáhnout stejné tloušťky průřezu díky konstrukčním důvodům. Díky tomu jsou následně použity pozvolné přechody mezi jednotlivými průřezy. Obzvláště jemné přechody musí být použity u tvrdé pryže. Přechody stěn o různých tloušťkách musí být pozvolné, jinak může nastat velká možnost vzniku trhlin vlivem nerovnoměrného smršťování v průběhu chládnutí výstřiku. [20]

### 7.3 Zaoblení hran

Nutné zaoblení hran je potřebné zejména v dutině formy, kde protéká tavenina. Zaoblení zamezuje špatnému toku taveniny v dutině formy, ulehčuje vytažení výrobků, snižuje jeho zbytkové pnutí a také zlepšuje jeho tuhost. [18]

Výskyt hran, koutů, vrubů a zářezů má nepříznivý vliv na životnost a mechanické vlastnosti výrobku. V těchto místech narůstá napětí ve vláknech a tím rychleji podléhají únavě. Součást by měla mít mírně kuželovitý tvar a zaobleny všechny hrany i kouty. Obvyklá velikost zaoblení činí 1mm u statických namáhaných součástí a u dynamicky namáhaných by mělo být použito ještě většího zaoblení. Nedoporučuje se ovšem zaoblovat hrany v místě dělicí roviny z důvodu znesnadněného vyhození součásti a zdražení výroby. [20]



Obr. 23 Konstrukce zaoblení hran výstřiku [20]

a) správné zaoblení hran, b) nesprávné řešení – zářezy, ostré hrany, nesprávné zaoblení

## 7.4 Úkosy, podkosy, zápichy

Úkosy umožňují jednodušší vytažení výrobku z formy. Jedná se o jemný sklon stěny uvnitř dutiny formy. Je nutné, aby byly na veškerých kolmých plochách k dělicí rovině a to na vnějších i vnitřních plochách zároveň. Úkosy na vnitřních plochách by měly mít dvojnásobnou velikost oproti vnějším plochám z důvodu smršťování elastomeru. Velikost úkosu též ovlivňuje výška výrobku a jeho zbylé rozměry.

Podkos je typ úkosu, který zabraňuje vytažení výrobku z formy. Totožně se chovají různé nálitky, výstupky, zápichy, které neleží v dělicí rovině. Občas se podkos volí se záměrem, aby výrobek zůstal v jedné části formy, kde je následně vytlačen vyhazovačem. Výrobky vyhotovené se zápichem je možné rozdělit. Následně se rozdělené části spojují například lepením. [18]

## 7.5 Otvory

Je možné je umístit kolmo k dělicí rovině, rovnoběžně nebo také pod různým úhlem. Při tvorbě otvorů je nutné myslet na pevnost a tuhost výrobku, aby je nesprávnou konstrukcí nezmenšovaly. U komponentů z pryžového materiálu je možné v průběhu tváření vytvořit různé otvory za pomoci trnů. Trny jsou v průběhu tváření kaučukové směsi značně namáhané na tlak, proto je nutné tlak řídit, aby nedocházelo ke změně polohy trnu. [18] [20]

## 7.6 Okraje, obruby

Při tvorbě tenkostěnných dílů z pryžového materiálu je nutné použít zesílených okrajů, kde vznikne takzvaná obruba. Její základní vlastností je chránit okraj výrobku před roztržením. [20]

Pokud je špatně zvolená konstrukce okraje výrobku, následně může způsobovat závažné poruchy při jeho používání. U pryžových dílů jsou nejvíce namáhané povrchové a okrajové vlákna. Z těchto důvodů je nutné konstruovat správné zakončení okrajů, jinak dochází ke kumulaci napětí a následnému poškození. [20]

## 8 PROBLÉMY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ

Existuje velké množství problému při vstřikování elastomerních materiálů a to především technologické, ekonomické a designérské. Mohou nastat ale i další problémy, které nelze jednoduše zjistit, dokud se neotevře forma. [11]

Nejčastější problémy:

### **Smrštění a rozměrová stálost výstřiku**

Ke smrštění výstřiku a teplotní dilataci dutiny formy dochází v průběhu vulkanizace z důvodů rozdílného koeficientu tepelné roztažnosti elastomeru a kovu. Smrštění u výrobku z elastomeru je definováno, jako rozdíl konečného výrobku a rozměru dutiny formy za pokojové teploty. [11]

Následně je smrštění děleno na smrštění během chlazení a dodatečné smrštění, které je mnohem menší, oproti smrštění během chlazení a projevuje se v delším časovém horizontu. Hodnota smrštění je proměnná a tím představuje velký problém pro konstrukci dutiny formy. [11]

### **Soudržnost a přilnavost**

Soudržnost výrobku k povrchu dutiny formy je nutná, naopak přilnavost elastomeru je nežádaná. Použití separačních činidel zamezuje přilepení kaučukové směsi k povrchu formy. Separáčnící činidla jsou z větší části tvořena na bázi silikonu a nanášeny na povrch dutiny formy v dělicí rovině. [11]

### **Propadliny**

Jsou to vady na výrobku, které vypadají jako propadlé dutiny, nebo trhliny zapříčiněné tepelnou roztažností elastomeru po zesíťování. Nejčastěji se tento jev nachází u výrobků ve tvaru koule. [11]

Propadliny lze eliminovat zmenšením šířky stěny nebo zvýšeným dotlakem a velikostí vtoku. [11]

### **Předčasná vulkanizace**

Může nastat při vstřikování elastomerní směsi před vstříknutím do formy. Při tomto jevu nastává velké zhoršení tokových vlastností a může nastat deformace nebo nedotečení výstřiku. Zapříčiněna může být několika možnostmi a to vysokou vstřikovací teplotou, vysokou teplotou formy nebo dlouhou vstřikovací dobou. [11]

### **Dlouhé vulkanizační cykly**

Problém nastává při nízkých teplotách formy a nízké vstříkovací teplotě. Děj opačný k předčasné vulkanizaci. [20]

### **Nerovný povrch**

První vstříkovaná směs při kontaktu s horkým povrchem formy způsobí na povrchu směsi takzvanou pomerančovou kůru. Důvodem je předčasná vulkanizace před úplným zaplněním formy. Nerovný povrch tedy nastává sloučením dříve a později zvulkanizovaného kaučuku uvnitř formy. [11]

### **Pórovitost**

Bývá zapříčiněna nedokonalou vulkanizací za přítomnosti vody ve směsi. Problém lze řešit vyšší vstříkovací teplotou směsi, nebo vyšší teplotou formy. [11]

### **Puchýře uvnitř výstřiku**

Nejčastěji jsou zapříčiněny uzavřeným vzduchem uvnitř směsi. Vzduch se objevuje ve směsi při míchání a také dalších operacích. [20]

### **Vzduchové bubliny**

Objevují se pokaždé na totožném místě. Ke vzniku dochází zachycením vzduchu na povrchu formy. Jejich lokalizace je zpravidla ústí vtoku a nebo rohy formy. [20]

### **Oxidace**

Nastává při zachycení vzduchu na určitých místech. Pryž se následně v těchto místech stává lepkavá. [20]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 9 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci jsou stanoveny následující cíle:

- vypracování literární studie na dané téma,
- návrh pryžové vstřikované součásti ve 3D,
- návrh vstřikovací formy pro zadaný výrobek, včetně výrobní dokumentace,
- analýza vstřikovacího procesu.

Cílem bakalářské práce je konstrukční návrh vstřikovací formy pro pryžový komponent do automobilu. Forma je navržena s ohledem pro vstřikovací stroj REP 27 / Y125, který se nachází v dílnách ústavu výrobního inženýrství. Součástí bakalářské práce je také kusovník normalizovaných dílů, spolu s výkresovou dokumentací všech nenormalizovaných částí formy. Dokumentace může následně posloužit k následnému zhotovení formy.

První část se zabývá konstrukcí vstřikovací formy spolu s popisem jednotlivých součástí formy. Pro zhotovení 3D modelu komponenty spolu s modelem vstřikovací formy byl použit program Catia V5.

Druhá část se zabývá vstřikovacím procesem s jeho vyhodnocením. Pro zhotovení analýzy vstřikovacího a vulkanizačního procesu byl použit program CadMould v11.



## 10 POUŽITÉ SOFTWARE

### 10.1 Catia V5

Catia je konstrukční aplikace navržena firmou Dassault Systemes. Daný software je vhodný jak pro návrh 3D modelu dané součástky a vstřikovací formy, tak k vypracování veškeré výkresové dokumentaci a mnoho dalšího. Program je také schopen importovat řadu různých souborů ve 2D a 3D formátech, pro následnou modifikaci.

### 10.2 Cadmould v11

CadMould je software vhodný pro analýzu vstřikování plastů a kaučuků. S jeho pomocí je možné optimalizovat konstrukci dílů a vstřikovacích forem. Navrhuje vhodnou technologii vstřikování. Oproti konkurenci nabízí vyšší rychlost výpočtů, přesnější simulační výsledek spolu s jednoduchým ovládním.

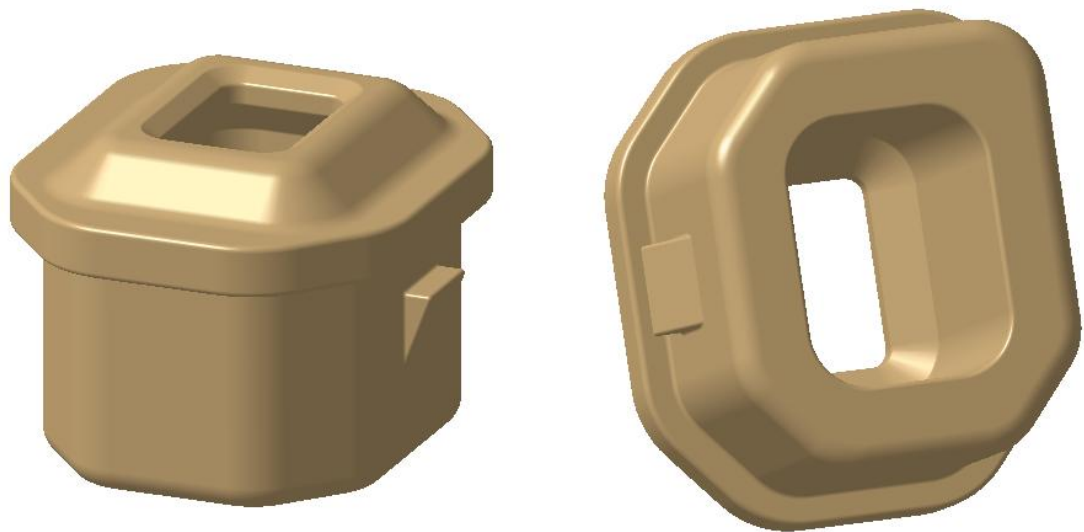
S jeho pomocí lze také v závislosti na použitém materiálu a dalších parametrech vypočítat dobu plnění, rychlost a trvání vulkanizace ve formě. Z podrobných výsledků simulací lze vyčíst také vhodnou modifikaci dílů i forem. Simulace také pomáhají předejít možným vstřikovacím vadám, které by eventuálně mohly nastat.

### 10.3 Meusburger katalog

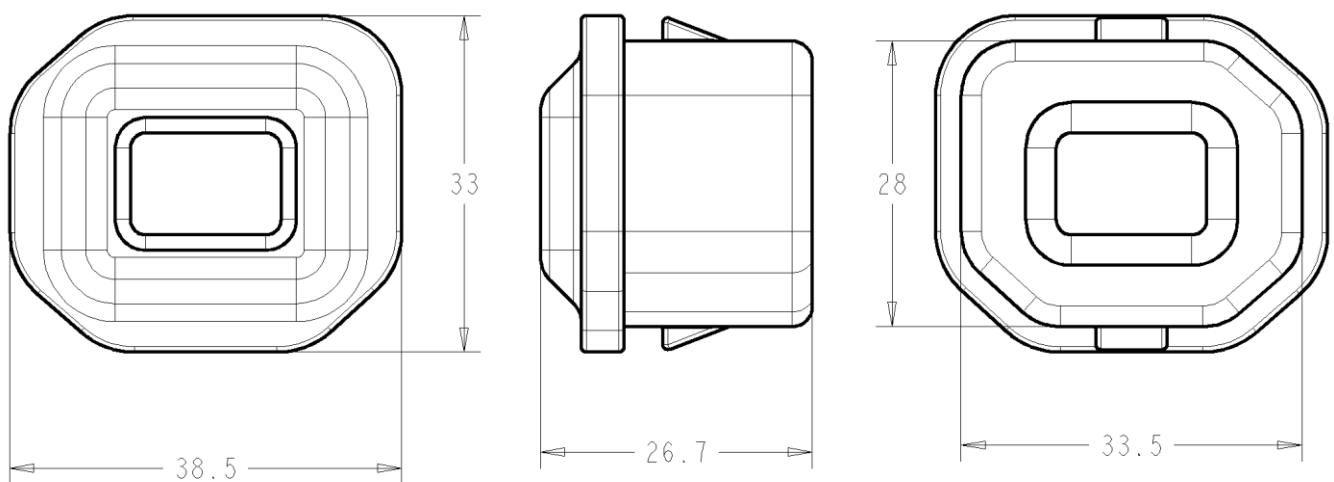
Software obsahující veškeré normalizované součástky vstřikovacích forem z větší části vyráběné touto firmou pro pryžový díl. Jednotlivé normalizované komponenty vstřikovací formy je možné stáhnout z jejich online databáze v mnoha formátech. Jako hlavní formáty lze uvést STEP, IGS.

## 11 SPECIFIKACE VÝROBKU

Jedná se o pryžový tlumící komponent sloužící ke kompenzaci rázů na chladiči chladící kapaliny v automobilu značky BMW. Komponent je umístěn do funkční pozice nasunutím na předem stanovený držák. Následná výměna je tedy jednoduchá, protože komponent není nijak přilepený, stačí tedy za pomoci relativně malé síly ručně vysunout z držáku a vyměnit za nový.



Obr. 24 Tlumící komponent chladiče pro vozidlo BMW



Obr. 25 Základní rozměry vstříkovaného komponentu

## 11.1 Použitý materiál

Zvolený materiál ke vstřikování byl EPDM o tvrdosti 55 shore. EPDM je charakteristická svou mimořádnou odolností proti zestárnutí, ozónu a teplu. Disponuje vysokou odolností vůči trvalé deformaci. Má široký teplotní rozsah použití od  $-30^{\circ}\text{C}$  až po  $140^{\circ}\text{C}$ . Materiál téměř vůbec neabsorbuje vodu, má skvělou parotěsnost a vysokou odolnost vůči polárním kapalinám, jako jsou alkoholy, ketony, kyselina octová. EPDM není vhodné používat v prostředí polárních kapalin, minerálních olejů a veškerých hydrokarbonátů.

Jako u většiny kaučuků se EPDM používá vždy ve směsi s plnivý, jako jsou saze a uhličitán vápenatý, se změkčovadly, jako jsou parafinové oleje. Užitečné kaučukové vlastnosti má pouze při zesítnění. K zesítnění dochází většinou prostřednictvím vulkanizace sírou, ale také s peroxidy (pro lepší tepelnou odolnost) nebo s fenolovými pryskyřicemi.

## 12 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Návrh vstřikovací formy byl proveden pro vertikální vstřikovací stroj Rep V27/Y125, sloužící ke zpracování elastomerních směsí. Materiál se dávkuje do šnekové plastikační jednotky ve formě pásku, kde je zplastikován a dopraven do vstřikovací jednotky. Následně je materiál za pomoci pístu vpraven do tvarové dutiny formy.



Obr. 26 Vstřikovací stroj Rep V27/Y125 [16]

Specifikace vstřikovacího stroje:

Tab. 7 Parametry uzavírací jednotky [28]

Uzavírací jednotka	Hodnota	Jednotka
Maximální rozměr formy	300 x 300	mm
Výška formy	115 až 495	mm
Přísouvací síla	57	kN
Uzavírací síla	502	Max. kN

Tab. 8 Parametry vstřikovací jednotky [28]

Vstřikovací jednotka	Hodnota	Jednotka
Vstřikovací tlak	250	max. bar
Objem vstřikované dávky	125	max. cm <sup>3</sup>
Průměr pístu	40	mm
Průměr šneku	20	mm
Otáčky šneku	460	max. ot./min
Účinná délka šneku	15	L/D

Tab. 9 Všeobecné parametry stroje [28]

Všeobecné parametry	Hodnota	Jednotka
Výkon topných těles	2,21	kW
Rozměry stroje	900x1340x2675	mm

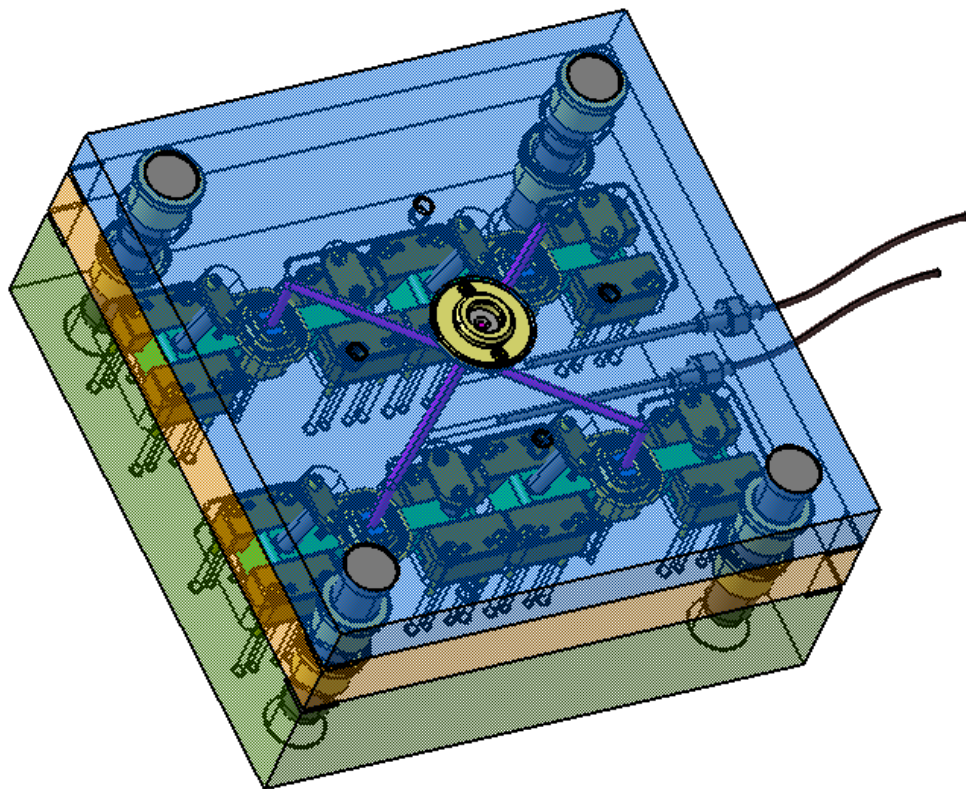
Základní technické parametry formy:

Tab. 10 Parametry vstřikovací formy [28]

Vstřikovací forma	Hodnota	Jednotka
Šířka	296	mm
Hloubka	296	mm
Výška	142	mm
Max. objem vstřikované dávky	41,25	cm <sup>3</sup>

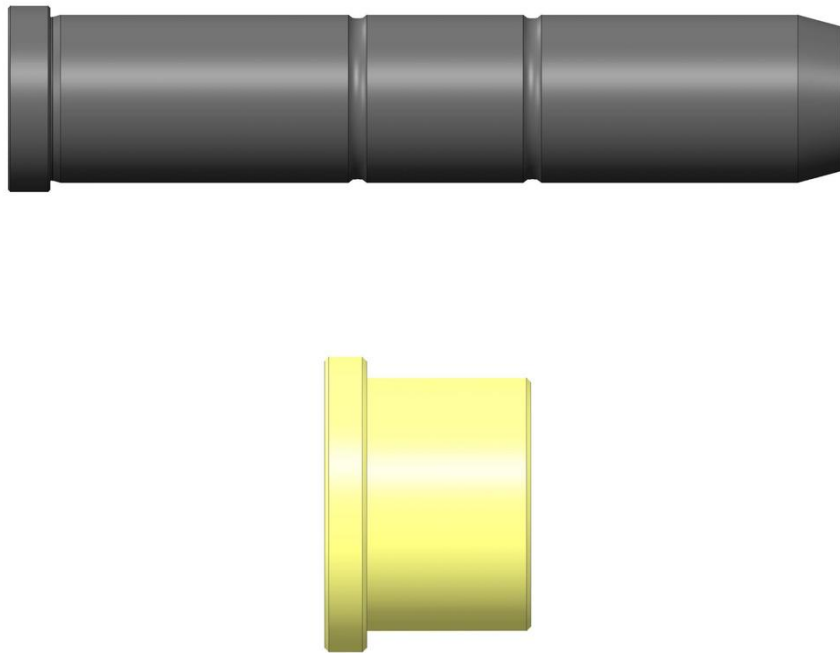
### 13 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce formy se odvíjí od složitosti a přesnosti dílu. Návrh by měl být vždy co nejjednodušší a nejlevnější. Vstřikovaný komponent spolu se vstřikovací formou byly vytvořeny v programu CATIA V5. Vstřikovací stroj Rep V27/Y125 neobsahuje vyhazovací systém, není tedy ani obsažen ve formě. Po otevření spodní části formy operátor vyjme hotové komponenty ručně. Forma je složena ze tří desek, tvárníku, tvárnice a z pohyblivých částí. Normalizované díly byly využity od firmy Meusburger.



Obr. 27 Náhled vstřikovací formy

Vstřikovací formu tvoří pravá, prostřední a levá část. V pravé části je uložena a zajištěna vtoková tryska středícím kroužkem a čtyřmi vodícími čepi. Ve střední části jsou uloženy uzavírací klíny se šikmými kolíky spolu s vodícími pouzdry. V levé části formy jsou uložena jádra tvárníku, tvarové segmeny, vodící lišty a vodící pouzdra. Aby se předešlo poškození vstřikovací formy vlivem vyosení některých desek, musí být forma dokonale vystředěna za pomoci vodících čepů. Tyto komponenty slouží k opakovanému vystředění jednotlivých desek formy v průběhu lisovacího cyklu.



Obr. 28 Vodící čep a vodící pouzdro

### 13.1 Násobnost formy

Při volbě násobnosti formy je nutné zohlednit několik významných činitelů, které ji ovlivňují. Jsou to především:

- komplikovanost a přesnost daného výrobku,
- výkonnost vstřikovacího stroje,
- výdaje na výrobu formy,
- objem požadované série.

S ohledem na výkonnost vstřikovacího stroje a požadovanou přesnost výstřiku byla zvolena čtyřnásobná forma.

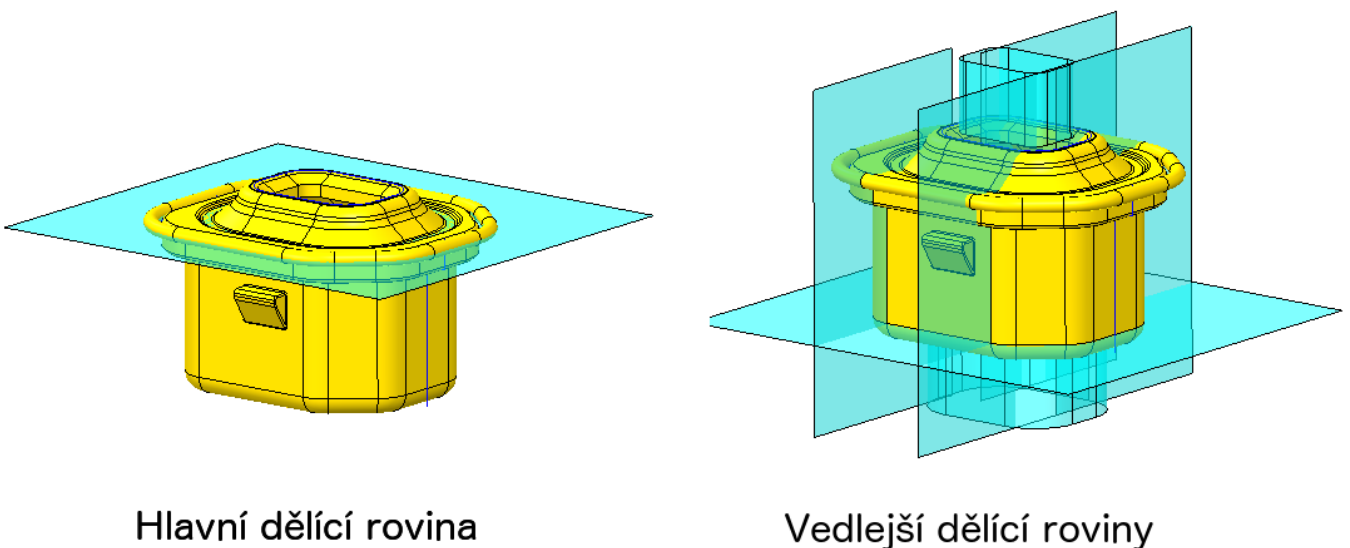
### 13.2 Zaformování výstřiku

Výchozím pravidlem při konstrukci formy je správné zvolení dělicích rovin. Rovnoběžná rovina s horní plochou se používá u plošných výrobků. Vtokový systém spolu s vtokovým systémem je pouze ve spodní tvarové desce.

V našem případě byla umístěna hlavní dělicí rovina do hrany rádiusu horní příruby výlisku. Umístění hlavní dělicí roviny vychází z tvaru výlisku, protože příruba je nejširší část vstřikovaného komponentu. Rovinu bylo možné umístit mezi horní a spodní rádius příruby, nebo na jejich hrany. V případě umístění hlavní dělicí roviny do hrany spodního rádiusu příruby by zůstala zachována kvalita výlisku.

Vedlejší dělicí roviny byly umístěny do hran svislých rádiusů, aby bylo možné jednoduše zkonstruovat tvar posuvných segmentů. Vedlejší dělicí roviny jsou rovnoběžné se směrem vysouvání bočních tvarových segmentů. Dělicí rovina uvnitř komponentu vychází z umístění štěrbinového vtoku.

Štěrbinový vtok bylo možné umístit do horní, nebo spodní hrany vnitřní příruby. Štěrbinový vtok zajišťuje rovnoměrné plnění dutiny formy a snadné oddělení výlisku od vtokové soustavy. Z důvodu jednoduššího oddělení štěrbinového vtoku od vstřikovaného komponentu byl umístěn do horní hrany příruby.

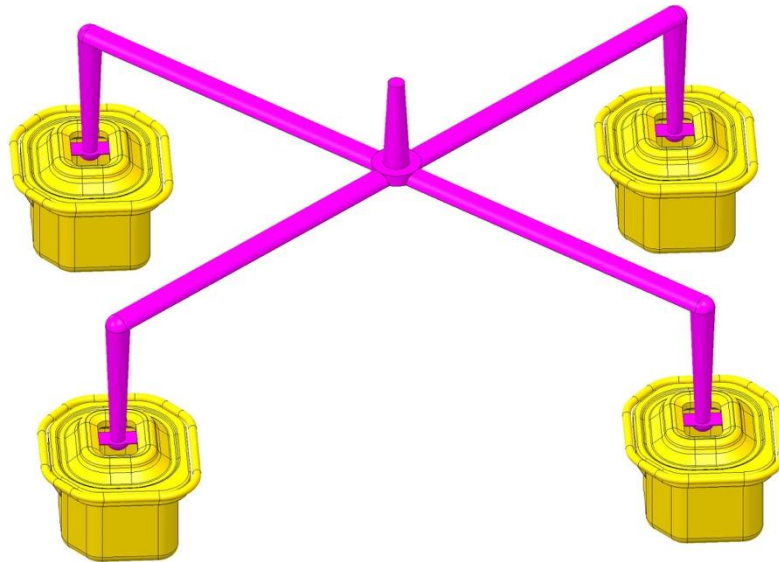


Obr. 29 Hlavní a vedlejší dělicí roviny

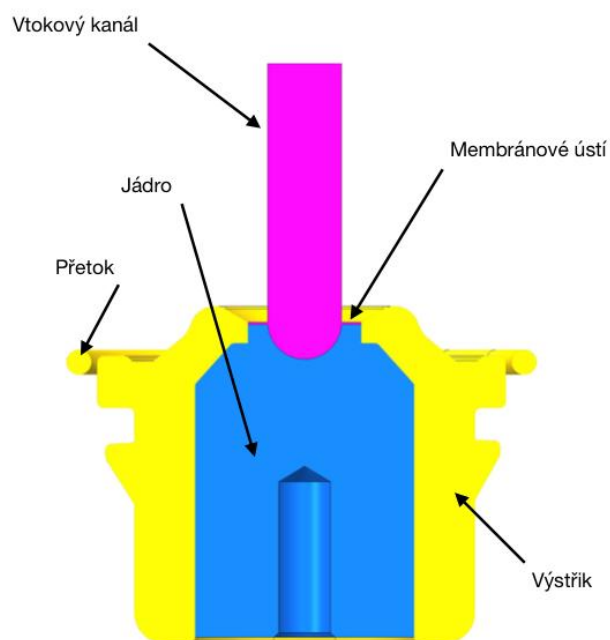


### 13.3 Vtokový systém

Pro vstříkování daného komponentu byl vybrán kuželový vtokový kanál, následně rozveden do čtyř stran půlkruhovými kanálky. Studené spoje byly minimalizovány za pomoci správně navrženého vnitřního membránového ústí, které zajišťuje rovnoměrné plnění dutiny formy.



Obr. 30 Skutečný vzhled vtokové soustavy

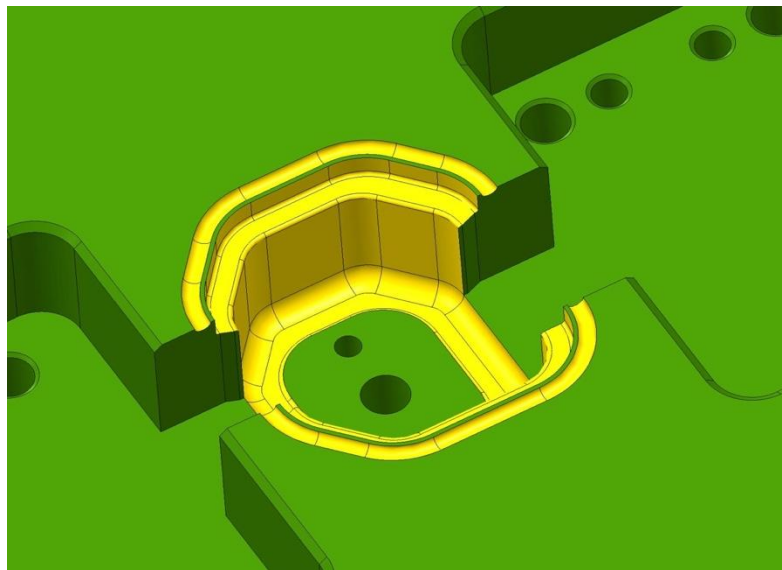


Obr. 31 Umístění vtokového systému

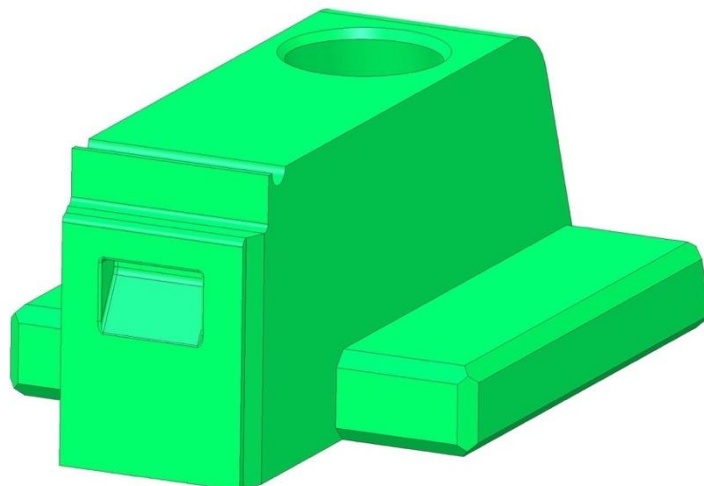
### 13.4 Tvarové části formy

Základ tvarové dutiny formy je integrován v levé a střední desce spolu s posuvnými segmenty, které tvoří kompletní dutinu pro vstříkovaný komponent. Tvarové segmenty slouží k vytvoření bočních trojúhelníkových nálitků na obou stranách.

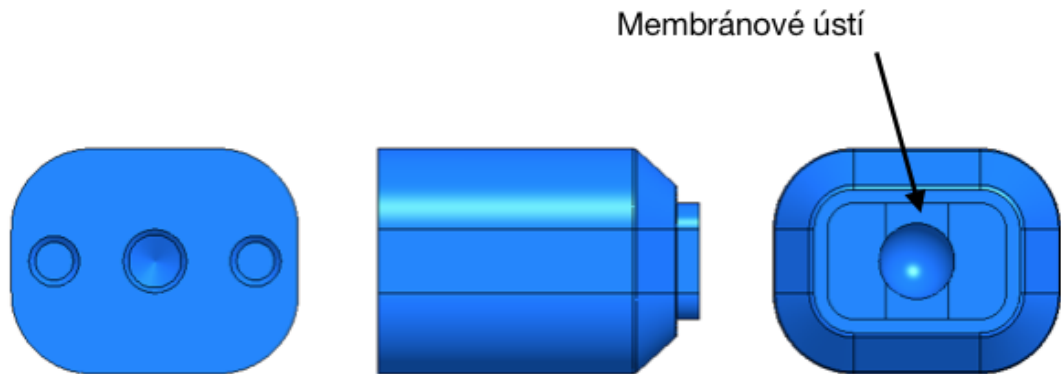
Za pomoci jádra je vytvořena dutina vyráběného komponentu. V horní části jádra jsou dále vytvořeny otvory pro membránové ústí. Jádro je vystředěno za pomoci dvou kolíků a uchyceno imbusovým šroubem ve spodní části.



Obr. 32 Tvarová dutina v prostřední desce formy



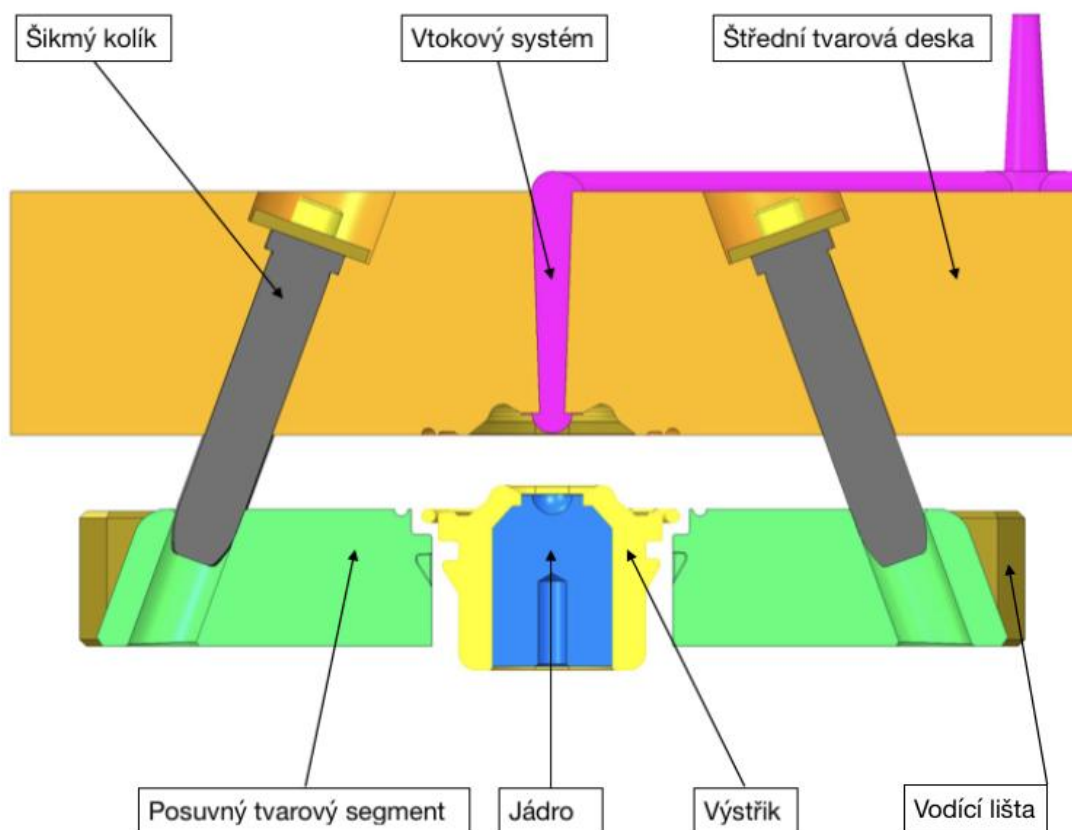
Obr. 33 Posuvný segment



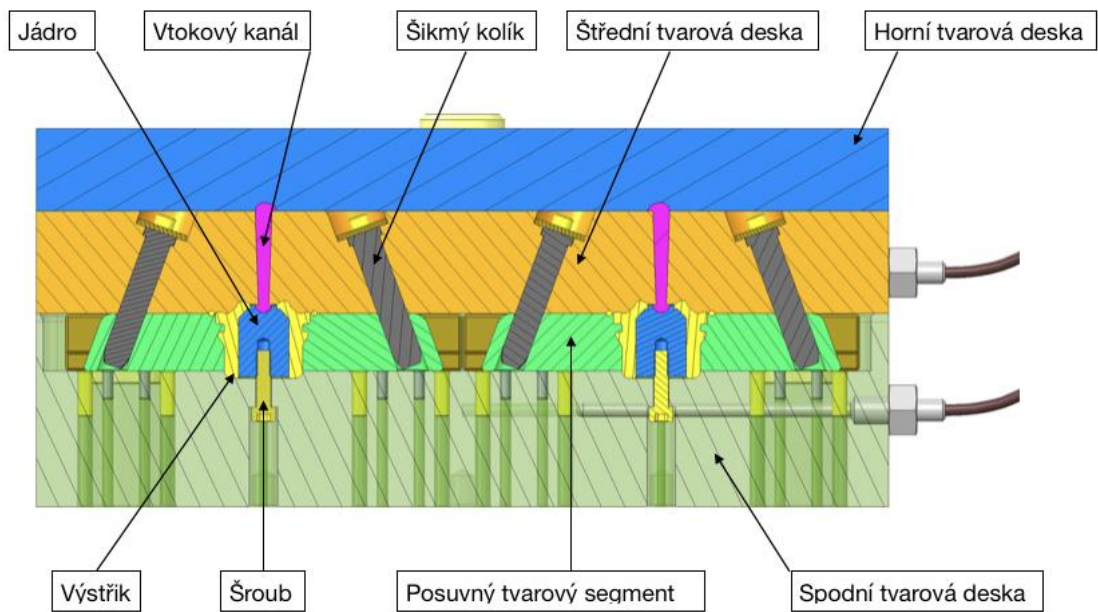
Obr. 34 Jádro komponentu s membránovým ústím

### 13.5 Odformování

K posunu tvarových segmentů po šikmých čepech dochází vlivem změny stavu formy z otevřeného na uzavřený stav, nebo opačně. Další segmenty, které dodávají vstřikovanému komponentu konečný vzhled se pohybují po kluzných deskách vodících lišt.

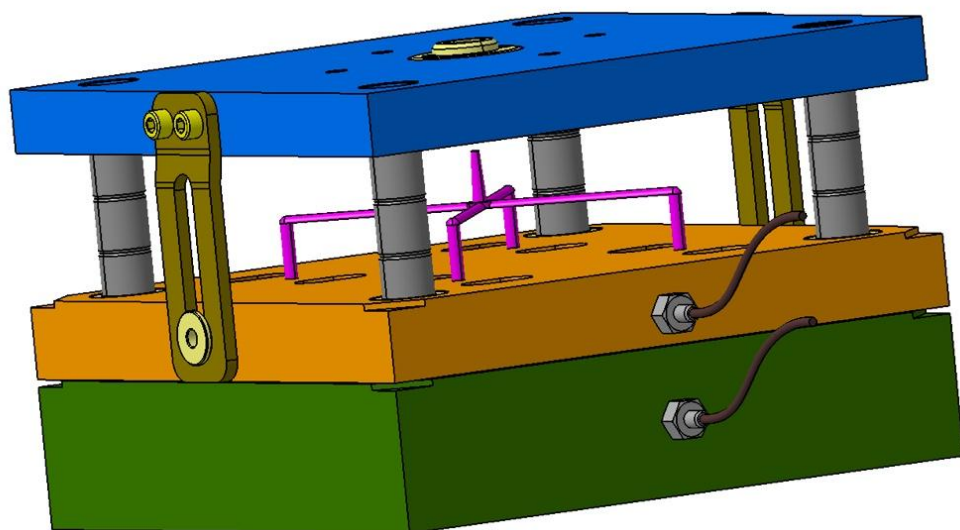


Obr. 35 Forma v otevřeném stavu

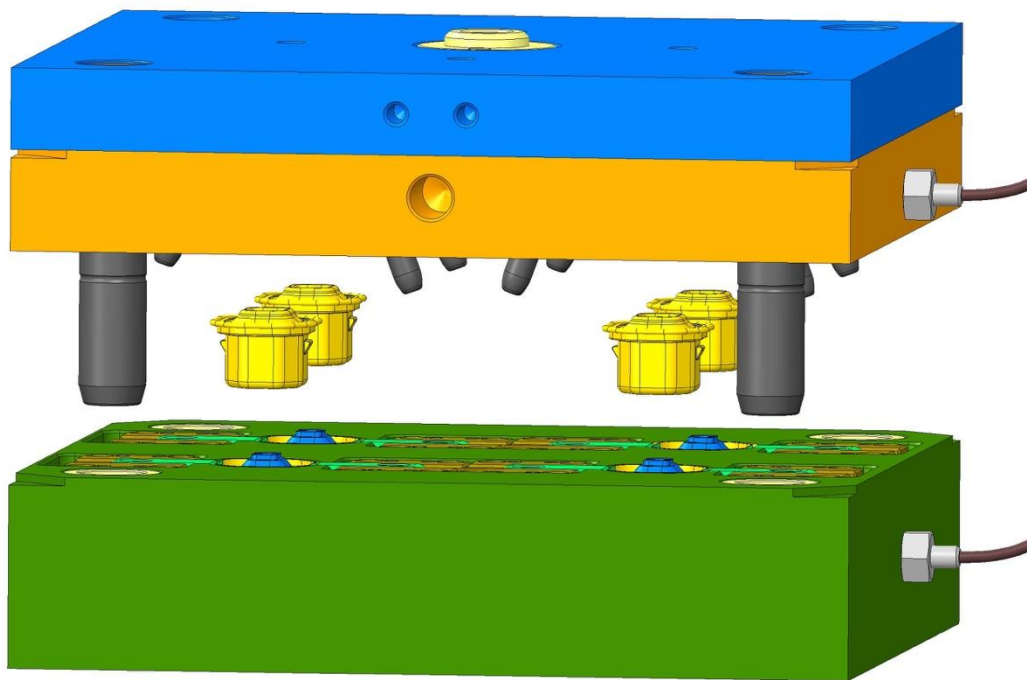


Obr. 36 Forma v průběhu vstřikování

K odformování vtokového kanálu po vstřikování kaučukové směsi dochází po otevření horní části formy do výšky 80mm, kde se následně ručně vytáhnou zbytky kaučukové směsi z formy. Operátor po otevření formy nejdříve vyjme zbytky vtokové soustavy a následně hotový vstřikovaný komponent ze spodní části formy. Přetoky ve formě vyčistí hubicí vzduchem pod vysokým tlakem. Pokud by docházelo k náročnému vyjímání vtokové soustavy, nebo výrobku, operátor nanese vrstvu separátoru. Po vytažení výrobku a vyčištění vstřikovací formy se vstřikovací cyklus opakuje.



Obr. 37 Vytažení vtokového zbytku po otevření formy



Obr. 38 Vytažení vstříkovaných komponent

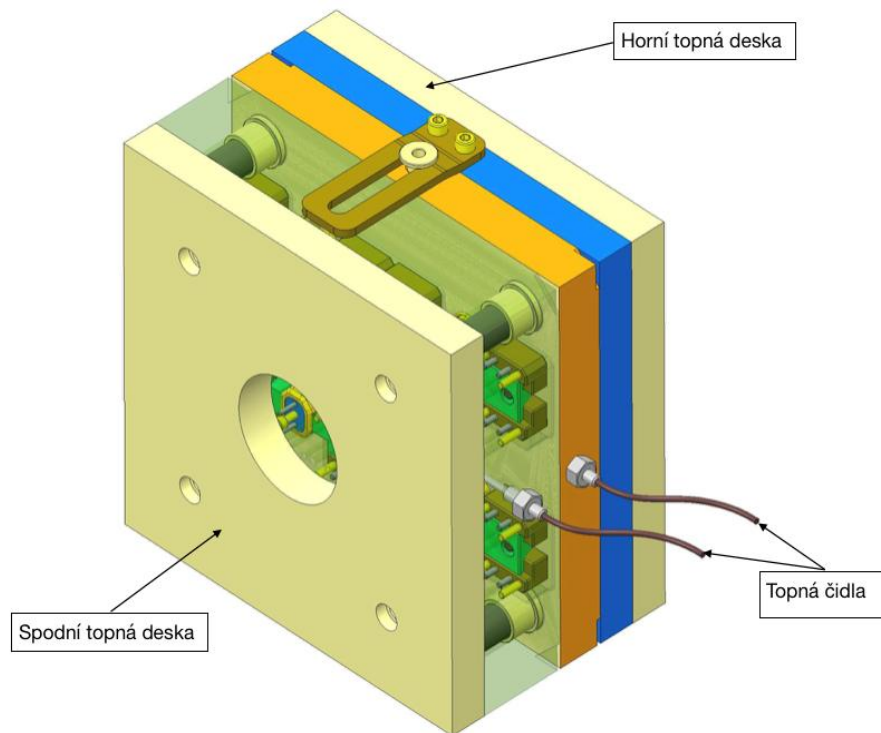
Vstříkovací stroj Rep V27/Y125 neobsahuje vyhazovací systém, vyhození výstříků je tedy prováděno ručně. Po následném rozevření formy se výstřík vyjme spolu s jádrem. Jádro se z dílu vyjme a vrátí zpět do dutiny formy. Kluzné desky jsou upevněny šroubovým spojem k desce tvárníku. Vystředění vodících lišt je zabezpečeno za pomoci kolíků. Je také nutné, aby tvarové segmenty lícovaly nejméně ve dvou místech s vodící lištou, jinak může dojít k pohybu tvarových segmentů.

### 13.6 Odvzdušnění

Tavenina při vstupu do dutiny vstříkovací formy vytlačuje velmi rychle vzduch před sebou, který po uzavření formy v dutině zůstal. Přestože určité množství unikne přes dělicí rovinu, musí být většina forem opatřena ještě dalšími konstrukčními prvky, které umožní kompletní a rychlý odvod vzduchu z dutiny vstříkovací formy. V navrhované formě se počítá pouze s únikem vzduchu pomocí dělicích rovin.

### 13.7 Temperace formy

Temperaturaci formy zajišťují topné desky, které zahrnuje vstřikovací stroj. Regulaci teploty formy zajišťuje dvojice odporových teplotních čidel, které se nacházejí v tvarových deskách, co nejbližší tvarové dutině. Za pomoci bajonetu na šroubovém adaptéru jsou uchytené teplotní čidla.



Obr. 39 Temperace vstřikovací formy



Obr. 40 Umístění teplotního čidla na vstřikovacím stroji

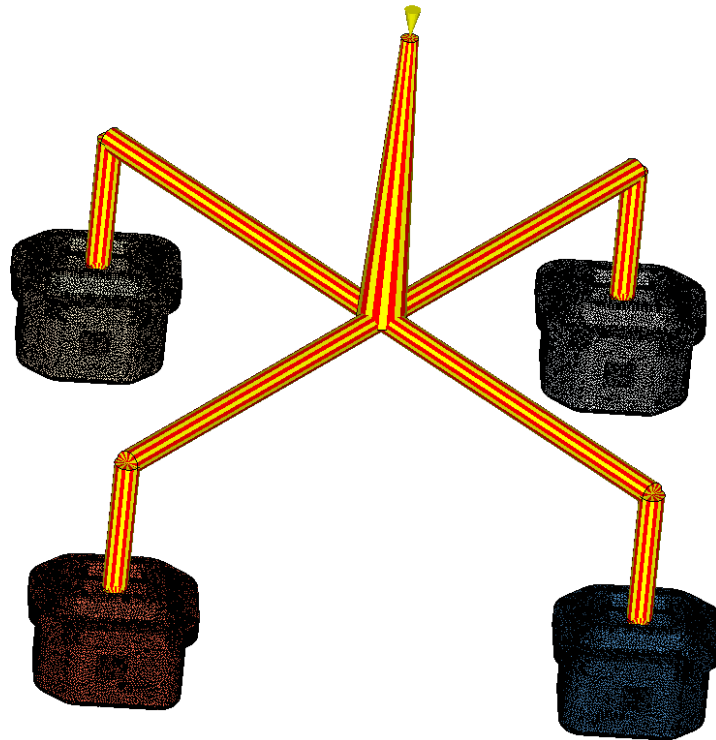


## 14 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

V dnešní době je již téměř povinností využívat simulačních analýz ve všech odvětvích. Bez výrazných nákladů dokážou odhalit možné problémy i vady u budoucích výrobků. Výsledky značně šetří peníze i čas potřebný na následné úpravy vstřikovací formy. Analýza vstřikovacího procesu včetně vulkanizace byla zpracována v programu Cadmould Rubber 11.

### 14.1 Příprava modelu

Import hotového komponentu do programu CadMould probíhá z formátu STP dříve vytvořeného v CAD systému. Po načtení komponentu do programu je nutné jej nejdříve převést na síťový model. Poté se do programu vloží vtoková soustava, která již byla dříve vytvořena v CAD programu a uložena ve formátu IGS. Vtokové soustavě je v programu nutné zadat průřezy a tvar. Následně se vybere vstřikovaný materiál. Po vybrání vstřikovaného materiálu se dále do programu CadMould vloží vstřikovací podmínky. Po doplnění těchto základních informací je možné spustit výpočet simulace a následně si jednotlivé požadované výsledky nechat zobrazit.



Obr. 41 Síťový model s vtokovou soustavou - CadMould

## 14.2 Procesní podmínky

U elastomerních výrobků je nutné znát průběh a rozložení teplot vstřikovaného dílu, aby bylo možné analyzovat vstřikovací proces včetně vulkanizace. Následně lze správně zvolit trvání a rychlost vulkanizace. Pro daný vstřikovaný komponenty byly zvoleny následující procesní podmínky uvedeny v tabulce. Materiál komponentu byl zvolen EPDM 55 Shore.

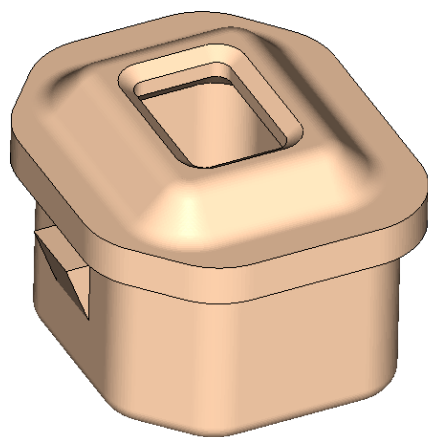
Tab. 11 Procesní podmínky vstřikování

	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
Čas plnění dutiny formy	15	s
Změna na dotlak	99	%
Vstřikovací tlak	200	bar
Teplota stěny dutiny formy	180	°C
Teplota taveniny	100	°C

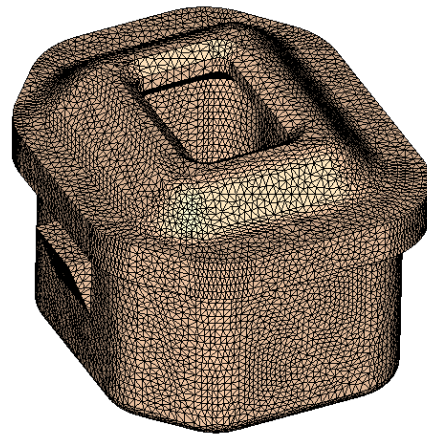
## 14.3 Metoda konečných prvků

Vstřikovaný komponent byl importován do programu CadMould v.11 ve formátu step. Po načtení modelu byl objem komponenty převeden na konečný počet prvků, takzvaných uzlových bodů. Bez převedení modelu na uzlové body program není schopen zobrazit možné deformace v určitých místech. Po převedení modelu na uzlové body a stanovení procesních podmínek vstřikování byla zahájena analýza.





Objemový model



Model s vytvořenou sítí konečných prvků

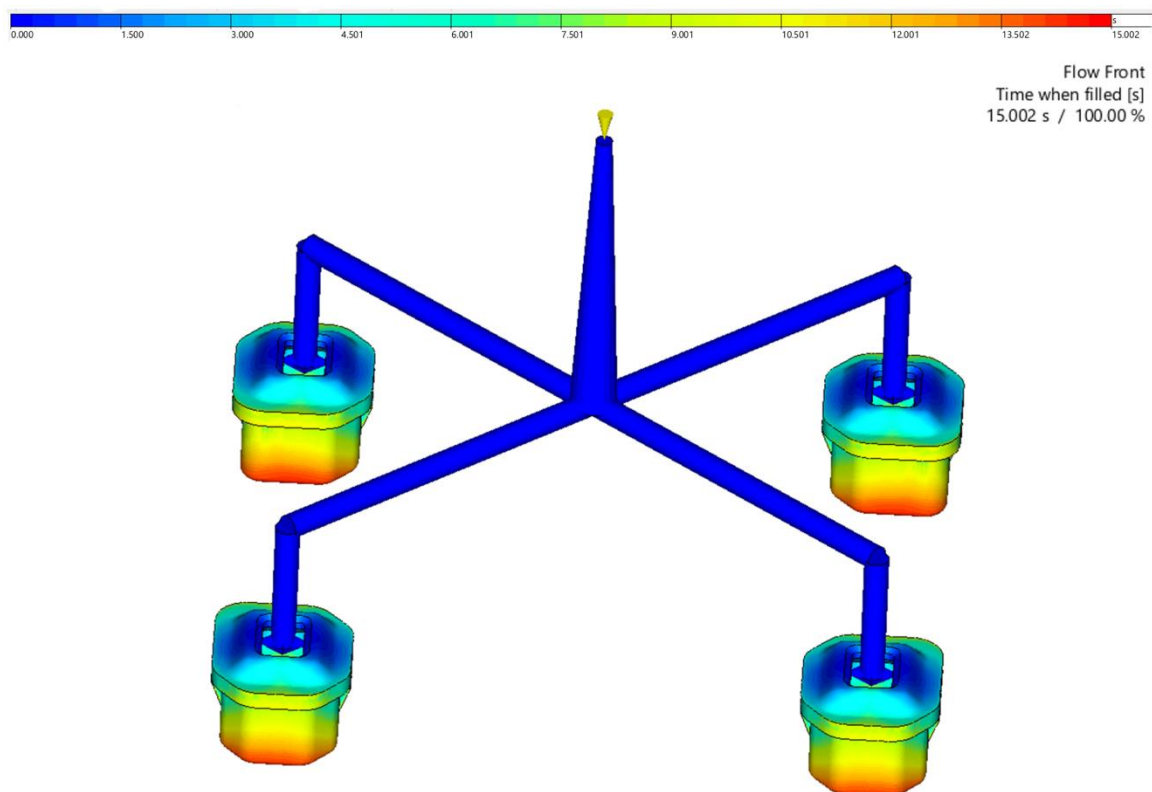
Obr. 42 Objemový model a model se sítí pro analýzu

#### 14.4 Výsledky analýz

Model vstříkovaného komponentu ve formátu step byl vložen do programu Cad-mould, kde byly posléze vloženy procesní podmínky a spuštěn výpočet analýzy vstříkovacího procesu. Analýza byla provedena pro jeden vstříkovací tlak. U tlaku je následně vyobrazen vliv na průběh a rychlost vulkanizace. Analýza byla provedena pro tlak 200 barů, maximální vstříkovací tlak stroje je 250 barů.

### 14.4.1 Plnění dutiny

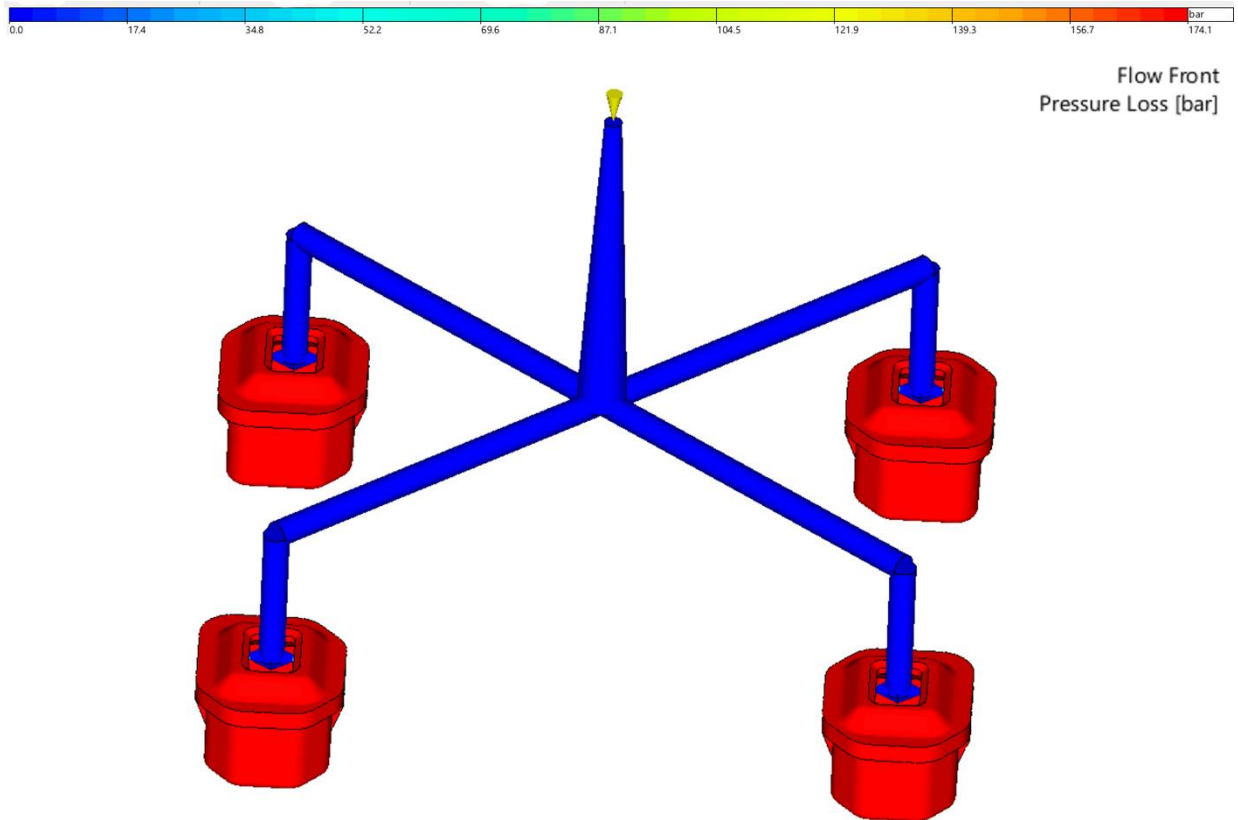
Analýza vyobrazuje čas, který potřebuje kaučuková tavenina k úplnému zaplnění dutiny formy. Barevné spektrum zobrazující dobu plnění koresponduje s přednastavenou hodnotou 15 sekund.



Obr. 43 Doba plnění dutin při tlaku 200 bar

### 14.4.2 Tlaková analýza

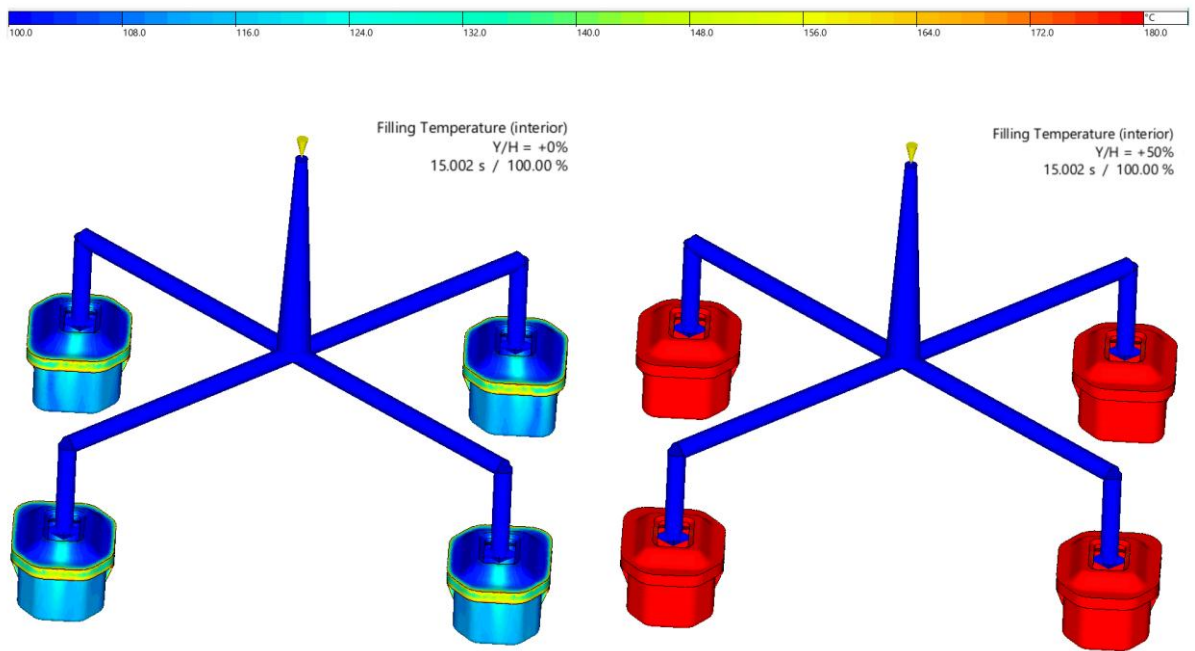
Vliv tlaku na vstříkovanou taveninu v průběhu plnění formy popisuje tlaková analýza. Hodnota tlaku po vyplnění dutiny formy byla ustálena na hodnotě 32 baru. Daný tlak působí na vstříkovaný komponent v průběhu celé doby vstříkovacího procesu.



Obr. 44 Analýza vstřikovacího tlaku při 200 barech

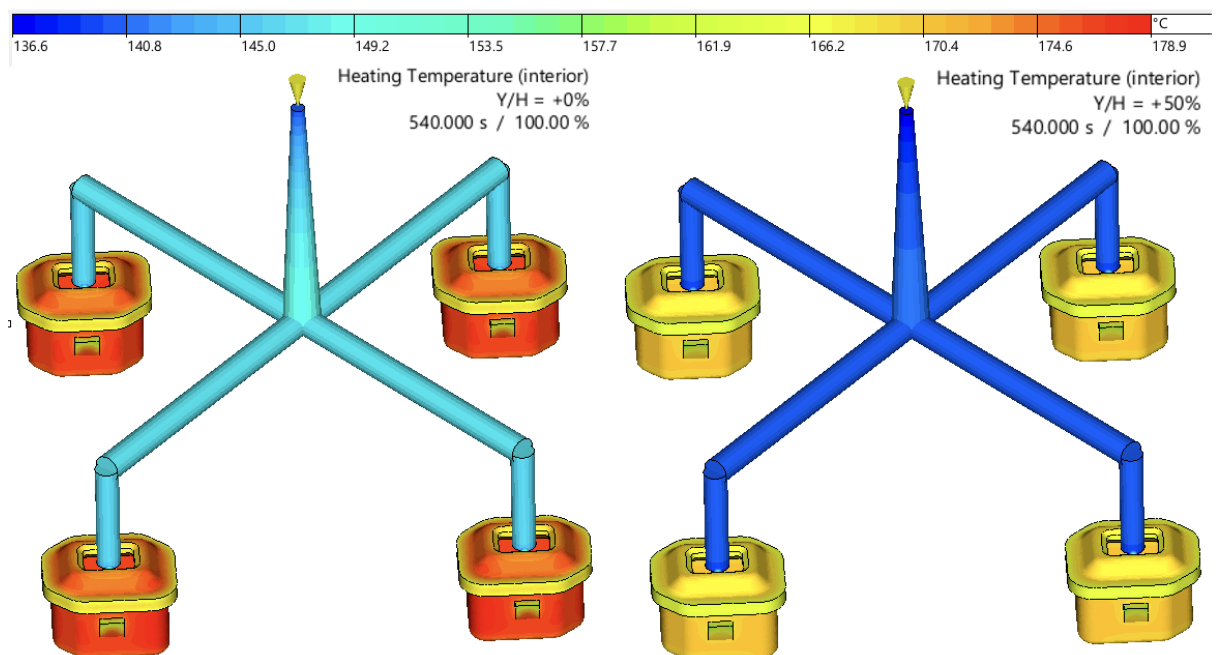
#### 14.4.3 Průběh teplotního pole

Obrázek ukazuje teplotu v čase 15 s, tedy v čase, kdy je dutina formy již zaplněna a začíná průběh vulkanizace. Při dané konfiguraci byl komponent rozdělen do 21 vrstev. Vrstva dělící vstřikovaný komponent na dvě části se nazývá vrstva střednicová. Je značena  $Y/H = +0\%$ . Tato vrstva zobrazuje teplotní pole uprostřed výrobku. Druhá vrstva značena  $Y/H = +50\%$  zobrazuje teplotní pole na povrchu výrobku.



Obr. 45 Teplotní pole uprostřed a na povrchu výrobku po naplnění dutiny formy

Na obrázku níže je vyobrazena teplota v čase 540 sekund (540 s – čas vulkanizace při vstřikovacím čase 15 sekund), kdy se otevře forma a následně vytáhne hotový komponent. V tomto čase se uprostřed výrobku teplota pohybuje v rozpětí 170-150 °C a na povrchu výrobku je teplota vyšší v rozpětí 180-160 °C.

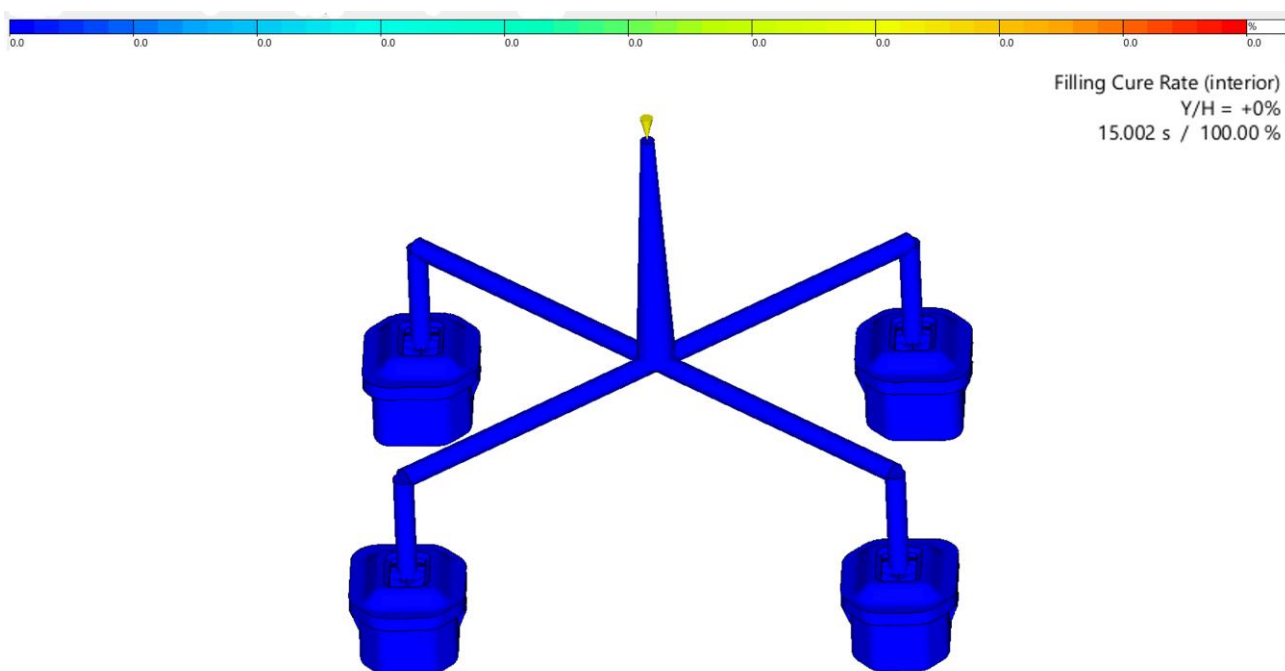


Obr. 46 Teplotní pole uprostřed a na povrchu výrobku v čase vulkanizace

#### 14.4.4 Průběh vulkanizace

Výsledkem této analýzy je dosažené procento vulkanizace vstříkovaného komponentu v čase jeho ohřevu. Nejprínosnější informace poskytují výsledky ze středních vrstev výrobku. V této vrstvě dochází ke strukturálním změnám až nakonec vlivem pomalejšího prohřevu, oproti povrchu, kde nastávají změny téměř okamžitě po vstříknutí taveniny do dutiny formy. Všechny výsledky tedy vyobrazují průběh vulkanizace ve středních vrstvách výrobku ( $Y/H = +0\%$ ).

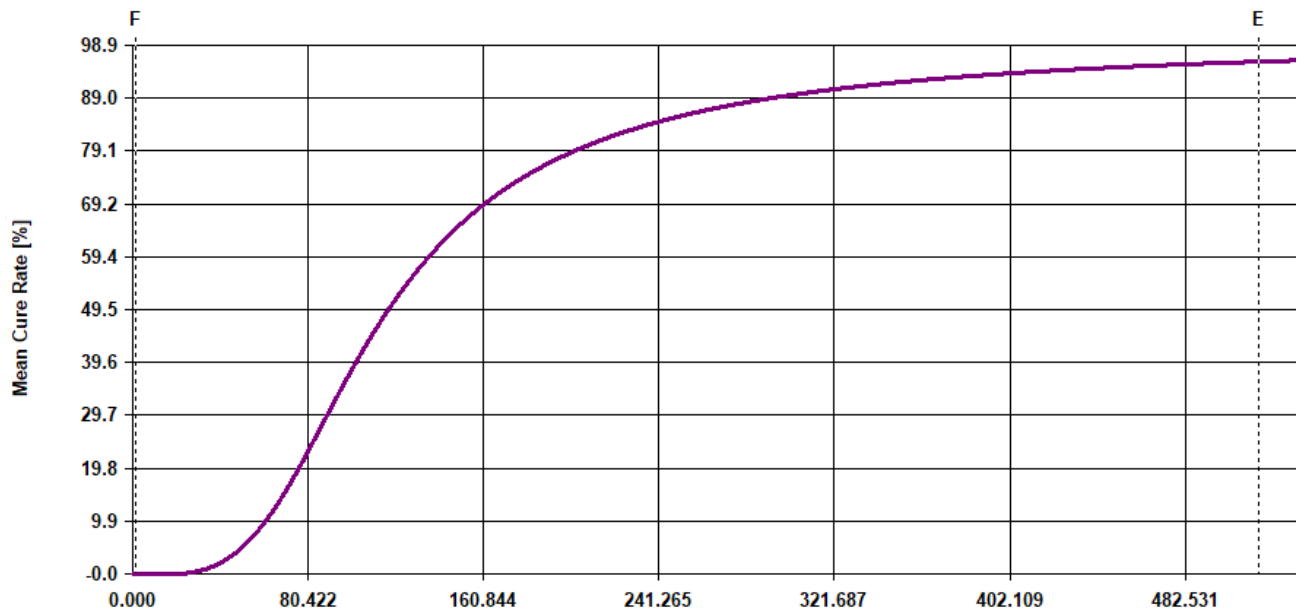
První analýza vulkanizace proběhla pro nastavený vstříkovací čas 15 sekund, kdy byla zaplněna celá dutina vstříkovací směsí. Výsledkem při tomto čase byla informace, že při tomto čase nedocházelo k vulkanizaci vně vyráběného komponentu.



Obr. 47 Průběh vulkanizace v prostřední vrstvě komponenty v čase 15 s

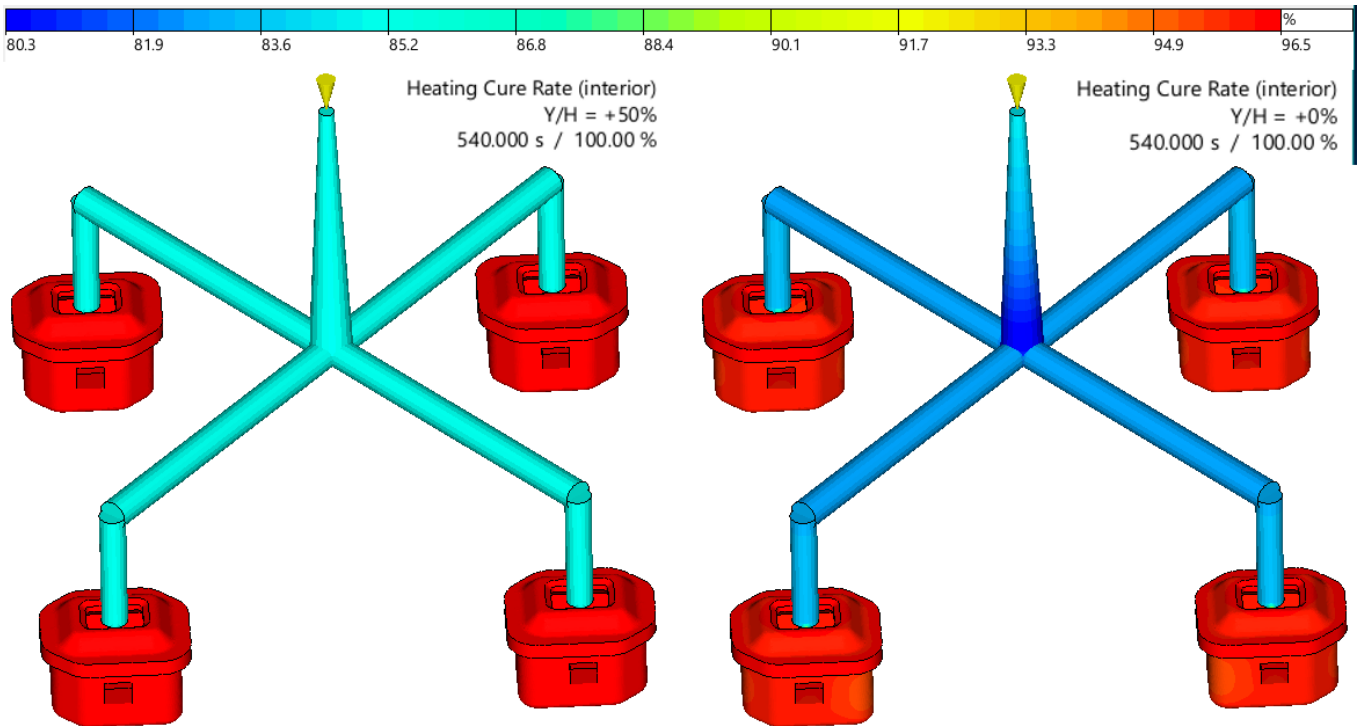
Následující obrázek zobrazuje strukturální změny vstříkovaného komponentu v určitém čase. Delší setrvání na této teplotě zlepšuje vlastnosti vstříkovaného komponentu, na druhou stranu se tím prodlužuje délka vstříkovacího cyklu a zvyšuje cena výroby. Doba setrvání nesmí být příliš dlouhá, jinak začne docházet k reverzi, čímž se začnou zhoršovat fyzikální vlastnosti vstříkovaného komponentu.

Doba ohřevu byla upravena tak, aby ve vstříkovaném komponentu proběhlo nejméně 96 % strukturálních změn. Velikost zesílení je závislé na době, při které se setrvává na vulkanizační teplotě.



Obr. 48 Průběh vulkanizace při tlaku 200 bar a teplotě 180 °C

Obrázek níže zachycuje vulkanizaci v době 540 s, kdy již proběhlo 96% všech změn ve struktuře materiálu.

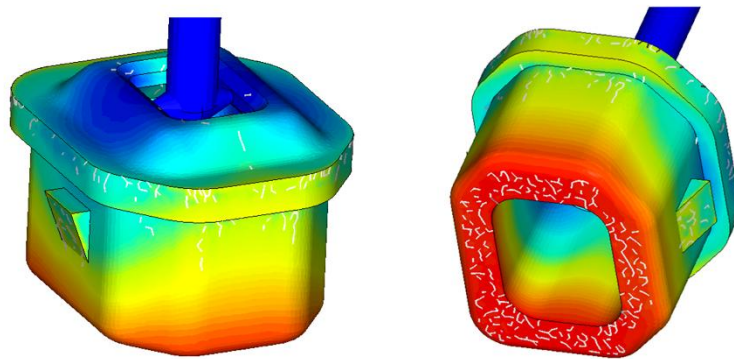


Obr. 49 Stav vulkanizace při tlaku 200 bar a 540 s



#### 14.4.5 Studené spoje

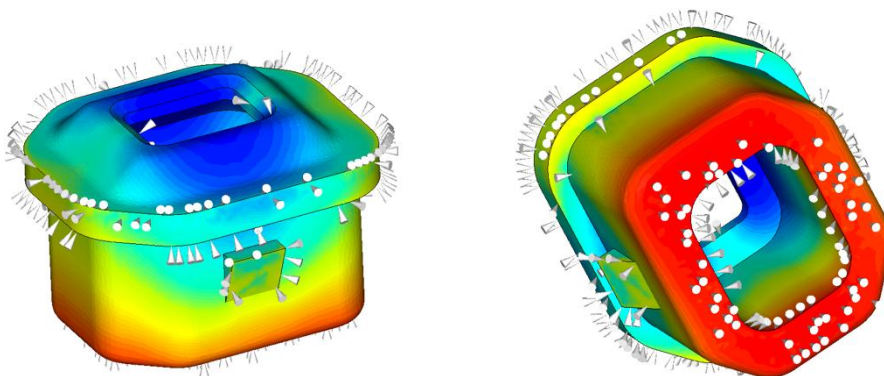
Místa, kde se s vysokou pravděpodobností budou střetávat čela taveniny zobrazených pomocí analýzy. Tyto místa neovlivňuje velikost vstřikovacího tlaku. V těchto místech se setkávají čela taveniny s vyšším stupněm vulkanizace. Tento spoj může vykazovat mechanické i pohledové chyby, ale nejedná se o tak velký vliv, jako u termoplastů.. Eliminovat tyto spoje je možné za pomoci správného umístění vtoku, řádným návrhem výrobku nebo úpravou technologických podmínek.



Obr. 50 Místa s možným vznikem studených spojů

#### 14.4.6 Vzduchové kapsy

Analýza zobrazuje místa, kde se s největší pravděpodobností bude nacházet uzavřený vzduch po vstříknutí taveniny do dutiny formy. Tyto místa neovlivňuje velikost vstřikovacího tlaku, nýbrž konstrukce vstřikovací formy. V průběhu tečení taveniny skrz dutinu vstřikovací formy tlačí tavenina na svém čele vzduch, který nestihl uniknout skrz dělicí roviny po uzavření formy. Vstřikovaná tavenina tedy tyto místa vyplňuje až jako poslední. Eliminace vzduchových kapes je možná za pomoci přetokových drážek, kam vzduch dokáže uniknout a neovlivní přitom výrobek samotný.



Obr. 51 Místa s možností vzniku vzduchových kapes

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh tlumícího komponentu pro kompenzaci rázů na chladiči chladící kapaliny pro automobilu značky BMW. Práce obsahuje také 3D návrh komponentu v programu CATIA včetně kompletní výkresové dokumentace. Pro daný komponent byl zvolen materiál EPDM o tvrdosti 55 Shore. Forma byla navržena s ohledem na vstřikovací stroj Rep V27/Y125.

Praktickou část předcházela teoretická rešerše k seznámení čtenáře s danou problematikou. Teoretická část obsahuje základní potřebné znalosti k pochopení dané problematiky, včetně popisu technologie vstřikování kaučukových směsí, průběhu vulkanizace a důležité informace k sestavení vstřikovací formy spolu s jejich potřebnými komponenty. Praktická část se zabývala návrhem 3D modelu komponenty a konstrukcí vstřikovací formy pro tento komponent. 3D modelování komponent a formy bylo realizováno za pomoci programu CATIA V5.

Zvolené parametry byly pro vertikální vstřikovací stroj Rep V27/Y125 pro který je celá forma navržena. V průběhu návrhu formy bylo myšleno především na funkčnost, jednoduchost a také co nejmenší náklady spojené s její výrobou. Řízení kritických rozměrů bez větších nákladů bylo vyřešeno správným zaformováním. Odvzdušnění formy zajišťují dělicí roviny. Součástí vstřikovací formy jsou topná tělesa, které zajišťují teplotu formy.

Časy potřebné pro plnění formy a vulkanizaci byly provedeny za pomoci analýzy. Pro možné vyhotovení vstřikovací formy byla vytvořena úplná výkresová dokumentace.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] De, Sadhan K. (31 December 1996). Rubber Technologist's Handbook, Volume 1 (1st ed.). Smithers Rapra Press. p. 287. ISBN 978-1859572627. Retrieved 7 February 2017.
- [2] Franta, Ivan. a kol., Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. Praha: SNTL, 1969. 537 s. ISBN 04-626-69
- [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] DUCHÁČEK, Vratislav. Gumárenské suroviny a jejich zpracování: určeno pro posl. chemicko-technologické fak. 2., přeprac. vyd. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1990, 153 s. ISBN 80-708-0077-1.
- [6] Franta, I. a kol. Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. Praha: SNTL. 1969. 540 s. ISBN 04-626-69.
- [7] Tomis, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. Brno: VUT. 1980. 278 s. ISBN 55-599-80.
- [8] Maláč, J. *Gumárenská technologie - přednášky*. Zlín. 2007.
- [9] Drobný, J., Komárek, Z., Schindler, J. *Přehled technologie pryže*. 1. vyd. Praha 1. 1962. 272 s.
- [10] Kuta, A. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů*. Praha: VŠCHT. 2007. 203 s. ISBN 80-7080-367-3.
- [11] KYAS, K. *Vliv geometrie a uspořádání tokových cest vstřikovacího nástroje na vlastnosti taveniny*, 2009. 106 s., Diplomová práce.
- [12] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. a II. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s a 212 s.

- [13] 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)>.
- [14] JOHNSON, Peter S. *Rubberprocessing: anintroduction*. Cincinnati, OH: Hanser, 2001. ISBN 34-462-1578-6.
- [15] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technnologická, 1999, 203 s. ISBN 80-7080-367-3.
- [16] ŠKROBÁK, A. Konstrukce vstřikovací formy, 2008. 76 s., Bakalářská práce.
- [17] Advanced Plastics, s.r.o. [online]. 2004 [cit. 2007-01-23]. Dostupný z WWW:<<http://www.advplast.cz/cze/plasty.html>>.
- [18] TOMIS, F., HELŠTÝN, J. *Formy a přípravky*. 1. vyd. Brno: VUT, 1979. 278 s. ISBN 55-635-79
- [19] TRUTNOVSKY, K. *Berührungsdichtungen an ruhenden und bewegtwen Maschinenteilen*, Springer – Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1975. 303 s.
- [20] Růžička, K., Pospíšil, L. *Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I*. Zlín: VÚGPT. 1979. 202 s.
- [21] SOMMER, John G. *Engineered Rubber Products*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. 2009, 192 s. ISBN 978-3-446-41731-1.
- [22] DUCHÁČEK, Vratislav. *Gumárenské zpracovatelské přísady*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2008, 145 s. ISBN 978-80-02-01993-0.
- [23] CHANDRASEKARAN, Challappa. *Essential Rubber Formulary: Formulas for Practitioners*. 1st Edition, William Andrew Publishing, 2007. 202 s. ISBN 978-0-8155-1539-5.
- [23] TOMIS, F., RULÍK, F. *Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1981. 216 s. ISBN 414-33206
- [24] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.

- 
- [25] PAVLÍČEK, J., Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu pryžového dílu, 2013. 59s., Bakalářská práce
- [26] SOMMER, John G. Elastomer molding technology: a comprehensive and unified approach to materials, methods, and mold design for elastomers. Hudson, OH: Elastech, 2003, vi, 471 s. ISBN 09-723-0910-1.
- [27] BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 1st ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2004, xvi, 286 s. ISBN 34-462-2672-9
- [28] Parametry vstřikovacího stroje REP V27/Y125.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Al	Hliník
Cu	Měď
CAD	Počítačové projektování
CAE	Počítačová podpora konstrukce
CAM	Počítačová podpora výroby
3D	Trojrozměrný protor
2D	Dvojměrný prostor
ČSN	Česká technická norma
D	Průměr plastikačního šneku [mm]
D.R.	Dělicí rovina
E	Modul pružnosti [MPa]
G	Smykový modul [MPa]
L	Délka plastikačního šneku
T	Teplota [K]
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
k	Boltzmannova konstanta [ $J \cdot K^{-1}$ ]
n	Jednotkový objem
N	Celkový čas bezpečnosti směsi
N <sub>1</sub>	Čas k tepelné zátěži
N <sub>2</sub>	Čas k vyrovnání tlaku
N <sub>3</sub>	Časová rezerva
PLM	Počítačové řízení průběhu výroby
STEP	Univerzální CAD soubor
dsk	Množství přísad na 100 dílů kaučuku

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Odběr latexu ze stromu <i>Havea Brasiliensis</i> .....	15
Obr. 2 Průběh vulkanizace [14] .....	26
Obr. 3 Průběh klesání stability příčných vazeb .....	26
Obr. 4 Vulkanizační křivka. [2] .....	28
Obr. 5 Vstřikovací cyklus .....	30
Obr. 6 Schéma vertikálního vstřikovacího stroje.....	32
Obr. 7 Vstřikovací jednotky bez předplastikace [3] .....	34
Obr. 8 Pístová vstřikovací jednotka se šnekovou plastikací [23] .....	35
Obr. 9 Vstřikovací jednotka bez předplastikace [3] .....	35
Obr. 10 Příklad vstřikovací formy pro kaučukovou směs [25].....	38
Obr. 11 Nejčastější způsoby zaformování výstřiku .....	40
Obr. 12 Typy vtokových kanálků [20].....	41
Obr. 13 Typy vtokových systémů [27] .....	41
Obr. 14 Nejužívanější druhy vtokových ústí [20].....	43
Obr. 15 Postup vyplňování dutiny formy taveninou [20] .....	44
Obr. 16 Postup vyplňování dutiny při rozdílném průřezu [20].....	44
Obr. 17 Možné provedení zaskřipávací drážky [20].....	45
Obr. 18 Příklad středění formy .....	46
Obr. 19 Mechanické vyhazovací kolíky .....	47
Obr. 20 Pneumatický vyhazovací systém [20] .....	47
Obr. 21 Řešení dělicích rovin .....	49
Obr. 22 Správný a nesprávný návrh tloušťky stěny [20]: .....	49
Obr. 23 Konstrukce zaoblení hran výstřiku [20] .....	50
Obr. 24 Tlumicí komponent chladiče pro vozidlo BMW .....	57
Obr. 25 Základní rozměry vstřikovaného komponentu .....	57

---

Obr. 26 Vstřikovací stroj Rep V27/Y125 [16] .....	59
Obr. 27 Náhled vstřikovací formy .....	61
Obr. 28 Vodící čep a vodící pouzdro .....	62
Obr. 29 Hlavní a vedlejší dělicí roviny .....	63
Obr. 30 Skutečný vzhled vtokové soustavy .....	64
Obr. 31 Umístění vtokového systému .....	64
Obr. 32 Tvarová dutina v prostřední desce formy .....	65
Obr. 33 Posuvný segment .....	65
Obr. 34 Jádru komponentu s membránovým ústím .....	66
Obr. 35 Forma v otevřeném stavu .....	66
Obr. 36 Forma v průběhu vstřikování .....	67
Obr. 37 Vytažení vtokového zbytku po otevření formy .....	67
Obr. 38 Vytažení vstřikovaných komponent .....	68
Obr. 39 Temperace vstřikovací formy .....	69
Obr. 40 Umístění teplotního čidla na vstřikovacím stroji .....	69
Obr. 41 Síťový model s vtokovou soustavou - CadMould .....	70
Obr. 42 Objemový model a model se sítí pro analýzu .....	72
Obr. 43 Doba plnění dutin při tlaku 200 bar .....	73
Obr. 44 Analýza vstřikovacího tlaku při 200 barech .....	74
Obr. 45 Teplotní pole uprostřed a na povrchu výrobku po naplnění dutiny formy ....	75
Obr. 46 Teplotní pole uprostřed a na povrchu výrobku v čase vulkanizace .....	75
Obr. 47 Průběh vulkanizace v prostřední vrstvě komponenty v čase 15 s .....	76
Obr. 48 Průběh vulkanizace při tlaku 200 bar a teplotě 180 °C .....	77
Obr. 49 Stav vulkanizace při tlaku 200 bar a 540 s .....	77
Obr. 50 Místa s možným vznikem studených spojů .....	78
Obr. 51 Místa s možností vzniku vzduchových kapes .....	78

## Seznam tabulek

Tab. 1 Základní dělení polymerů [11] .....	12
Tab. 2 Relativní spotřeba nejčastěji užívaných kaučuků [22] .....	14
Tab. 3 Složení čerstvého latexu přírodního kaučuku.....	16
Tab. 4 Mezinárodní klasifikace kaučuku do základních skupin.....	17
Tab. 5 Složení vstřikovací kaučukové směsi [23] .....	23
Tab. 6 Orientační hodnoty pro vstřikování .....	31
Tab. 7 Parametry uzavírací jednotky [28] .....	59
Tab. 8 Parametry vstřikovací jednotky [28] .....	60
Tab. 9 Všeobecné parametry stroje [28] .....	60
Tab. 10 Parametry vstřikovací formy [28].....	60
Tab. 11 Procesní podmínky vstřikování .....	71

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I. Vstřikovaný tlumící komponent
- P II. Levá, prostřední a pravá část formy
- P III. Výrobní výkresy s kusovníkem
- P IV. CD disk obsahující:
- Výkresovou dokumentaci
  - Sestavu formy a její jednotlivé části
  - Bakalářskou práci v elektronické podobě