

# **Mechanické vlastnosti vstřikovaných pryžových zkušebních těles**

Bc. Martina Hanáková

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina Hanáková**

Osobní číslo: **T13540**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Mechanické vlastnosti vstřikovaných pryžových zkušebních těles**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma.
2. Výroba zkušebních těles vstřikováním.
3. Vybrané mechanické zkoušky.
4. Vyhodnocení naměřených dat.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle vedoucího DP.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Adam Škrobák**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

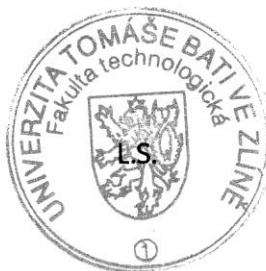
**30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

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



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

Příjmení a jméno: HANÁKOVÁ MARTINA

Obor: ŘÍZENÍ  
JAKOSTI

## 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 ..... 1.5.2015

..... Hanáková

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

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

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

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

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

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

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) 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 (§ odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu je 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 šk nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku 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 po okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z u

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá mechanickými vlastnostmi pryžových zkušebních těles. Teoretická část popisuje metodu vstřikování, elastomery a mechanické zkoušky. Praktická část se zabývá přípravou pryžových zkušebních těles standardní metodou dle normy ČSN ISO 23429 a vstřikováním. Dále pak měřením vybraných mechanických vlastností s následným vyhodnocením a vzájemným srovnáním.

Klíčová slova: Elastomer, kaučuk, pryž, zkušební těleso, vstřikování, mechanické vlastnosti

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the mechanical properties of rubber testing samples. The theoretical part describes the method of injection molding, the elastomers and the mechanical testing. The practical part focuses on the preparation of rubber testing samples by standard method based on standard ČSN ISO 23429 norms and injection molding. It also describes the measurement of selected mechanical properties with subsequent evaluation and mutual comparison.

Keywords: Elastomer, rubber, testing sample, injection molding, mechanical properties

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Adamu Škrobákovi za konzultace, trpělivost, pomoc se zpracováním dat a za ochotně poskytnuté rady, které mi při vypracování mé práce poskytl.

Rovněž patří mé díky všem, kteří mě při práci podporovali.

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

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ELASTOMERY</b> .....	<b>13</b>
1.1 VLASTNOSTI ELASTOMERŮ.....	13
<b>2 KAUČUK</b> .....	<b>15</b>
2.1 PŘÍRODNÍ KAUČUK (NR).....	17
2.2 SYNTETICKÝ KAUČUK.....	19
<b>3 KAUČUKOVÁ SMĚS</b> .....	<b>21</b>
3.1 SLOŽENÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI V DSK.....	23
3.2 PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI.....	24
3.2.1 Plastikace kaučuku.....	25
3.2.2 Míchání kaučukové směsi.....	25
3.3 SLOŽENÍ SMĚSI URČENÉ KE VSTŘIKOVÁNÍ.....	26
<b>4 VULKANIZACE</b> .....	<b>28</b>
4.1 PRŮBĚH VULKANIZACE.....	29
4.2 VULKANIZAČNÍ KŘIVKA.....	29
<b>5 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>31</b>
5.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	31
5.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	32
5.2.1 Vstřikovací jednotka.....	33
5.2.2 Uzavírací jednotka.....	35
5.2.3 Řízení a regulace stroje.....	36
5.3 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	36
5.3.1 Konstrukce vstřikovací formy.....	37
5.3.2 Volba vstřikovacího stroje.....	37
<b>6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY</b> .....	<b>38</b>
6.1 TAHOVÁ ZKOUŠKA.....	38
6.1.1 Zkušební tělesa.....	39
6.1.1 Průběh tahové zkoušky.....	40
6.2 ZKOUŠKA STRUKTURNÍ PEVNOSTI.....	40
6.2.1 Zkušební tělesa.....	41
6.2.2 Průběh strukturní zkoušky.....	43
6.3 ZKOUŠKA TVRDOSTI.....	43
6.3.1 Zkušební tělesa.....	44
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>46</b>
<b>7 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>47</b>
<b>8 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ</b> .....	<b>48</b>
8.1 VOLBA MATERIÁLU.....	48
8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY.....	48
8.2.1 Kaučuková směs přírodní (NR+BR).....	48
8.2.1 Kaučuková směs syntetická (EPDM).....	50



8.3	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	51
8.3.1	Příprava těles vstřikováním.....	51
8.3.2	Příprava těles vysekáním z vylisované plotničky .....	54
8.3.3	Příprava těles vyseknutím ze vstřikované plotničky .....	56
8.4	MECHANICKÉ ZKOUŠKY .....	57
<b>9</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>58</b>
9.1	TAHOVÉ VLASTNOSTI .....	58
9.2	STRUKTURNÍ VLASTNOSTI .....	63
9.3	TVRDOST SHORE .....	67
9.4	DISKUSE VÝSLEDKŮ .....	69
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>78</b>

## ÚVOD

Technologie vstřikování se řadí mezi velice produktivní výrobní procesy už bezmála 50 let. Výhody plně automatizovaného procesu a rychlost převedení polymerního materiálu na finální výrobek bez nutnosti dalších dokončovacích operací neustále zvyšuje zájem o tuto technologii. Vstřikování je jedním z hlavních způsobů produkce výrobků z termoplastů.

Stále se však více uplatňuje i při výrobě pryžových výrobků zejména v automobilovém průmyslu. Vstřikování kaučukových směsí je především využíváno k výrobě menších a tvarově náročnějších součástí nebo k výrobě kombinovaných součástí kov-pryž, tzv. zástříků. I když je vstřikování hojně využíváno, stále v tomto odvětví dominuje a pravděpodobně bude dominovat technologie lisování, zejména při výrobě pneumatik.

Každý pryžový výrobek musí splňovat požadované vlastnosti, které jsou na něho z hlediska funkčnosti a použití kladeny. Mezi základní se řadí vlastnosti mechanické, které ovlivňuje zejména použitý materiál (kaučuková směs).

Výzkum v gumárenském odvětví se doposud spíše zabýval problémem, jak jsou ovlivněny mechanické vlastnosti samotným složením gumárenských směsí, popř. vlivem technologických podmínek, ať už během zpracování nebo při samotné výrobě. Nezabývá se však dostatečně vlivem změny celého výrobního procesu.

Během vstřikování dochází k odlišným dějům než při běžném lisování, zejména ve fázi vstřiku na gumárenskou směs vlivem tlaku působí značně velké smykové rychlosti uvnitř tokového kanálu. Dochází tak k odlišným distribucím materiálu v dutině formy než u lisování, kdy je materiál tlakem vyvozeným uzavřením formy přetvářen zdaleka menší smykovou rychlostí.

Tyto rozdílné podmínky přetváření materiálu mohou ovlivnit výsledné mechanické vlastnosti výrobku. Jinými slovy, pryžové výrobky vyrobené vstřikováním mohou vykazovat odlišné mechanické vlastnosti, než tytéž výrobky vyrobené lisováním.

V praxi se mech. vlastnosti pryžových výrobků testují dle normy na vysekaných zkušebních tělesech z vylisované plotničky, avšak pokud je výrobek vyroben vstřikováním mohou být výsledky těchto testů vzhledem k odlišné technologii výroby zkušebních těles a výrobků nepřesné.

Praxe si tedy klade za cíl posoudit, do jaké míry jsou mech. Vlastnosti zkušebních těles z vybraných pryžových materiálů ovlivněny vstřikováním a tuto případnou odlišnost vyhodnotit.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ELASTOMERY

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

Elastomery lze obecně považovat za vysoce kondenzované plyny, protože většina dílčích monomerů se vyskytuje v plynném skupenství. Polymerizací vznikají řetězce dlouhých molekul. Jejich molekulová struktura může být amorfní, semikrystalická anebo krystalická. Elastomery jsou typické amorfní polymery s náhodným uspořádáním molekul. Krystalické polymery jsou tvrdé a křehké. Semikrystalické polymery vykazují pružné deformace, tok (creep) i plastické deformace. Elastomer (pryž) je výjimečný svou velkou pružnou deformací. V inženýrské praxi je smykový modul  $G$  elastomerů definován jako součin počtu řetězců elastomeru v jednotkovém objemu  $n$ , Boltzmannovy konstanty  $k$  a teploty  $T$  ve stupních Kelvina.

Mnoho elastomerních materiálů má při stejné teplotě (nad bodem skelného přechodu) podobné hodnoty smykového modulu  $G$  nebo tvrdosti. Teplota a některé další parametry mají výrazný vliv na jejich vlastnosti. Elastomerní materiály patří do hlavní skupiny polymerů, které dále rozdělujeme do podskupiny přírodní a syntetické materiály. [1]

### 1.1 Vlastnosti elastomerů

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

Fyzikální vlastnosti konstrukčních materiálů v praxi charakterizují zejména vlastnosti jako je pružnost, plasticita, pevnost, tvrdost a houževnatost. Fyzikálních vlastností materiálu, které jsou konstruktéry vyhodnocovány, je však mnohem více. Pro potřeby konstruktéra se např. pružnost dále popisuje modulem pružnosti v tahu či tlaku  $E$ , modulem pružnosti ve

smyku  $G$ , objemovým modulem pružnosti  $K$  a koeficientem příčné kontrakce  $\mu$  (Poissonovo číslo). Důvodem toho je i povaha fyzikálních experimentů a měření.

Vlastnosti konstrukčních elastomerních materiálů se v mnoha směrech liší od ostatních konstrukčních materiálů. Rozdíly jsou ve fyzikálních, tak chemických vlastnostech, omezeném teplotním intervalech jejich použití, vlivu času na změny vlastností apod. Proti těmto omezujícím vlastnostem stojí řada předností. Jsou to zejména vysoká elasticita (hyperelasticita), schopnost snášet opakovaně značnou deformaci při dlouhé životnosti, schopnost tlumení (přeměňovat energii mechanickou na tepelnou), chemická stabilita v řadě prostředí, elektrické vlastnosti, nepropustnosti pro tekutiny atd. Uvedené vlastnosti lze měnit v široké škále hodnot vhodnou volbou složení elastomerní směsi.

Za těmito vlastnostmi stojí jevy, které popisují kinetické teorie pružnosti. Z této teorie vyplývá, že základní vlastností elastomerů je elasticita. Ta se projevuje tím, že elastomerní materiály lze poměrně malou silou snadno deformovat v tahu, tlaku, ohybu, krutu apod. a to v daleko větším rozsahu než jiné konstrukční materiály. Po odstranění deformační síly se deformované elastomerní těleso rychle vrací do původního stavu a nabývá původní rozměry. Podle skladby elastomerního materiálu je možné dosahovat různě velkých deformací. Podle kinetické teorie pružnosti jsou v elastomerním materiálu, na nějž nepůsobí deformační síly řetězové makromolekuly v neuspořádaném, zkrouceném stavu. Při působení deformační síly se řetězce rozvinují, napřimují a orientují ve směru působení namáhání, což způsobuje vnitřní napětí. Toto napětí souvisí se snahou řetězců vrátit se do původního stavu - stavu s větší entropií  $s$ . Předpokladem této teorie je uspořádání řetězců do takového stavu, aby jejich deformace byla možná a jejich články se mohly otáčet.

Charakterem elastomeru je právě uspořádání řetězců makromolekul a jejich vzájemná reakce v průběhu deformace. Vlastnosti elastomerů lze modifikovat vznikem primárních vazeb mezi makromolekulami, které vznikají při vulkanizaci. Kromě těchto vazeb, existují také mezi molekulami elastomerů mezimolekulární sekundární vazebné síly. Ty jsou však závislé na teplotě. Charakterem elastomeru je právě uspořádání řetězců makromolekul a jejich vzájemná reakce v průběhu deformace. Vlastnosti elastomerů lze modifikovat vznikem primárních vazeb mezi makromolekulami, které vznikají při vulkanizaci. Kromě těchto vazeb, existují také mezi molekulami elastomerů mezimolekulární sekundární vazebné síly. Ty jsou však závislé na teplotě. [1]

## 2 KAUČUK

Pod pojmem kaučuky rozumíme takové polymery, které mohou být převedeny chemickým (nebo i fyzikálním) zesíťováním v elastomery (pryže). Kaučuk je základní složkou, který dává směsi i pryži základní charakteristické vlastnosti. Existuje široká škála kaučuků s typickými vlastnostmi, podle nichž volíme vhodný kaučuk pro danou aplikaci. Po zvolení základního elastomeru je třeba uvážit jeho gumovitost, tj. obsah ve směsi. Kaučuk jako základní složka směsi se někdy doplňuje regenerátem, popř. jiným polymerem. Ten mimo svou kaučukovitou hodnotu dává směsi i další vlastnosti, usnadňuje a zkracuje míchání, což představuje úsporu energie a zvýšení kapacity zařízení. Dále ovlivňuje zpracovatelnost, tj. směs se snadno a dobře tváří, dotéká a vyplňuje formu při lisování. Je-li regenerát jemný, směs se dobře vytlačuje, méně sráží a narůstá a vytlačený profil se při volné vulkanizaci nedeformuje. [2]



*Obr. 1. Přírodní kaučuk. [16]*

### **Základní dělení kaučuku:**

- Přírodní kaučuk (NR)
- Syntetický kaučuk (Butadien kaučuk, Izopren kaučuk, Chloropren kaučuk Butadienstyren kaučuk, Butadiennitril kaučuk, Etylénpropylén kaučuk, Butyl kaučuk, Akryl kaučuk, Polyester kaučuk, Fluor kaučuk, Polysulfidový kaučuk, Silikon kaučuk)

## Zkratky kaučuků

Tab. 1. Zkratky a použití kaučuků.

Zkratka	Název	Použití
ABR	akrylátový kaučuk	technická pryž
Ca	karboxylový kaučuk	
CIIR	halogenizobuten-izoprenový kaučuk	
CR	chloroprenový kaučuk	vytlačované profily, dopravní pásy, hadice, lepidla
EPDM	ethylenpropylenový dienový kaučuk	
EPR	ethylenpropylenový kaučuk	
FC	fluorokaučuk	těsnění a nátěrové hmoty
HSR	vysokostyrenový kaučuk	obuvnický materiál na podešve
IIR	izobuten-izoprenový kaučuk (butylkaučuk)	vzdušnice pláštíků pneumatik
IR	izoprenový kaučuk	
NBR	akrylonitril-butadienový kaučuk	hřídelové těsnění, těsnící kroužky, obložení cisteren
NR	přírodní kaučuk	pláště pneumatik, pružná uložení, povlaky válců
PB	butadienový kaučuk	běhouny pneumatik, obuvnictví
SBR	styren-butadienový kaučuk	pláště pneumatik, latex do nátěrových hmot
TM	thioplasty	



## 2.1 Přírodní kaučuk (NR)

Přírodní kaučuk se získává ze stromů kaučukovníku, zejména druhu *Hevea brasiliensis*. Kaučukovníky se přibližně od roku 1900 uměle pěstují na plantážích v tropických pásmech Jižní Ameriky, jihovýchodní Asie i Afriky. Po nařiznutí kůry stromu vytéká bílá, mlékovitá kapalina zvaná latex, která obsahuje 30 - 40% koloidních částic kaučuku (koloidní částicí se myslí látky, které nejsou schopny krystalizace). Z jediného stromu lze v průběhu let získat 5 - 25 kg kaučuku. [3]



*Obr. 2. Kaučukový latex. [4]*

Kaučuk se vysráží např. kyselinou mravenčí, vypere vodou a suší, buď jen teplým vzduchem (bílá krepa) nebo dýmem (hnědá krepa, jinak též uzený kaučuk). Rozvoj automobilového průmyslu a s ním rostoucí spotřeba kaučuku na výrobu pneumatik přiměl chemiky k hledání odpovídající náhrady přírodního kaučuku. I když se dnes vyrábí desítky druhů různých syntetických kaučuků, přírodní kaučuk se používá stále, protože dodává směsím žádané vlastnosti. Navíc jeho cena je v současné době poměrně příznivá. [3]

Čerstvý latex je koloidní disperze cis – 1,4 – polyisoprenu ve vodném médiu zvaném sérum. Kaučuk je přiřomen ve formě částic o průměru 0,05 až 5 $\mu$ m. Latex obsahuje cca 30% kaučuku, 1% proteinů, 1% lipidů, 1% uhlohydrátů a řadu dalších látek v menších množstvích.



*Obr. 3. Získávání latexu z kaučukovníku. [4]*

Většina dodávaných NR má v důsledku vysoké molekulové hmotnosti vysokou viskozitu a musí být před zpracováním nejprve upraveny plastikací (tj. mechanickým odbouráním). Po plastikaci mají směsi s NR obvykle dobré zpracovatelské vlastnosti, dobrou pevnost před vulkanizací, vysokou konfekční lepidlost a vysokou rychlost vulkanizace.

Vulkanizáty z NR mají vysokou mechanickou pevnost, vysokou elasticitu a velmi dobrou odolnost proti oděru. Vykazují velmi dobré dynamické vlastnosti a jsou proto často používány v pneumatikách, pružinách a vibračních uloženíh.

NR je schopen krystalizace za napětí a vulkanizáty z NR proto dávají vysoké pevnosti i bez přítomnosti plniv. Jsou však málo odolné proti UV-záření, ozonu a zvýšené teplotě. Přídavek sazí zvyšuje odolnost proti UV-záření, snižuje tepelnou kapacitu kaučuk. směsi antiozonanty a vosky zlepšují ozonuvzdornost, antioxidanty zlepšují odolnost proti zvýšeným teplotám.

Dlouhodobé použití vulkanizátů z NR je obvykle možné od  $-57$  do  $+75^{\circ}\text{C}$ . Elektroizolační vlastnosti vhodně zvolených směsí jsou velmi dobré. Dobrá je i odolnost proti zředěným kyselinám bez oxidačních účinků a proti zředěným zásadám. Odolnost proti rozpouštědlům závisí na jejich polaritě, takže např. odolnost proti benzínu a naftě je špatná (NR je nepolární), zatímco odolnost vůči alkoholům a ketonům je mnohem lepší. [5]

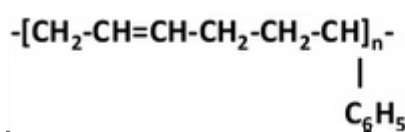
## 2.2 Syntetický kaučuk

Průmyslově vyráběných syntetických kaučuků je již velký počet. Liší se druhem monomerů, jejich poměrem při kopolymeraci, způsobem a podmínkami polymerace, druhem použitého katalyzátoru polymerace, emulgátoru a stabilizátoru. Všechny tyto faktory mají vliv na molekulovou strukturu elastomerů, jejich molekulovou hmotnost a distribuci molekulových hmotností a tím i na zpracovatelnost a fyzikálně mechanické vlastnosti.



Obr. 4. Syntetický kaučuk z biomasy (vysoce kvalitní *cis*-polyisopren).[17]

### Butadien-styrenový kaučuk (SBR)



Obr. 5. Butadien-styrenový kaučuk.

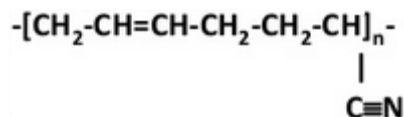
Je univerzální kaučuk, který představuje asi 60% světové výroby syntetických kaučuků. Používá se pro běhouny pneumatik a pro tzv. technickou pryž.

### Polybutadienové kaučuky (BR)

Vyrábí se především roztokovou polymerací pomocí Ziegler-Nattových katalyzátorů, kdy vznikají produkty s vysokým podílem 1,4 - butadienových jednotek. Polybutadieny s vysokým podílem *cis*-1,4 - butadienových jednotek se vyznačují vysokou odolností proti

oděru, vzniku trhlin a také vyšší odrazovou pružností, než přírodní kaučuk. Mimoto dobře snášejí plniva. Aplikují se hlavně v průmyslu k výrobě pneumatik.

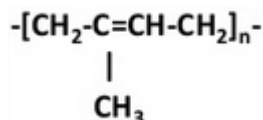
#### Butadien-akrylonitrilový kaučuk (NBR)



*Obr. 6. Butadien- akrylonitrilový kaučuk.*

A jiné typy nitrilových kaučuků se vyrábějí radikálovou kopolymerací butadienu s 18 až 49% akrylonitrilu, nejčastěji však v rozmezí 28 až 33% AN. Se vzrůstajícím obsahem AN stoupá T<sub>g</sub> a tvrdost, klesá elasticita a botnavost v pohonných látkách a olejích. Hlavní oblastí použití jsou benzínové hadice, těsnění, klínové řemeny, dopravní pásy, válce pro tiskařský, textilní a papírenský průmysl.

#### Polyisopren (IR)



*Obr. 7. Polyisopren.*

Přírodní kaučuk je téměř stoprocentní cis -1,4- polyisopren. Syntetický polyisoprenový kaučuk IR je stereospecifický, roztokově polymerovaný cis -1,4- polyisopren, jehož struktura a vlastnosti jsou natolik podobné kaučuku přírodnímu, že je lze ve většině aplikací zaměnit. NR i IR krystalizují tažením za pracovních teplot, což vede k vysokým pevnostem v tahu. Tuto vlastnost nemají SBR, BR ani NBR, jejichž pevnost v tahu lze zlepšit aktivními sazemí. [3]

### 3 KAUČUKOVÁ SMĚS

Kaučukové směsi jsou směsi tvořené kaučukem a dalšími gumárenskými surovinami. V literatuře a v praxi se můžete setkat také s pojmem gumárenské směsi.

Základní kaučukovou směs tvoří:

- **Kaučuky**

Jejich obsah může být od 5 až 95 %. Obecně kaučuky dělíme na přírodní a syntetické. Druh kaučuku v kaučukové směsi může být jeden, např. přírodní kaučuk (PK,NR), který může být buď jednoho druhu, nebo více druhů (podle čistoty, kvality, dostupnosti, účelnosti atd.). Kaučukové směsi mohou obsahovat i více druhů kaučuků přírodních a syntetických. (Pozor, nelze vyrábět kaučukové směsi z libovolných typů kaučuků). [3]

- **Plniva**

Jejich obsah může být až 80%. Dělí se na aktivní a pasivní. Ovlivňují vlastnosti vulkanizátu, zpracovatelské vlastnosti směsi a její cenu. Mezi aktivní plniva patří saze a silika (vyrábí se v širokém sortimentu) a mezi pasivní minerální plniva, nejčastěji přírodniny (mimo silika). [3]

Většinu gumárenských směsí tvoří přibližně 30 hmot% plniva. Plnivo se používá k úpravě vlastností, jež by samotný polymer buď neměl výrazné, nebo by je neměl vůbec. Plniva významně upravují zpracovatelnost směsí a fyzikálně mechanické vlastnosti vulkanizátů a mají vliv na cenu, levné plniva dosahují podstatného snížení ceny výrobku.

Plniva jsou částicové materiály přidávané do gumárenských směsí z důvodu:

- Úpravy zpracovatelských vlastností směsí, hlavně snížení elasticity
- Snížení ceny, protože cena za kilogram plniva je obvykle nižší než cena za kilogram kaučuku
- Úpravy fyzikálních vlastností vulkanizátů jako je tvrdost, pevnost, tažnost, oděr, tlumení vibrací, elektrický odpor, barvy, adheze, odolnost proti stárnutí, propustnost pro plyny a páry aj.

Modul elasticity vulkanizátů se plnivem obvykle zvýší proti neplněným vulkanizátům přibližně desetkrát. U většiny vulkanizátů zlepšují plniva významně také odolnost proti oděru. Např. plnivo v běhounu z NR zvýší životnost pneumatiky z cca 2 tisíc kilometrů pro neplněný vulkanizát až na více jak 50 tisíc kilometrů pro vulkanizát plněný.

Zlepšení vlastností vulkanizátu přidavkem plniv se nazývá *ztužení*. Pod pojmem ztužení tedy rozumíme všechny změny vlastností vulkanizátů s pozitivním účinkem na vlastnosti výrobků. Tato definice ztužení ukazuje, že plnivo ve vulkanizátu nepůsobí jen jako inertní složka směsi (přidávaná pro snížení ceny), ale že je to přísada spoluurčující výkon a vlastnosti výrobků. Mimo saze má ve vulkanizátech ztužující účinek i silika, některé silikáty, pigmenty a pryskyřice.

Velikost částic plniv nad  $10\ \mu\text{m}$  by v kaučukové směsi být neměly, protože velké částice působí ve vulkanizátu jako koncentrátoři napětí a fungují jako místa iniciace vzniku trhlin. Přítomnost velkých částic nebo nerozpracovaných aglomerátů plniva proto snižuje pevnost vulkanizátů. Kritický je z tohoto hlediska podíl částic větších než  $10\ \mu\text{m}$ .

Rozsah ztužení závisí nejen na velikosti částic plniva, ale i na jeho struktuře a na aktivitě jeho povrchu. Všechny tyto charakteristiky ovlivňují interakci (tj. vzájemné působení) mezi kaučukem a povrchem plniva. Interakce kaučuk/plnivo je závislá i na chemickém složení kaučukových segmentů a na struktuře (tj. na konstituci a konfiguraci) molekul kaučuku.

Pro běžnou praxi vyhovuje rozdělení do tří skupin:

- Saze
- Světla plniva (aktivní a neaktivní)
- Ostatní [5]

- **Vulkanizační činidla**

Vulkanizační činidla jsou chemické látky nebo přírodní, které mají schopnost chemickými vazbami spojit jednotlivé kaučukové makromolekuly v relativně krátké době. K urychlení vzniku chemických vazeb se využívají aktivátory a urychlovače vulkanizace, zvýšená teplota a tlak ve hmotě. Nejčastější vulkanizační činidla jsou elementární síra (anorganická nebo organická), organické peroxidy (nenasycené kaučuky), oxidy kovů, nebo pryskyřice. Základní vazby jsou C-C, C-S, S-S, O-O (labilní peroxidická vazba). [3]

- **Aktivátory a urychlovače, retardéry**

Aktivátory organické a anorganické – zvyšují účinnost síťování (počet příčných vazeb), urychlovače zkracují dobu vulkanizace a pozitivně ovlivňují fyzikální vlastnosti. Retardéry snižují vulkanizační aktivitu směsi. [3]

- **Antidegradanty**

Brání rychlému porušování vytvořené sítě v důsledku oxidačních procesů, tepla, světla, mechanické namáhání. [3]

- **Antioxidanty**

Zpomalují oxidaci a stárnutí vulkanizátu. [3]

- **Antiozonanty**

Ozonuvzdornost vulkanizátu je nutná pro výrobky vystavené expozici slunečního světla a tepla při jejich napětí. Aktivní působí ve hmotě. Pasivní vytváří na povrchu vulkanizátu ochrannou vrstvu [3]

- **Změkčovadla**

Kapaliny (oleje), nízkomolekulární pryskyřice působí mezi řetězci makromolekul, snižují tvrdost, zvyšují plasticitu a pružnost (často karciogetti). [3]

- **Zpracovatelské přísady**

Řada chemikálií zejména ke snížení molekulové hmotnosti kaučuků usnadňující zpracovatelnost, disperzi, energii procesu. [3]

- **Pryskyřice**

Zvyšují konfekční lepidlost. [3]

- **Faktisy**

Zlepšují zpracovatelnost, zejména usnadňují vytlačování a válcování tenkých fólií (povrch) i vulkanizační schopnosti směsi. [3]

- **Retardéry hoření**

Přísady snižující hořlavost, samozhášivost. [3]

- **Pigmenty**

Barviva do nesazových směsí, organické, anorganické [3]

### 3.1 Složení kaučukové směsi v dsk

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

Základ gumárenské směsi vždy tvoří 100 dílů kaučuku (jeden nebo více typů společně). Pokud je použitý kaučuk nastaven olejem nebo sazemi, musí se jeho dávkování zvýšit, aby i v takové směsi bylo 100 dílů kaučuku.

Použití 100 dílů kaučuku jako základ směsi usnadňuje dávkování nekaučukových přísad (jako jsou např. vulkanizační činidla a plniva), protože vyjádření jejich koncentrace stejnou hodnotou dsk zajišťuje stejný poměr kaučuk/přísada pro různé kaučukové směsi.

Typická gumárenská směs pro sírou síťované nenasycené kaučuky obsahuje na 100 dsk kaučuku:

*Tab. 2. Složení kaučukové směsi.*

Složka	Množství [DSK]
Kaučuk	100
Vulkanizační činidla	0-4
Aktivátory vulkanizace	5
Zpracovatelské přísady	5
Urychlovače vulkanizace	0,5-3
Antidegradanty	1-3
Plniva	0-150
Změkčovadla	0-150

### 3.2 Příprava kaučukové směsi

Příprava kaučukových směsí je komplikována skutečností, že jednotlivé složky směsi obvykle nejsou navzájem neomezeně rozpustné. Např. i směsi mísitelných kaučuků tvoří v důsledku omezené rozpustnosti často kontinuální a diskontinuální fázi s mikroskopickými doménami.

Mnohé přísady rozptýlené během míchání v kaučukové směsi mají jiný parametr rozpustnosti než použitý kaučuk. To je důvod, proč po ochlazení mohou začít migrovat na povrch. Toto tzv. vykvétání přísad může způsobit problémy při zpracování směsí a/nebo negativně ovlivnit vzhled výrobků.



Z důvodů omezené rozpustnosti musí být např. do EPDM směsi někdy použito až pět různých urychlovačů vulkanizace tak, aby koncentrace žádného z nich nepřekročila kritickou koncentraci pro vykvétání. Vykvétání se běžně pozoruje u síry, antioxidantů, antiozonantů, urychlovačů, změkčovadel, olejů a u stearenu zinečnatého. Při vývoji směsi se musí přihlížet i k vzájemné rozpustnosti kombinací různých přísad.

Příprava směsí a zvláště jejich míchání je jedním z nejdůležitějších procesů v gumárenském průmyslu. Gumárenské směsi je možno připravovat na dvouválcových strojích, v hnětičích či v kontinuálních hnětičích. [5]

### 3.2.1 Plastikace kaučuku

Surový kaučuk, který přichází do gumárenských provozů, je nutno před dalším zpracováním plastikovat do určitého stupně, aby byl schopen přijímat přísady a byl dobře zpracovatelný danou technologií. [3]

V průběhu plastikace se snižuje molekulová hmotnost kaučuku, což umožňuje a zlepšuje průběh dalších technologických operací. Plastikaci je třeba vést jen do takového stupně, kterého je nevyhnutelně třeba pro úspěšné zpracování. Nadměrnou plastikací se zhoršují mechanické vlastnosti vulkanizátů a zhoršuje se i odolnost proti únavě a stárnutí. Plastikace na dvouválcích, v hnětiči nebo ve šnekovém plastikačním stroji vyžaduje značné množství energie, nákladné strojní zařízení a velký počet pracovních sil. Řešením jak odstranit tyto nároky je zpracovávat kaučuky regulované při polymeraci tak, aby byly přímo zpracovatelné či maximálně zkrátit dobu plastikace. To je umožněno zavedením plastikačních činidel. [6]

### 3.2.2 Míchání kaučukové směsi

Míchání je jeden z nejdůležitějších výrobních procesů gumárenské technologie, protože následné zpracování směsí, vlastnosti výrobků a ekonomika výroby do značné míry závisí na kvalitě směsí.

Vlastnosti vulkanizátů určuje nejen druh a množství složek ve směsi, ale i podmínky zpracování. Míchání musí zajistit stejnoměrné rozložení jednotlivých složek v každém (i velmi malém) objemu směsi.

Jsou však i směsi, u kterých se požadované vlastnosti dosáhnou jen při nedokonalém (přesně definovaném) rozmíchání složek (např. vysoká elektrická vodivost sazových směsí, odolnost proti oděru směsí z několika kaučuků, atd.). [5]

**Problém míchání:**

Míchání gumárenských směsí je komplikováno skutečností, že jednotlivé složky směsí mají velmi rozdílné vlastnosti:

**Kaučuky** se za pokojové teploty chovají jako podchlazené kapaliny. V průběhu míchání vykazují viskoelastické chování, jehož charakteristiky značně závisí na teplotě.

**Plniva** jsou prášky, které po zamíchání do kaučuku významně ovlivní jeho tokové chování. Během míchání se musí aglomeráty tvořené částicemi plniva rozpadnout (tzv. dispergace). Vzniklé částice musí být zapracovány do kaučuku a rovnoměrně rozděleny ve směsi (tzv. distribuce).

**Změkčovadla** jsou nejčastěji kapaliny nebo pasty. Při míchání je potřeba zajistit co největší plochu dotyku mezi kaučukem a změkčovadlem, aby difuze změkčovadla do kaučuku proběhla co nejrychleji. (Difuze následně probíhá v mikroskopickém měřítku i v zamíchané kaučukové směsi, takže směs po zamíchání několik dní „zraje“).

**Gumárenské chemikálie** se dávkuje v různé podobě (od prášků přes pasty až po kapaliny). Také chemikálie je nutno v kaučukové směsi důkladně rozmíchat, což je komplikováno tím, že se chemikálie do směsí přidávají v malých množstvích a jsou často tepelně nestálé. I malý rozdíl v koncentraci chemikálií může přitom způsobit velký rozdíl v kvalitě kaučukové směsi.

Míchání se provádí na různých zařízeních. Vždy se požaduje dosažení dostatečného rozdělení složek ve směsi, dobré řízení teploty během míchání a zajištění co nejkratší míchací doby. [5]

### 3.3 Složení směsi určené ke vstřikování

Gumárenské směsi pro vstřikování se liší především průběhem vulkanizačních křivek. Požaduje se přiměřená indukční perioda s konstantní plasticitou a vysoká rychlost vulkanizace. Dosahuje se toho vhodnou kombinací urychlovačů a retardérů vulkanizace ve zvoleném vulkanizačním systému. Při vstřikování kaučuku se používají šnekové plastikační jednotky. Materiál se plní do šneku buď jako pásek nebo jako granulát. Vzhledem k vlastnostem gumárenských směsí probíhá plastikace ve šneku za výrazného přispění disipované energie. Plastikovaný materiál se často dopravuje do vstřikovacího válce, ze kterého se pak vstřikuje do dutiny formy. Při plnění formy materiál teče i v povrchové vrstvě, protože teplota formy je vyšší, než teplota vstřikovaného materiálu.

Vyžaduje to volbu dostatečných průřezů vtokových kanálů i dutiny formy. Forma musí být dokonale od vzdušněna. Vyhazovací systém musíme volit s ohledem na vysokou pružnost a malou pevnost hotových výstřiků. Vstřikování gumárenských směsí umožňuje výrobu tlustostěnných výrobků při zkrácené době a zvýšené kvalitě vulkanizátu. Vyžaduje však náročnější výrobní zařízení a je méně vhodné pro kusovou výrobu na rozdíl od předchozích technologií. [3]

*Tab. 3. Receptura standardní směsi.*

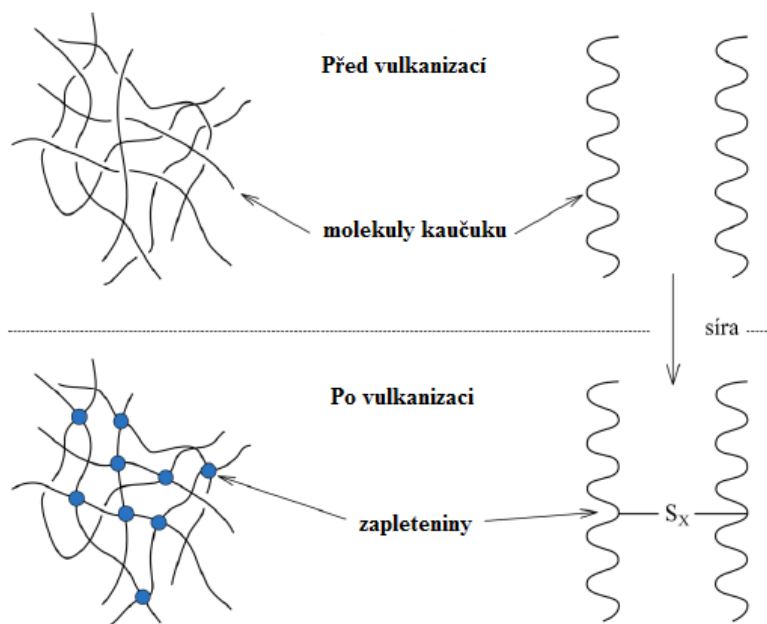
<b>Složka</b>	<b>Množství [DSK]</b>
Kaučuk	100,0
Stearin	3,0
Oxid zinečnatý	5,0
Saze	50,0
MBTS	0,6
Síra	2,5
Celkem	161,1

## 4 VULKANIZACE

Zahříváním kaučukové směsi na vhodnou teplotu (např. 150°C) dojde za určitou dobu (např. 30 min) k její vulkanizaci. Probíhají při ní chemické reakce mezi kaučukem a ostatními složkami kaučukové směsi zejména vulkanizačním činidlem za vzniku chemických příčných vazeb. Koncentrace vulkanizačního činidla (např. síry aj.) přitom postupně klesá, téměř až na nulovou hodnotu. Probíhající chemické reakce se řídí týmiž zákonitostmi jako v oblasti nízkomolekulárních sloučenin a jejich roztoků.

Kaučukové směsi vulkanizují většinou za tlaku. Ten zde není důležitý z hlediska chemických reakcí, ale zabraňuje vzniku nežádoucích pórů ve výrobku v důsledku vývoje plynných látek, a zejména vypařováním vody. Proto se volí vždy tlak větší než je odpovídající tenze par při vulkanizační teplotě. (Např. při 145°C je tenze vodní páry 0,42 MPa, proto se používají tlaky, převyšující 0,5 MPa).

Reakcí vulkanizačního činidla s kaučukovým uhlovodíkem se vytváří prostorová síť, v níž jsou původní makromolekuly lineárního kaučukového uhlovodíku spojeny chemickými vazbami, které nazýváme *příčné vazby*. [9]



Obr. 8. Princip vytvoření příčné vazby. [28]

Vulkanizační systém, který ovlivňuje průběh a stav vulkanizace, se zpravidla skládá z vulkanizačního činidla, urychlovače a aktivátoru. Vulkanizační činidlo vulkanizaci umožňuje, urychlovač a aktivátor upravují její průběh a stupeň a do značné míry i mechanické vlastnosti vulkanizátu. [10]

## 4.1 Průběh vulkanizace

Rychlost vulkanizace kaučukových směsí je jedním z hlavních činitelů ovlivňujících produktivitu výroby pryže, protože náklady spojené s vulkanizací jsou poměrně velké (drahé strojní zařízení, velká spotřeba energie, nákladná údržba). Rychlost vulkanizace se řídí stejnými zákonitostmi jako rychlost jiných chemických reakcí. Podle současných, dobře podložených názorů se při vlastní vulkanizaci uplatňuje především reakce řetězové, jejichž průběh má charakteristické rysy. Při podrobnějším studiu vulkanizace rozlišujeme následující fáze:

1. *Indukční periodu vulkanizace* - Nazývá se také obdobím zpracovatelské bezpečnosti. Během této fáze reagují vulkanizační činidla s kaučukem za vzniku meziproductů rozpustných v kaučuku. Po dobu trvání indukční periody lze se směsí bezpečně manipulovat. Na konci této fáze začínají vznikat příčné vazby.

2. *Vlastní síťovací reakci* - Rychlost vzniku příčných vazeb je nejvyšší a postupně klesá s úbytkem vulkanizačních činidel. Nárůst pevnosti je nejvyšší.

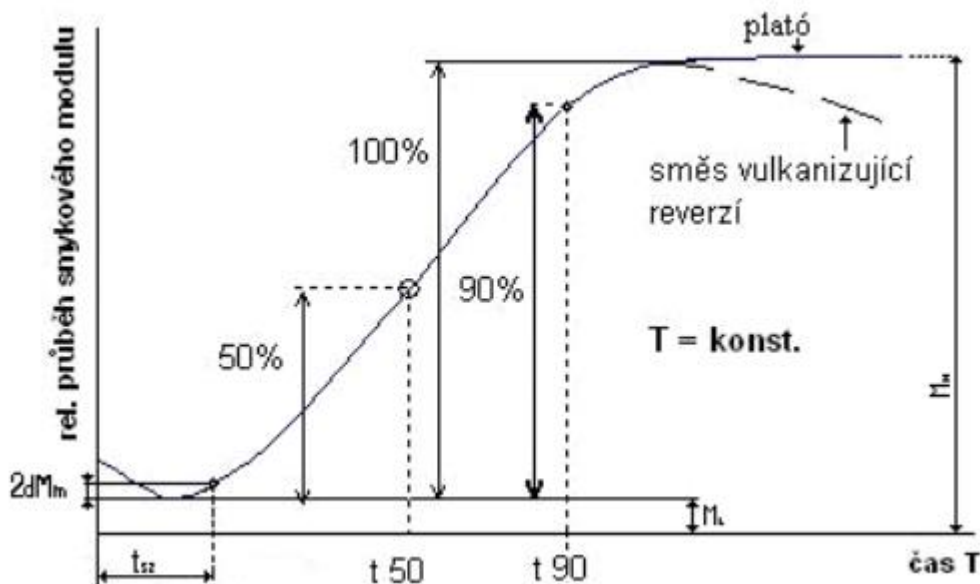
3. *Změny ve struktuře vytvořené sítě* - Jedná se o poslední fázi vulkanizační charakteristiky. V této fázi je tvorba sítě téměř u konce. Pokud se pevnost vulkanizátu dále nemění, jedná se o tzv. vulkanizační plató. Pokud pevnost klesá, jedná se reverzi, což je typické pro přírodní kaučuk. U syntetických kaučuků roste pevnost nad všechny meze, což se označuje jako „kráčející modul“. [9]

## 4.2 Vulkanizační křivka

Po přidání všech složek vulkanizačního systému do směsi při dostatečné teplotě nastává jeho působení. Nejdříve se vytváří aktivní meziproduct, později vznikají příčné vazby. Jakmile tvorba příčných vazeb dosáhne určitého stupně, mění se zpracovatelské vlastnosti, indikované změnou plasticity. Doba potřebná k dosažení této změny se nazývá bezpečnost směsi. Nejčastěji se určuje vulkanometrem Mooney. Bezpečnost směsi z přírodního kaučuku se určuje zpravidla při teplotě 120 °C, pro směsi z butadienstyrenového kaučuku je vhodnější teplota 140 °C. V praxi se považuje hodnota 20 min. při 120 °C za spolehlivě bezpečnou. Hodnota 10 min. je limitní při dobré kontrole teploty, hodnota 8 min. již ale vede k nezpracovatelnosti směsi. Ekonomická hodnota se pohybuje mezi 15 a 20 min.

Změna indikovaná stoupaním viskozity se prakticky shoduje se začátkem vulkanizace. Pokračováním v zahřívání se vyvíjí příčné vazby a nastává vulkanizace. Její průběh se

sleduje vulkanizační křivkou. Následující graf (Obr. 9) se skládá z úseku bezpečnosti směsi a z úseku vulkanizační křivky. Bezpečnost směsi je uvedena jako celková doba  $t_{s2}$ , po které dojde ke změně zpracovatelnosti směsi. Doba bezpečnosti směsi musí být nejméně tak dlouhá, aby po veškerém nutném přípravném zpracování zůstal ještě podíl, nutný pro tok a vyrovnání tlaku ve formě, provádí-li se vulkanizace v lise. Kromě nutného tepelného zatížení a podílu je potřeba ponechat ještě rezervu, 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. Časový úsek vulkanizační křivky od konce doby bezpečnosti do dosažení optima  $M_H$  je čistou dobou vulkanizace. Průběh vulkanizace lze obecně sledovat závislostí jakékoliv vlastnosti na čase, nejčastěji pevnosti. [10]



Obr. 9. Vulkanizační křivka. [3]

Legenda:

$t_{s2}$  – doba bezpečnosti

$t_{50}$  – 50% vulkanizace materiálu (50% příčných vazeb)

$t_{90}$  – 90% vulkanizace materiálu (výrobek se vytahuje z formy)

$M_L$  – minimální kroučící moment

$M_H$  – maximální kroučící moment

## 5 VSTŘIKOVÁNÍ

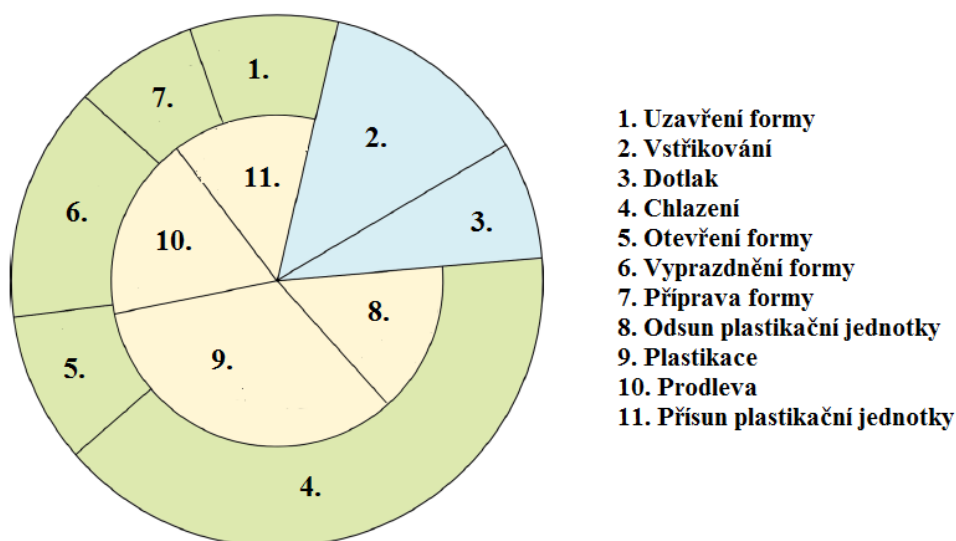
Technologie vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílu z polymerů. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a vstřikovací forma. Vstřikování je takový způsob tváření polymerních materiálů, při kterém se zplastikovaný materiál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

Vstřikováním lze zpracovávat jak termoplasty, tak i reaktoplasty a kaučukové směsi. Zatím co u termoplastů je interval pro tváření teoreticky neomezený u reaktoplastů a kaučuků je tento interval omezen v důsledku probíhajícího síťování. Čím je teplota tváření vyšší, tím je tvářecí interval kratší. [12]

### 5.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus zahrnuje dvě oblasti, jedna se vztahuje k plastikaci a druhá k formě. Z tohoto plyne poměrně velká produktivita této metody zpracování polymerních a gumárenských směsí. [10]

Vstřikovací cyklus nejlépe popisuje obrázek:



Obr. 10. Vstřikovací cyklus. [11]

K uzavřené formě se přisune plastikační jednotka, ze které se vstříkne zplastikovaný materiál do dutiny formy. Doba, po kterou se plní dutina formy, se nazývá doba plnění. Po zaplnění dutiny formy se působí na materiál dále tlakem, který se nazývá dotlak. Dotlak bývá stejný nebo nižší než vstříkovací tlak. Smyslem dotlaku je částečně vyrovnat vliv smrštění a zabránit unikání materiálu z dutiny formy. Doba doplňování je omezena zatuhnutím materiálu ve vtokovém systému. Potom již její další prodlužování nemá vliv na tlakové poměry v dutině formy. Dotlak ztrácí význam u tenkostěnných výstřiku. Po zatuhnutí vtokového ústí následuje vulkanizace, během které se ze syrové kaučukové směsi, za pomoci vulkanizačního činidla, zvýšené teploty a tlaku, stává elastický vulkanizát. Tato zvulkanizovaná pryž je vyhozena a ochlazená pomocí vzduchu.

Časová prodleva před zahájením nového cyklu slouží pro uložení vložek do formy, případně k úpravě dutiny formy, odstranění zbytku materiálu a přetoku. Při vstříkování elastomeru se často používá separačního prvku, který se nanese na tvarové části, protože pryž má tendenci se přilepit na stěny formy. U plně automatizovaných procesu tato prodleva prakticky odpadá. [12]

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

*Tab. 4. Orientační hodnoty pro vstříkování.*

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

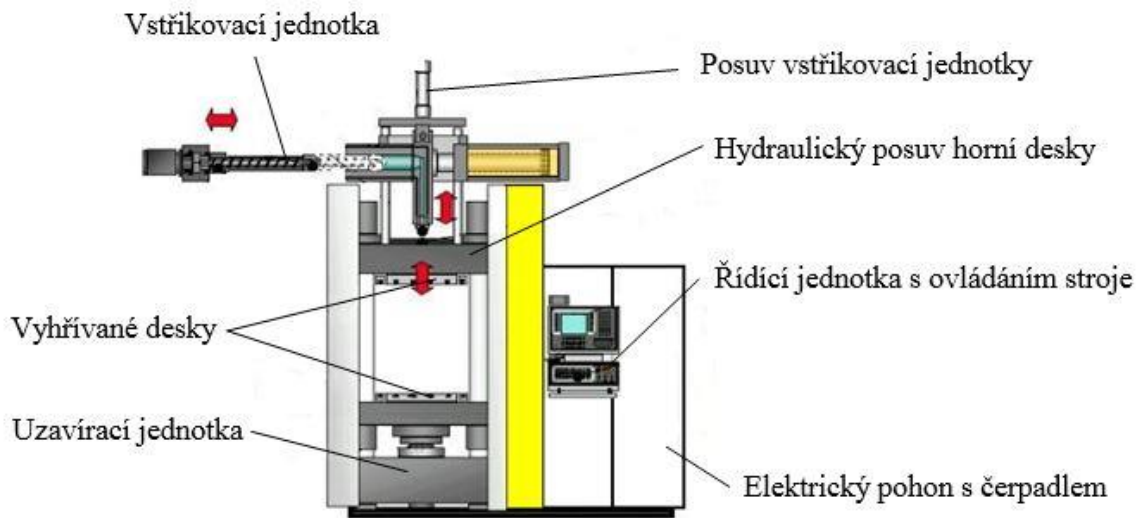
## 5.2 Vstříkovací stroj

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

Vstříkovací stroj se skládá ze vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Schéma vstříkovacího stroje se šnekovou plastikací na obrázku. Každý výrobce vstříkovacích strojů je schopen vybavit vstříkovací stroj tak, aby plnil funkci částečně nebo plně automatizovaného pracoviště, tj. dovybavit stroj manipulatory, roboty, temperačním



zařazením, dávkovacím a mísícím zařazením, sušárny, dopravníky pro výrobky a vtoky, mlýny, atd. [13]



Obr. 11. Schéma vstříkovacího stroje. [13]

### 5.2.1 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka plní dva hlavní úkoly: přeměňuje gumárenskou směs na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstříkuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy.

Plastikační jednotka zabezpečuje roztavení plastového materiálu a vstříknutí této taveniny do dutiny vstříkovací formy. Aby bylo možné vyrábět kvalitní shodné výstřiky, musí být do dutiny formy dopraveno konstantní množství zplastikovaného materiálu stejné kvality při každém vstříkovacím cyklu. Proto musí tato jednotka produkovat homogenní taveninu s konstantní teplotou v požadovaném množství. [13]

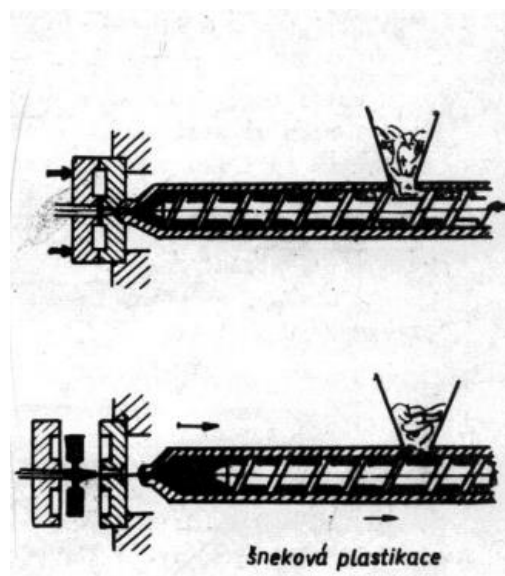
Tavná komora je zakončena tryskou, jež spojuje vstříkovací jednotku s formou. Kulové zakončení trysky zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Jejich souosost, menší průměr otvoru a menší poloměr trysky, než je u sedla vtokové vložky, jsou podmínkou správné funkce. [14]

#### Vstříkovací jednotka bez předplastikace

Ve vstříkovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavicí komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). [12]

**Pístová plastikace.** Při pístové plastikaci se dávkuje zpracováváný materiál dávkovacím zařízením do tavicí komory a to buď objemově, nebo hmotově. V tavicí komoře se materiál roztaví a tavenina se vstříkne pístem do formy. Výhodou vstřikovacích jednotek s pístovou plastikací je jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstřikovacích tlaků (přes 100 MPa). Nevýhodou je horší homogenizace taveniny. [12]

**Šneková plastikace.** U vstřikovací jednotky se šnekovou plastikací vstupuje zpracováváný materiál z násypky do pracovního válce. V pracovním válci se polymer plastikuje, homogenizuje a dopravuje pomocí šneku. Šnek se otáčí a posouvá směrem dozadu, čímž vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství se materiál axiálním pohybem šneku vstříkne přes vstřikovací trysku do formy. Pracovní válec je opatřen topnými bloky. Přímočarý i rotační pohon šneku bývá většinou realizován přímočarým a rotačním hydromotorem, popř. elektromotorem s mechanickými převody. Aby byl umožněn axiální pohyb, jsou hnací kolo i hřídel šneku opatřeny drážkováním. [12]

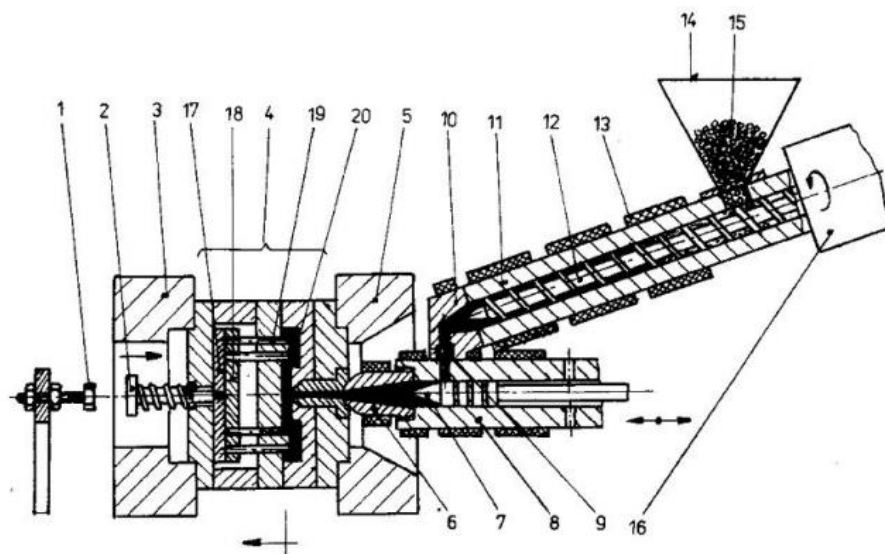


Obr. 12. Vstřikovací jednotka bez předplastikace. [10]

### Vstřikovací jednotka s předplastikací

Zajištění dostatečného plastikačního výkonu a dokonalé homogenizace taveniny vedly k rozdělení vstřikovací jednotky na část plastikační a část vstřikovací. Zpracováváný materiál se plastikuje v oddělené plastikační jednotce a takto připravená tavenina se dopravuje do vstřikovacího válce, odkud se pak vstříkne pístem do formy. Toto uspořádání umožňuje výrazné zkrácení vstřikovacího cyklu. [12]

Plastikace probíhá v pracovním válci. Vstřikování je zajištěno vstřikovacím pístem. Toto uspořádání umožňuje spojit výhody šnekové plastikace s výhodami vstřikování pístem. Dosahuje se tím rychlé a dokonalé plastikace materiálu a vysokých vstřikovacích tlaku a rychlostí. Při šnekové plastikaci se lépe ovládají plastikační podmínky a dosahuje se vyšších výkonů. Nevýhodou tohoto uspořádání je složitost a vyšší nároky na seřizování a údržbu. Uplatnění nacházejí zejména při vstřikování objemových výrobků a při vstřikování elastomeru. [12]



Obr. 13. Pístová vstřikovací jednotka se šnekovou plastikací. [15]

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

### 5.2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu přísouvací a sílu uzavírací. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy.[13]

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Vstřikovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického způsobu (závorování) a v poslední době se používají i elektrické systémy. [13]

### 5.2.3 Řízení a regulace stroje

Stupeň seřízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se to na přesnosti a kvalitě výrobku. Řízení stroje se proto musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. [14]

Nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno (zpětná vazba). Alternativní volba a úprava programu se pak může snadno uskutečnit za pomoci zobrazovacího displeje. Na přesnosti a jakosti výstřiku má řízení stroje rozhodující vliv. [14]

Tím, že určuje a dodržuje přesnost:

- nastavení výše i doby vstřikovaného tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení.

Tyto parametry určují především přesnost a toleranci výstřiku,

- nastavení doby a výšky teploty taveniny, její homogenizace jsou určeny fyzikální a mechanické vlastnosti výstřiku. [14]

## 5.3 Vstřikovací forma

Vstřikovací formy musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výrobky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady. Důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů je rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů výstřiku a opotřebení části stroje. [14]

### 5.3.1 Konstrukce vstřikovací formy

Konstrukce a výroba formy je náročná a speciální činnost, kterou si obvykle vstřikovna zajišťuje sama nebo tuto činnost zadává specializovaným firmám, tzv. nástrojárnám. Pro vyhotovení výkresové dokumentace formy a pro její výrobu, je třeba znát celou řadu technických údajů. [14]

#### Podklady pro konstrukci formy:

- výkres součástí,
- určení násobnosti formy,
- volba vstřikovacího stroje,
- postup při konstrukci formy. [14]

### 5.3.2 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj je významnou složkou pro dosažení kvalitních výstřiků. Jeho výrobu ovlivňuje hmotnost a rozměry vyráběného dílu, požadovaná přesnost a kvalita výstřiku, velikost formy.

Velikost vstřikovacího stroje se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem i uzavírací silou musí dostatečně a s rezervou naplnit bezpečně uzavřenou formu (dutiny i kanály). Požadovaná rezerva objemu taveniny i uzavírací síly je cca 20 %. [14]

## 6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Mechanické vlastnosti umožňují kvantitativně hodnotit chování materiálů za působení vnějších sil, př. i dalších vlivů. Některé hodnoty mají fyzikální význam - lze je tedy přepočítávat pro jiný tvar a rozměr, jiné vystihují chování za určitých podmínek (nelze převádět) pro posouzení vlastností a zpracování materiálů (vrubová houževnatost). Celkové zkoušení je nezbytné pro kontrolu jakosti výrobků, jako důležitý poznatek výzkumných prací i k hodnocení úrovně technologie výroby.

Mechanické zkoušky můžeme dělit dle:

- charakteru zatěžování (statické, dynamické),
- zjišťovaných vlastností (pevnostní, tvrdostní, únavy ap.),
- druhu namáhání (tah, tlak, ohyb, krut ap.),
- teploty a prostředí.

Pro zabezpečení reprodukovatelnosti a porovnatelnosti je nutnost jejich normování.

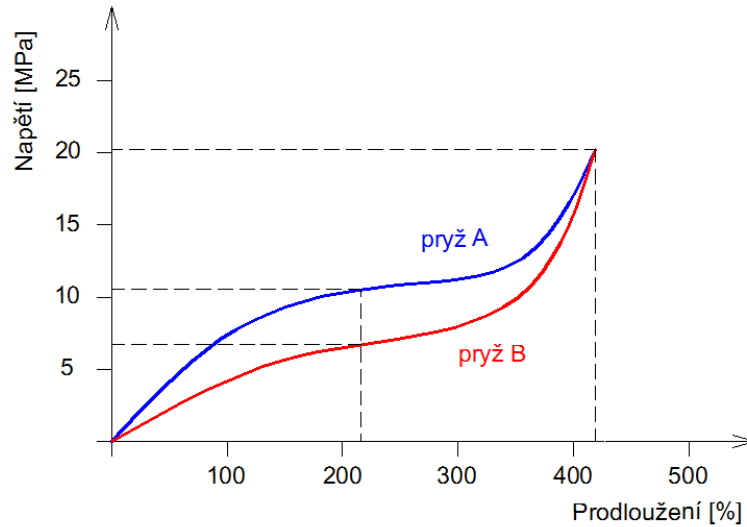
ČSN udává počet zkušebních vzorků dle množství a druhu výroby, potřeby bezpečnosti ap.

Obecné zásady pro odběr jsou:

- reprezentace určité dávky, výroby, tavby ap.,
- vyhnout se místům s předpokládanými vadami,
- vzorek musí prodělat celý výrobní proces,
- odběrem se nesmí ovlivnit vlastnosti,
- brát ohled na anizotropii,
- značení (nepoškozovat zkušební část, zůstat zachováno). [18]

### 6.1 Tahová zkouška

Tahové zkoušky dávají celkový hrubý obraz o vlastnostech pryžového materiálu. Mimo to se pomocí nich kontroluje pravidelnost technologických postupů, jako je například vulkanizace. Pro každou pryž je závislost zatížení na prodloužení charakteristická. Je možné pomocí ní zjistit nejenom konečné zatížení (pevnost), konečné prodloužení (tažnost), ale také zatížení potřebné k určitému prodloužení (modul). Ten velmi často slouží jako měřítko při hodnocení pryže. U pryží se vyhodnocují moduly u různých protažení (100%, 300%, 500% apod.) [25]



Obr. 14. Závislost napětí na prodloužení.

### 6.1.1 Zkušební tělesa

Rozměry zkušebních těles jsou dle normy. Jeden z nejvyužívanějších typů zkušebních těles je tvar lopatky. Při tvaru lopatky u tuhých materiálů s tažností jen několik procent nastává deformace převážně jen v zúžené části a přenáší se do rozšířeného tvaru. U pryže, která je silně deformovaná, dochází k přenášení napětí i do rozšířených částí. Ty se deformují a vznikají nepřesnosti v odčítání závislosti napětí na deformaci. Jednotlivé rozměry dle typu tělesa jsou uvedeny v následující tabulce. [25]

Tab. 5. Rozměry dle typu zkušebního tělesa.

Rozměr [mm]	Typ 1	Typ 1A	Typ 2	Typ 3	Typ 4
A Celková délka	115	100	75	50	35
B Šířka konců	$25 \pm 1,0$	$25 \pm 0,5$	$12,5 \pm 1,0$	$8,5 \pm 0,5$	$6 \pm 0,5$
C Délka úzké části	$33 \pm 2,0$	$20 \pm 2,0$	$25 \pm 1,0$	$16 \pm 1,0$	$12 \pm 0,5$
D Šířka úzké části	$6 \pm 0,4$	$5 \pm 0,1$	$4 \pm 0,1$	$4 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$
A Přechodový poloměr	$14 \pm 1,0$	$11 \pm 1,0$	$8 \pm 0,5$	$7,5 \pm 0,5$	$3 \pm 0,1$
F Přechodový poloměr	$25 \pm 2,0$	$25 \pm 2,0$	$12,5 \pm 1,0$	$10 \pm 0,5$	$3 \pm 0,1$
Vyhodnoc. délka	$25 \pm 0,5$	$20 \pm 0,5$	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$

### 6.1.1 Průběh tahové zkoušky

Tělesa tvaru oboustranné lopatky jsou protahována na tahovém zkušebním stroji konstantní rychlostí 500 mm/min v upínacích čelistech. Odečítají se hodnoty síly a prodloužení protahovaných zkušebních těles v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku přetržení. Výsledky získané na zkušebních tělesech nemusí poskytovat stejné hodnoty příslušných vlastností. Ovlivňujícím faktorem je orientace, která může ovlivňovat naměřené hodnoty v závislosti na tom, zda je osa lopatek souběžná se směrem orientace nebo zda je na něj kolmá. Při této zkoušce jsou měřeny, popř. automaticky vyhodnocovány veličiny jako jsou pevnost v tahu, tažnost a modul při prodloužení. [21]

## 6.2 Zkouška strukturní pevnosti

Odolnost proti dalšímu trhání (strukturní pevnost) je charakterizována silou (vztaženou na jednotkovou tloušťku zkušební tělesa), které je při konstantní rychlosti protahování třeba na zvětšování zářezu záměrně provedeného na zkušebním tělese. Při zkoušce strukturní pevnosti se používá těles různého tvaru, avšak jejich výsledky nejsou vzájemně srovnatelné, neklasifikují různé vulkanizáty ve stejném pořadí. Je to způsobeno částečně tím, že u většiny používaných zkušebních těles se vkládaná vnější síla spotřebuje nejenom na zvětšování zářezu, ale i na deformaci (protahování) tělesa. Změřená síla je proto ovlivněna nejen odolností tělesa proti trhání, ale i jeho tuhostí (modulem). Tento nedostatek je téměř odstraněn u zkušebních těles typu trouser. Je-li zkušební těleso dostatečně široké, pak se jeho nastřižené části při zkoušce prakticky neprotahují a síla potřebná k trhání je rovna síle měřené.

Objektivní mírou odolnosti proti trhání je tzv. energie trhání  $T$ . U dostatečně širokých těles typu trouser ji lze vypočítat jako dvojnásobek změřené trhací síly ku tloušťce tělesa.

Veličina  $T$  je tedy jednoduše rovna dvojnásobku strukturní pevnosti při obvyklém vyhodnocení. Z fyzikálního hlediska představuje energii potřebnou k odhalení jednotky nového povrchu; její rozměr je tedy energie na jednotku plochy (N/mm). Jeli možno vyhodnotit i u těles jiného vhodného tvaru a nalezené hodnoty  $T$  jsou stejné. To ukazuje, že trhací energie je skutečně vlastností materiálu při dané teplotě a rychlosti protahování a že nezávisí na typu zkušební tělesa. [26]



### 6.2.1 Zkušební tělesa

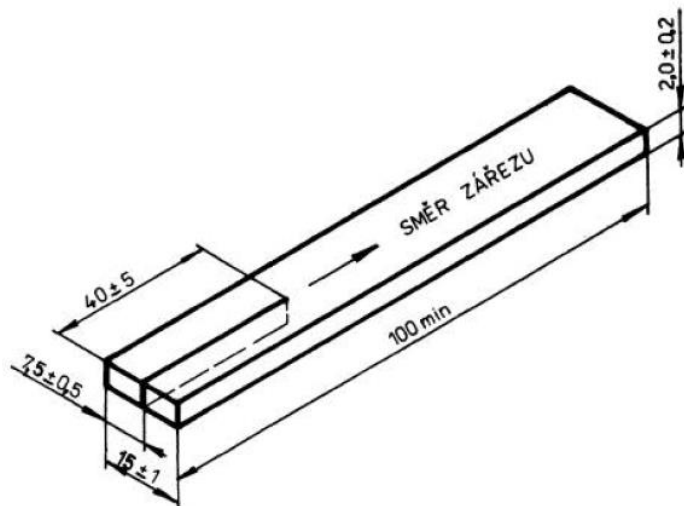
Zkoušky se provádějí na jednom z následujících typů zkušebních těles:

- Typu I – trouser
- Typu II – graves – bez zářezu nebo se zářezem
- Typu III – crescent – se zářezem

Použitý typ zkušebního tělesa se předepisuje normami pro pryž a pryžové výrobky.

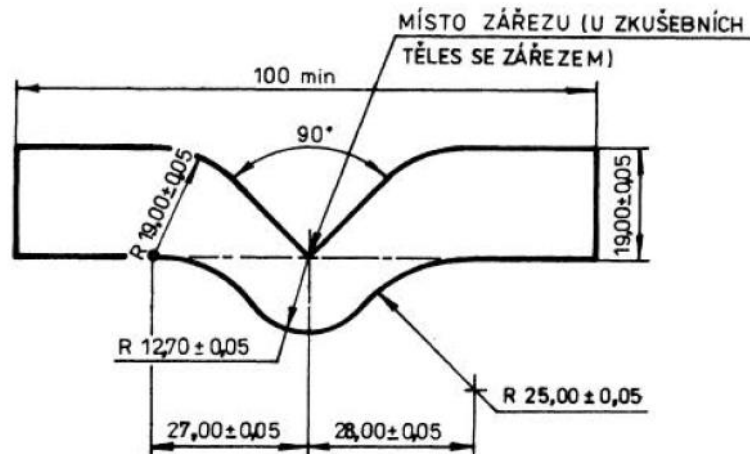
Výsledky zkoušek stanovené na různých typech zkušebních těles nejsou srovnatelné.

Tvar a rozměry zkušebních těles typu I jsou dány použitým vysekávacím nožem, jehož rozměry jsou uvedeny na obrázku (Obr. 15). Poslední milimetr zářezu se musí zhotovit řezným nástrojem, který se zvlhčí vodou nebo mýdlovým roztokem. [22]



Obr. 15. Tvar a rozměry zkušebního tělesa typu I. [22]

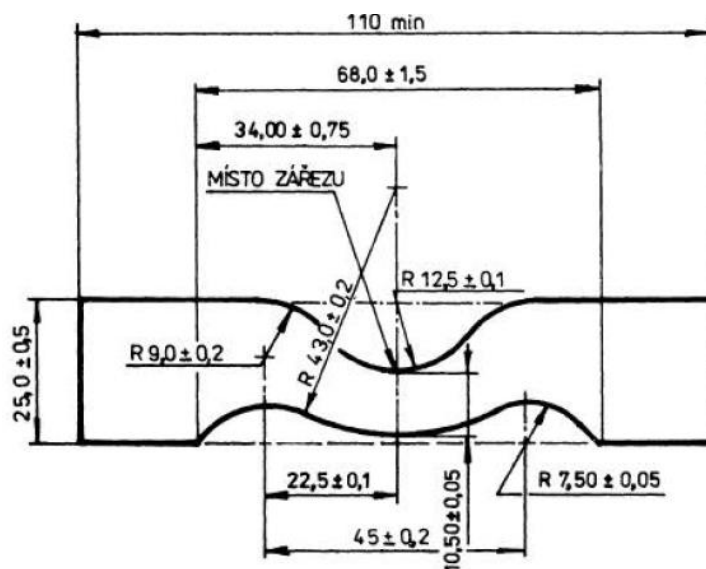
Tvar a rozměry zkušebních těles typu II jsou dány použitým vysekávacím nožem, jehož rozměry jsou uvedeny na obrázku (Obr. 16). Pro zkoušení těles se zářezem musí být zářez zhotoven nařezávacím zařízením do hloubky  $1 \pm 0,2$  mm.



Obr. 16. Tvar a rozměry zkušebního tělesa typu II. [22]

Tvar a rozměry zkušebních těles typu III jsou dány použitým vysekávacím nožem, jehož rozměry jsou uvedeny na obrázku (Obr. 17). Zářez musí být proveden nařezávacím zařízením do hloubky  $1 \pm 0,2$  mm.

Rozměry zkušebních těles, s výjimkou tloušťky, jsou dány rozměry použitých vysekávacích nožů a nekontrolují se. Povolené tolerance pro vysekávací nože jsou uvedeny na obrázcích (Obr. 15 – Obr. 17). [22]



Obr. 17. Tvar a rozměry zkušebního tělesa typu III. [22]

Tloušťka zkušebního tělesa musí být  $2 \pm 0,2$  mm. Měří se v místě zářezu podle ST SEV 983-78 s přesností na 0,01 mm.

Požadavky na jiné tloušťky zkušebních těles musí být předepsány normami pro pryžové výrobky.

Zkušební tělesa se vysekávají z vulkanizovaných plotniček podle ST SEV 983-78 tak, aby bylo možné strukturální pevnost stanovit ve dvou vzájemně kolmých směrech, shodných se směrem anizotropie pryže.

Místo a směr vysekávání zkušebních těles z hotových výrobků předepisují normy pro pryžové výrobky.

Pro každou zkoušku se použije nejméně 5 zkušebních těles. [22]

### 6.2.2 Průběh strukturální zkoušky

Zkouška spočívá v namáhání těles, upnutých v čelistech trhacího stroje, tahem a v měření síly potřebné k přetržení zkušebních těles. Zkouška se provádí na zkušebních tělesech typu trouser, graves nebo crescent. Tvar a rozměry zkušebních těles s výjimkou tloušťky, jsou dány rozměry použitých vysekávacích nožů a nekontrolují se. Tloušťka zkušebních těles musí být  $2 \pm 0,2$  mm. Zkušební tělesa se vysekávají z vulkanizovaných plotniček tak, aby bylo možné strukturální pevnost stanovit ve dvou vzájemně kolmých směrech, shodných se směrem anizotropie pryže. Zkušební těleso trouser se po upnutí do čelistí trhacího stroje rovnoměrně namáhá tahem při rychlosti posuvu pohyblivé čelisti  $100 \pm 10$  mm/min. Automaticky se zaznamenává síla, která je potřebná k přetržení zkušebního tělesa. U zkušebních těles typů graves a crescent se rychlost posuvu zvýší na  $500 \pm 50$  mm/min. [27]

## 6.3 Zkouška tvrdosti

Pokud je předmět vtlačován do povrchu tuhé hmoty, vzniká na povrchu vtisk. U kovů anebo jim podobným materiálům, vzniká trvalá deformace a prohloubení zůstane v povrchu vytlačeno i po odstranění indentoru v podobě odpovídajícímu jeho obrysu. U pryžových materiálů tomu tak není, proto se deformace po-vrchu musí měřit během vtlačování. Teoreticky platí, že odolnost pryže proti vtlačování závisí při malých deformacích na modulu pružnosti, rozměru zkušebního tělesa a na rozměru tělesa (indentoru), které je vtlačované.

Síla vnikání indentoru do materiálu může být aplikovaná třemi způsoby:

- aplikace konstantní síly, kdy je vyhodnocovaná hloubka indentoru,
- aplikace proměnné síly, která vyvolá konstantní vniknutí indentoru,
- použití odporu pružiny, co má za následek změnu vnikající síly v závislosti na hloubce vniknutí. [23,25]

### Metoda Shore A

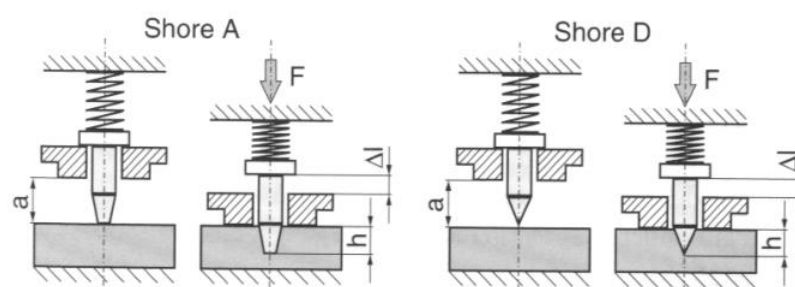
Je vhodná pro měření tvrdosti pryže v rozsahu 20-90 jednotek ShA. Měření nižších anebo vyšších tvrdostí není možné považovat za správné, pouze jen za informativní (pro měření nižších hodnot je vhodné použít metodu DVM a pro měření tvrdších vulkanizátů zase metodu Shore D). Měrnou jednotkou je jeden dílek na Shore stupnici, přičemž vyšší číslo značí tvrdší pryž.[25]

Zkušební těleso se umístí na rovný, tvrdý, tuhý povrch. Opěrná patka se co nejrychleji a bez nárazu přiloží na zkušební těleso, nebo naopak tak, aby byla rovnoběžná s povrchem zkušebního tělesa a bylo zjištěno, že identor směřuje kolmo k povrchu pryže.

Použije se vhodná síla potřebná k dosažení pevného kontaktu mezi opěrnou patkou a zkušebním tělesem a při specifikovaném čase měření se odečte indikovaná hodnota tvrdosti. Standardní doba měření pro vulkanizovanou pryž musí být 3 s pro termoplastický elastomer 15 s. Lze použít jiné doby měření za předpokladu, že budou uvedeny v protokolu o zkoušce. Pryže neznámého typu by měly být posuzovány jako vulkanizovaná pryž.

Provádí se pět měření tvrdosti na různých místech zkušebního tělesa vzdálených od sebe nejméně 6 mm pro Shore A a D a stanoví se hodnota mediánu.

Když doba měření bude jiná než 3 s, potom se zaznamenají jednotlivé hodnoty tvrdosti společně s příslušnou dobou měření tvrdosti a stanoví se hodnota mediánu a naměřená maximální a minimální hodnota. [23]



Obr. 18. Zkušební hroty pro metodu Shore A a Shore D. [20]

#### 6.3.1 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa musí být připravena podle ISO 23529.

Pro stanovení tvrdosti pomocí tvrdoměrů Shore A, D musí být tloušťka zkušebního tělesa nejméně 6 mm.

U desek tenčích než 6mm může být zkušební těleso k dosažení požadované tloušťky složeno z několika tenčích vrstev, ne však více než ze tří. Jakkoli stanovení provedená na těchto zkušebních tělesech se nemusí shodovat s těmi provedenými na zkušebních tělesech z jednoho kusu.

Měření na tenkých zkušebních vzorcích z měkké pryže bude ovlivněno opěrnou deskou a bude vykazovat příliš vysoké hodnoty.

Ostatní rozměry zkušebního tělesa musí být takové, aby umožnily měření ve vzdálenosti nejméně 12 mm od každého okraje pro Shore A a D.

Povrch zkušebního tělesa musí být rovný a rovnoběžný na dostatečné ploše, aby se opěrná patka dotýkala zkušebního tělesa na ploše o poloměru nejméně 6 mm od špičky indentoru pro Shore A a D.

Pomocí tvrdoměrů nelze provést uspokojivé měření tvrdosti u zkušebních těles se zaoblenými nebo drsnými povrchy. Jejich použití se však v určitých speciálních aplikacích přípouští, např. ISO 7267-2 pro stanovení tvrdosti opryžovaných válců. V takových případech musí být omezení jejich použití jasně popsána. [23]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce si klade za cíl zjistit vliv změny technologie přípravy pryžových zkušebních těles na vybrané mechanické vlastnosti (tahové vlastnosti, strukturní vlastnosti, tvrdost). Práce hodnotí, zda jsou nestandardní metody přípravy pryžových zkušebních těles (vstřikování a vyseknutí za vstřikované plotničky) stejně vhodné jako standardní metoda přípravy (vyseknutí z vylisované plotničky), zejména pro výrobu vstřikovaných výrobků.

Postup řešení diplomové práce je následující:

- Volba materiálu (vulkanizační analýza) – pro experiment byly vybrány dvě kaučukové směsi, které byly podrobeny vulkanizační analýze a byl stanoven průběh vulkanizace.
- Příprava pryžových zkušebních těles – tělesa byla vyrobena metodou lisováním (standardní metoda), vstřikováním a kombinací těchto dvou metod.
- Mechanické zkoušky – tělesa byla podrobena tahové zkoušce, zkoušce strukturní pevnosti a zkoušce tvrdosti Shore A.
- Vyhodnocení – naměřená data mechanických zkoušek byly zpracovány a výsledky graficky znázorněny.

## 8 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

### 8.1 Volba materiálu

Pro experiment byly vybrány dvě kaučukové směsi, první na bázi přírodního kaučuku (NR+BR) a druhá na bázi syntetického kaučuku (EPDM). Směsi disponují dobrou zatékavostí a dostatečnou dobou bezpečnosti vulkanizace. Směsi byly podrobeny analýze na RPA 2000 pro stanovení vulkanizační charakteristiky (Obr. 19 a Obr. 20).

Vybrané kaučukové směsi jsou primárně určeny ke vstřikování a vlastním složením tomu také odpovídají. Používají se pro výrobu tlumících a těsnících prvků do automobilů.

Kaučukové směsi poskytla firma Anvis AVT s.r.o, která se zabývá vstřikováním pryžových výrobků pro automobilový průmysl.

### 8.2 Materiálové charakteristiky

Každá kaučuková směs má svoji recepturu a je složená z jednotlivých komponentů, jejichž množství ovlivňuje více či méně jak vlastnosti směsi při zpracování, tak i mechanické vlastnosti finálního vulkanizátu.

Kaučuk se řadí mezi pseudoplastické látky, u kterých viskozita s narůstající rychlostí smykové deformace klesá. Před samotným zpracováním je potřebné získat jeho tokovou křivku a rychlost vulkanizace při různých teplotách.

Obě vybrané kaučukové směsi byly podrobeny analýze zpracovatelských vlastností ve firmě Alpha Technologies na přístroji PRA 2000.

Průběhy viskozity a vulkanizace byly zjištěny pro více teplot v rozmezí  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  od doporučené zpracovatelské teploty.

#### 8.2.1 Kaučuková směs přírodní (NR+BR)

Tato kaučuková směs byla vybrána jako vhodný zástupce směsi na bázi přírodního kaučuku.

##### Složení směsi:

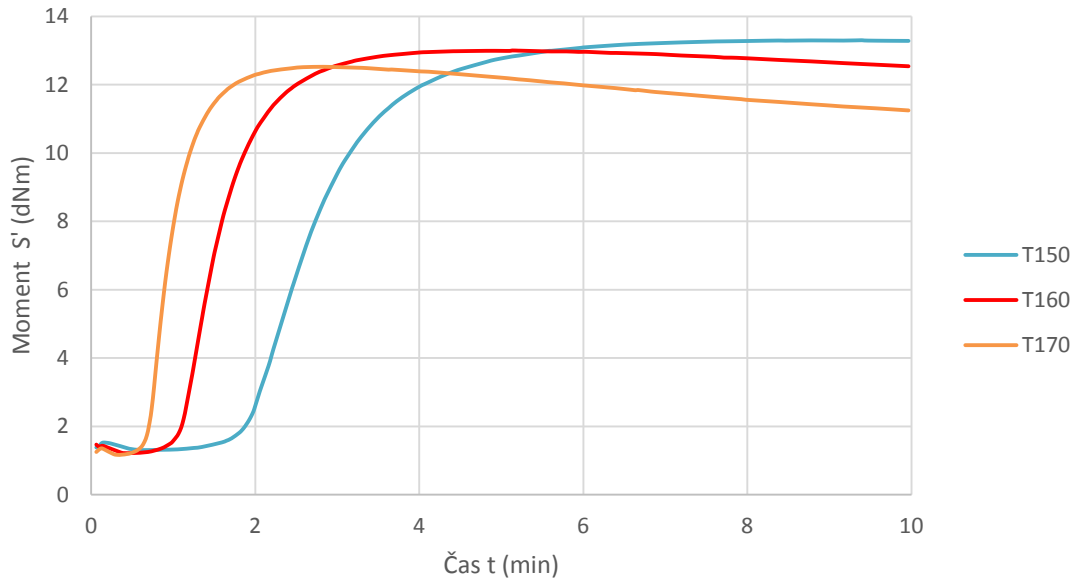
Kaučuk: NR 35%, BR 20%

Změkčovadla: 6,5%

Saze: 27%



Vulkanizační systém: 11,5% (síra)



Obr. 19. Vulkanizační křivky přírodní kaučukové směsi.

Jak už bylo zmíněno, směs byla podrobena vulkanizační analýze při teplotách 150, 160, 170°C. (Obr. 19)

Tab. 6. Vulkanizační parametry při 160°C

Min S' (ML)	1,21 dNm
Max S' (MH)	13,01 dNm
$t_s$	1,04 min
$t_{10}$	1,14 min
$t_{50}$	1,50 min
$t_{90}$	2,40 min

V tabulce (Tab. 6) jsou uvedeny základní vulkanizační parametry při zpracovatelské teplotě 160°C. Tato teplota byla rovněž zvolena pro vlastní experiment.

### 8.2.1 Kaučuková směs syntetická (EPDM)

Tato kaučuková směs byla vybrána jako vhodný zástupce směsí na bázi syntetického kaučuku.

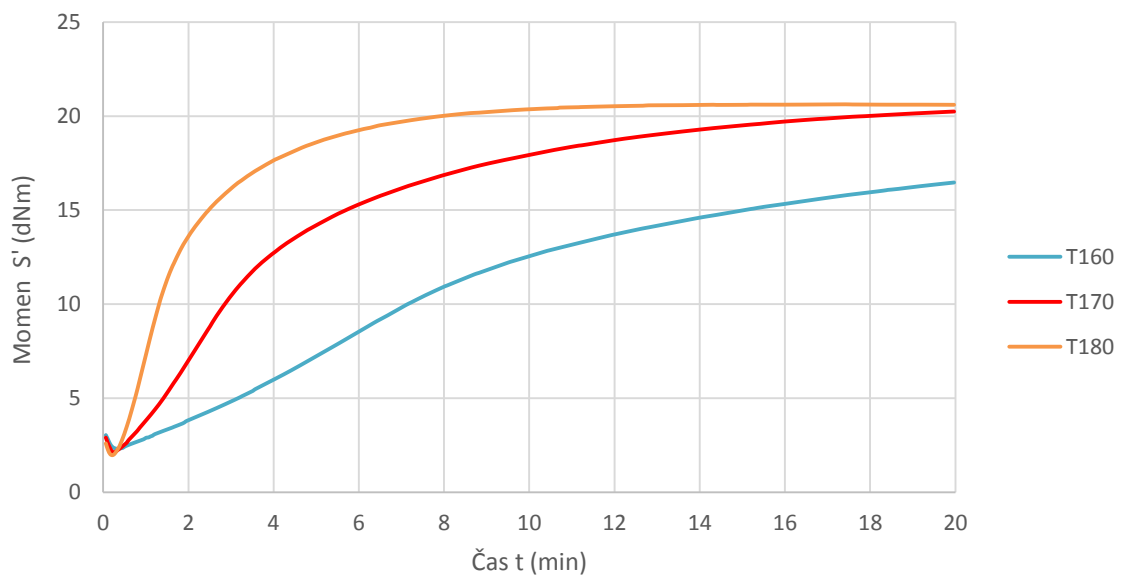
#### Složení směsi:

Kaučuk: EPDM 45%

Změkčovadla: 15%

Saze: 30%

Vulkanizační systém: 10% (síra)



Obr. 20. Vulkanizační křivky syntetické kaučukové směsi.

Na grafu (Obr. 20) jsou znázorněny průběhy vulkanizace při teplotách 160, 170, 180°C.

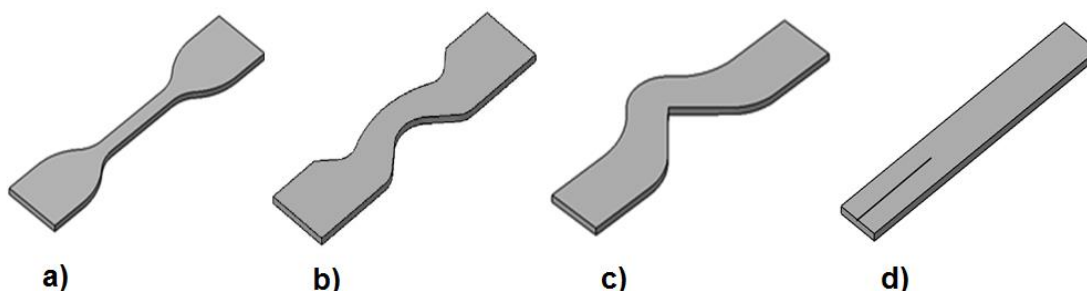
Tab. 7. Vulkanizační parametry při 170°C

Min S' (ML)	2,112 dNm
Max S' (MH)	20,243 dNm
$t_s$	0,54 min
$t_{10}$	1,04 min
$t_{50}$	3,26 min
$t_{90}$	11,16 min

V tabulce (Tab. 7) jsou uvedeny základní vulkanizační parametry při zpracovatelské teplotě 170°C. Tato teplota byla rovněž zvolena pro vlastní experiment.

### 8.3 Příprava zkušebních těles

Vzhledem k charakteru zkoušek byla zvolena standardizovaná zkušební tělesa o předepsaném tvaru a rozměru. Zkušební těleso dumbbell (typ 1) slouží pro stanovení tahových vlastností a tělesa crescent, graves (bez zářezu), a trouser slouží pro stanovení strukturních vlastností.



Obr. 21. Zkušební tělesa

a) dumbbell - typ 1, b) crescent, c) graves - bez zářezu, d) trouser

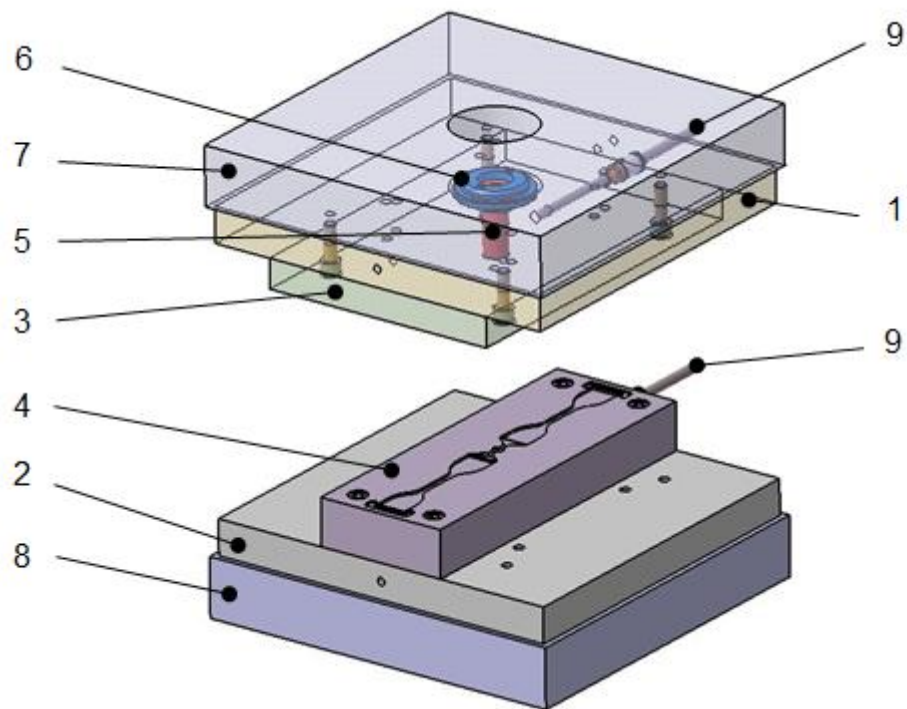
Zkušební tělesa byla připravena třemi způsoby:

- vstřikováním,
- vysekáním z vylisované plotničky (standartní příprava),
- vyseknutím ze vstřikované plotničky.

Každým způsobem přípravy byly vyrobeny jednotlivé druhy zkušebních těles.

#### 8.3.1 Příprava těles vstřikováním

K provedení experimentu byla nejprve navržena a vyrobena vstřikovací forma pro zkušební tělesa (Obr. 22). Navržená forma se skládá z univerzálního rámu, do kterého se podle potřeby vkládají tvarové desky pro dané tvary zkušebních těles (Obr. 23). Forma je vyrobena s ohledem na možnosti vstřikovacího stroje REP V27/Y125 (Obr. 24). Forma je vyrobena ze slitiny hliníku Certal. Výhodou tohoto materiálu je nižší cena, lepší tepelná vodivost, nižší hmotnost při dostatečných mechanických vlastnostech. Forma je vyhřívána vedením tepla od upínacích desek vstřikovacího stroje a je regulována pomocí teplotních čidel v tvarových deskách. Vyjímání vstřikovaných těles je ruční.



*Obr. 22. Vstřikovací forma*

1 – horní upínací deska, 2 – dolní upínací deska, 3 – horní tvarová deska,  
 4 – dolní (výměnná) tvarová deska, 5 – vtoková vložka, 6 – středící kroužek,  
 7 – horní upínací deska stroje, 8 – dolní upínací deska stroje, 9 – teplotní čidlo



*Obr. 23. Výměnné tvarové desky.*

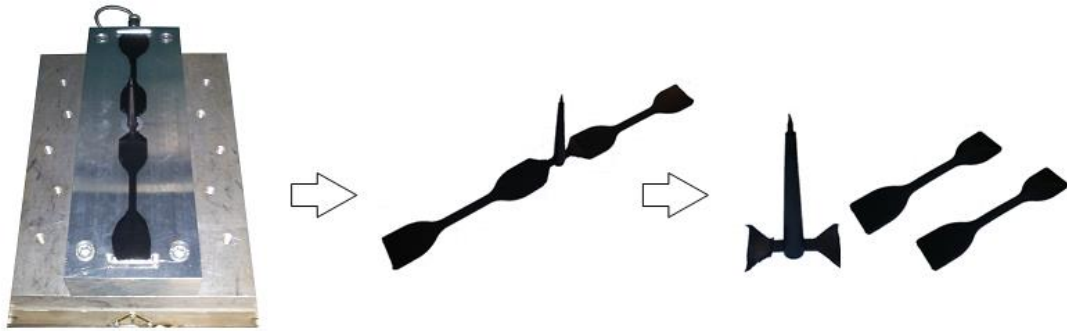


Obr. 24. Vstřikovací stroj REP V27/Y125.

Tab. 8. Parametry vstřikovacího stroje REP V27/Y125.

Uzavírací síla	500 kN
Max. vstřikovaný objem	125 cm <sup>3</sup>
Max. vstřikovací tlak	200 bar
Průměr šneku	20 mm
Průměr pístu	40 mm

Naválcovaná směs o tloušťce cca 4 mm nařezána na pásy o šířce 4 ÷ 5 mm k plnění plastikační jednotky vstřikovacího stroje (REP V27/Y125). Poté byla tělesa vstřikována při zvolených procesních parametrech (Tab. 9 a 10). Po ukončení cyklu, byla tělesa ručně vyjmuta z formy a poté odštížen vtokový zbytek (Obr. 25). Všechna zkušební tělesa byla vyrobena z jedné šarže materiálu.



*Obr. 25. Příprava těles vstřikováním.*

### 8.3.2 Příprava těles vysekáním z vylisované plotničky

Opět se dodaná kaučuková směs pomocí dvouválce připravila na požadovanou tloušťku a byly z ní pomocí nože vysekány polotovary ve tvaru desky. Tyto polotovary byly vloženy do předehřátého vulkanizačního lisu (Obr. 28) a vylisovány plotničky rozměru 120 x 120 mm o tloušťce 2 mm při zvolených procesních podmínkách. (Tab. 9 a 10). Samotná zkušební tělesa byla vyseknuta pomocí standardizovaných tvarových nožů, a to vždy ve směru orientace materiálu, aby nedošlo k záměně směru anizotropie (Obr. 27).



*Obr. 26. Vylisované plotničky.*



Obr. 27. Příprava těles lisováním a vysekváním



Obr. 28. Vulkanizační lis.

Tab. 9. Procesní parametry výroby zkušebních těles (NR)

		Lisování	Vstřikování
<b>Teplota</b>	formy	160°C	
	směsi	23°C	100°C <sup>1)</sup>
<b>Tlak</b>	lisovací	20 MPa	-
	vstřikovací	-	20 MPa
<b>Doba vulkanizace</b>		2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 min <sup>2)</sup>	

<sup>1)</sup> Čas předehřevu směsi v plastikační jednotce činil 40 sekund.

<sup>2)</sup> Jednotlivé časy vulkanizace byly zvoleny ve stejném intervalu (1 min).

Tab. 10. Procesní parametry výroby zkušebních těles (EPDM)

		Lisování	Vstřikování
<b>Teplota</b>	formy	170°C	
	směsi	23°C	100°C <sup>1)</sup>
<b>Tlak</b>	lisovací	20 MPa	-
	vstřikovací	-	20 MPa
<b>Doba vulkanizace</b>		4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20 min <sup>2)</sup>	

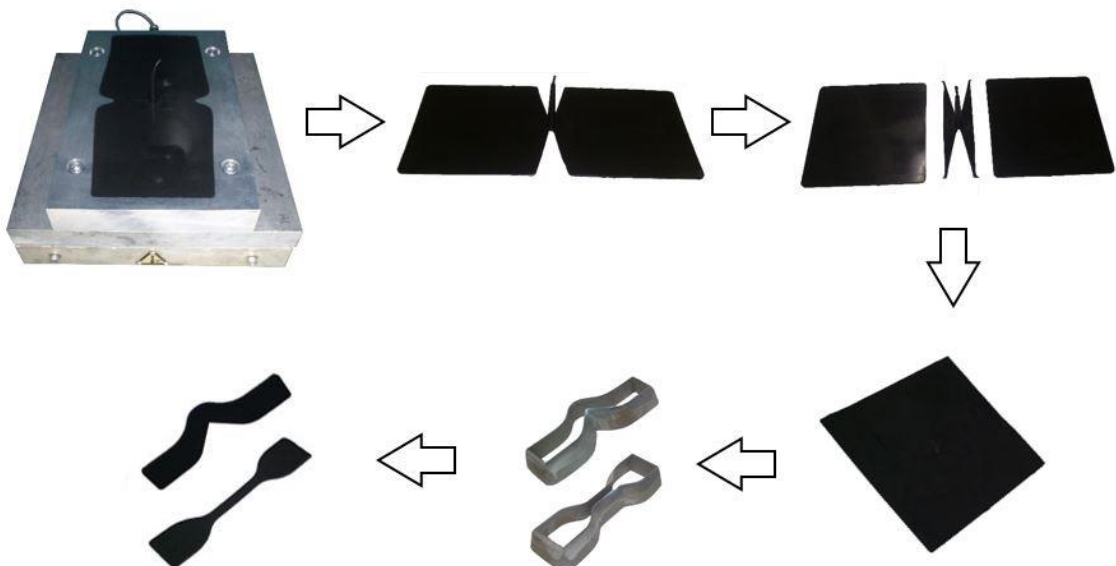
<sup>1)</sup> Čas předehřevu směsi v plastikační jednotce činil 40 sekund.

<sup>2)</sup> Jednotlivé časy vulkanizace byly zvoleny ve stejném intervalu (2 min).

### 8.3.3 Příprava těles vyseknutím ze vstřikované plotničky

Pro výrobu těles, byla nejprve navržena a vyrobena výměnná tvarová deska pro plotničku rovněž jako v případě vstřikování zkušebních těles. Následně byly vystříkny plotničky o stejných rozměrech, jako v případě lisování a z těchto plotniček dále byly pomocí tvarových nožů nasekány zkušební tělesa (Obr. 29).

Tento třetí způsob přípravy byl proveden pouze pro přírodní směs.



Obr. 29. Příprava těles vyseknutím ze vstřikované plotničky.



## 8.4 Mechanické zkoušky

Po výrobě zkušebních těles byla provedena zkouška stanovující tahové vlastnosti dle normy ISO 37 a zkouška stanovující strukturní vlastnosti dle normy ISO 34-1.

V obou případech byly zkušební vzorky upnuty do speciálních pneumatických upínacích čelistí na tahovém měřicím přístroji Tensometer 2000 od společnosti Alpha Technologies. Zkušební tělesa byla natahována předepsanou konstantní rychlostí 500 mm/min až do přetržení. V případě tahových vlastností byla naměřena data tahového napětí, prodloužení a jednotlivých modulů pružnosti v tahu při 100%, 200% a 300% prodloužení. V případě strukturních vlastností byla naměřena data maximální síly potřebné k přetržení a strukturní pevnost.

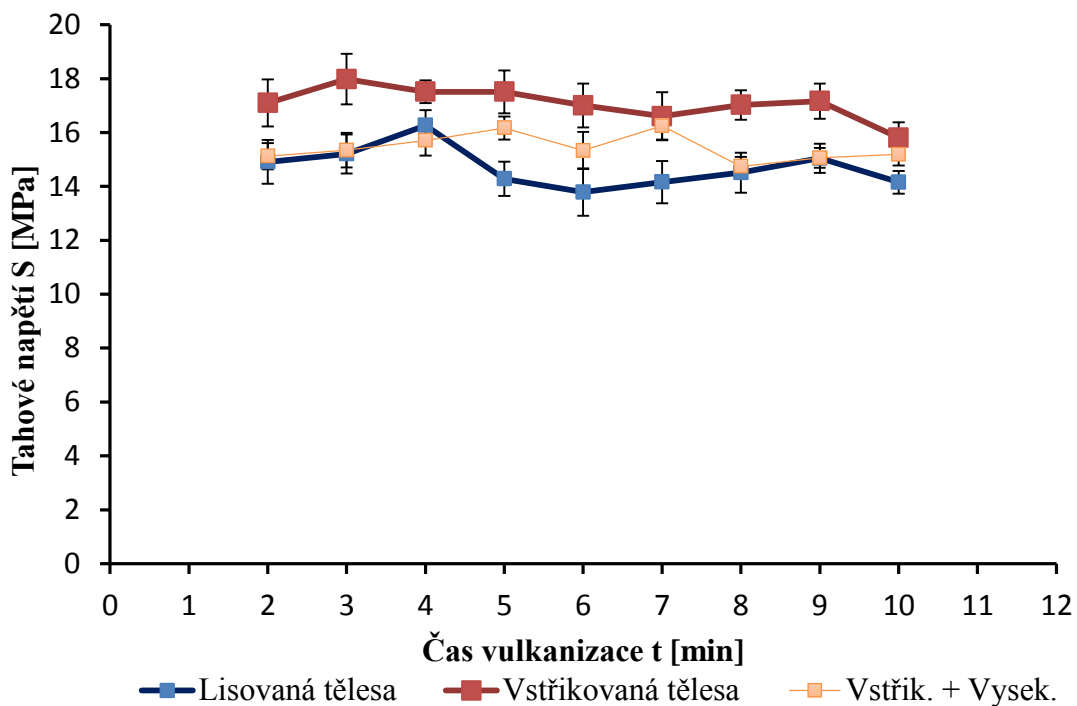
U přírodní kaučukové směsi, bylo pro skupiny lisovaných, vstříkovaných a vstřík. + výsek. těles provedeno 9 sérií měření s rozdílným časem vulkanizace od 2 do 10 minut, vždy s opakovatelností deseti těles na jednu sérii měření (Tab. 9 a 10).

U syntetické kaučukové směsi, bylo pro skupiny lisovaných a vstříkovaných těles provedeno 10 sérií měření s rozdílným časem vulkanizace od 2 do 20 minut, vždy s opakovatelností deseti těles na jednu sérii měření (Tab. 9 a 10).

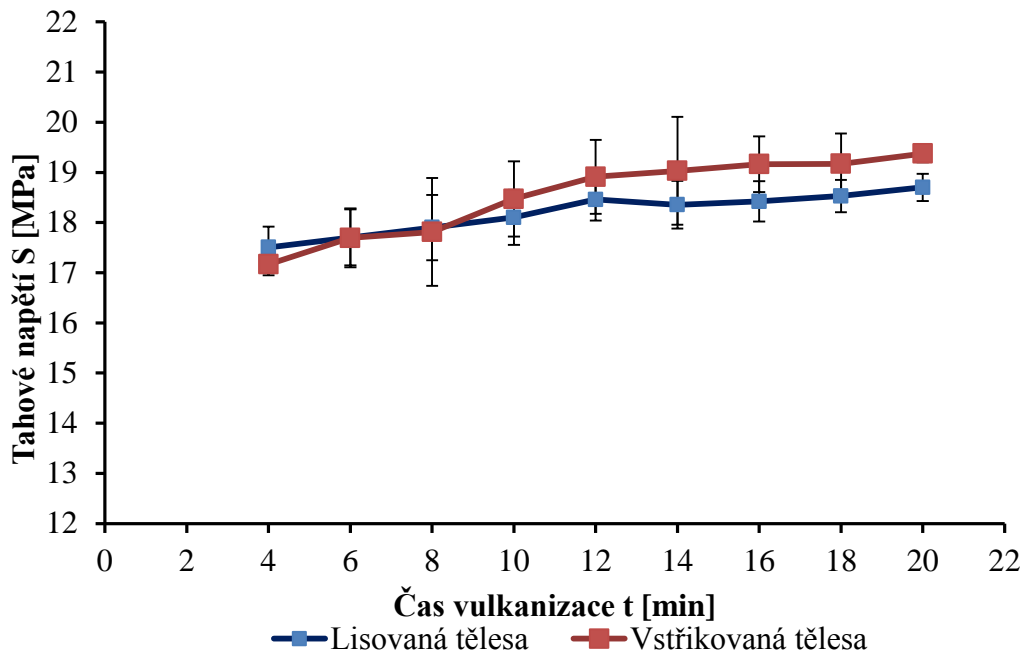
## 9 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 9.1 Tahové vlastnosti

Z naměřených hodnot tahové zkoušky stanovující tahové vlastnosti přírodní kaučukové směsi (Obr. 30) bylo zjištěno, že s rostoucí dobou vulkanizace je rozdíl v napětí potřebného k přetržení zkušebního tělesa minimální. Zatím co u syntetické kaučukové směsi (Obr. 31) bylo zjištěno, že s rostoucí dobou vulkanizace roste i napětí potřebné k přetržení zkušebního tělesa. Výsledky této zkoušky neprokázaly výrazný vliv výrobní technologie přípravy zkušebních těles. Rozdíly v naměřených hodnotách maximálního tahového napětí u vybraných metod výroby zkušebních těles jsou do 10% u přírodní kaučukové směsi a do 2% u syntetické kaučukové směsi. Rozdíly se pohybují v rozmezí chyby měření.

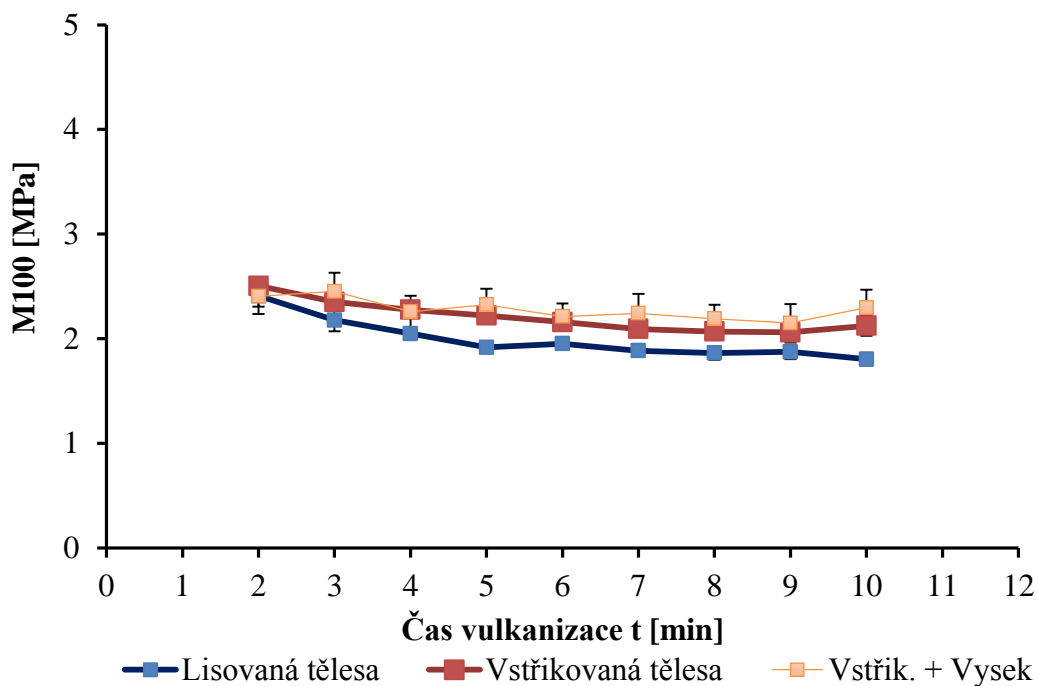


Obr. 30. Závislost tahového napětí na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi.

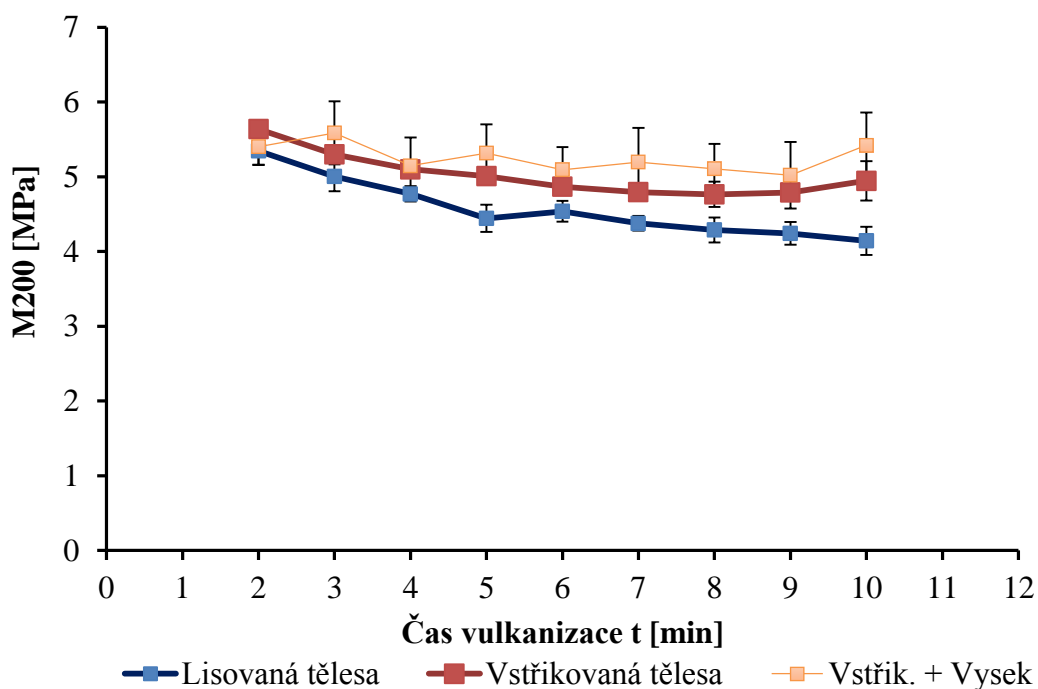


Obr. 31. Závislost tahového napětí na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi.

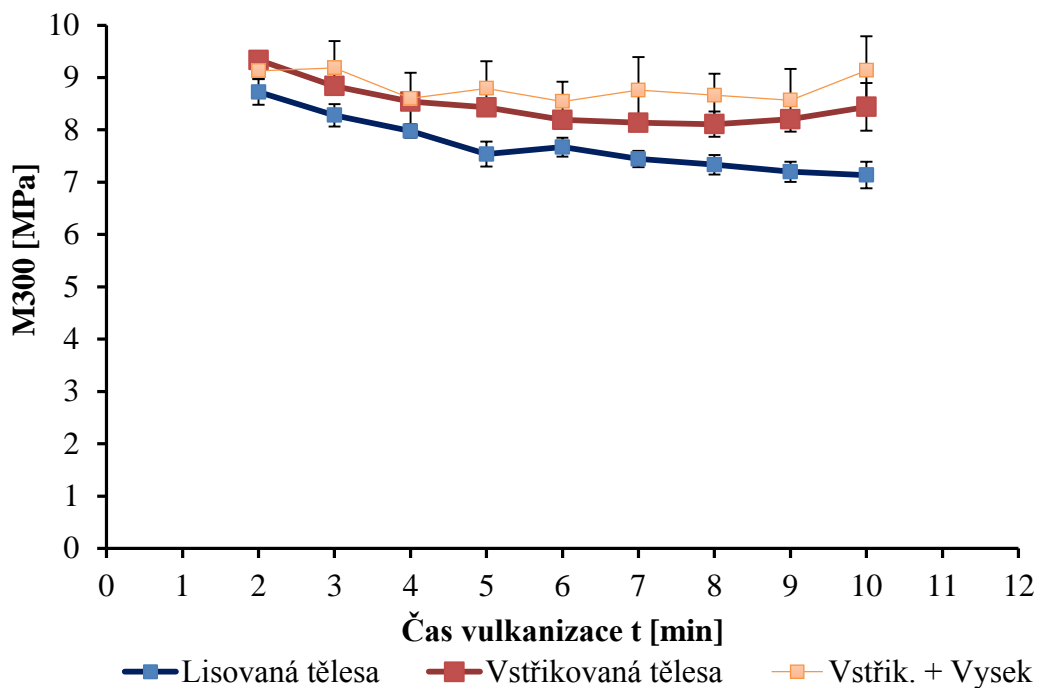
Z výsledků modulů pružnosti v tahu u přírodní kaučukové směsi vyplývá, že hodnoty jednotlivých modulů s časem vulkanizace mírně klesají, ovšem rozdíly jsou minimální. U syntetické kaučukové směsi hodnoty modulů s časem vulkanizace výrazně rostou, což koresponduje s předchozími výsledky maximálního tahového napětí.



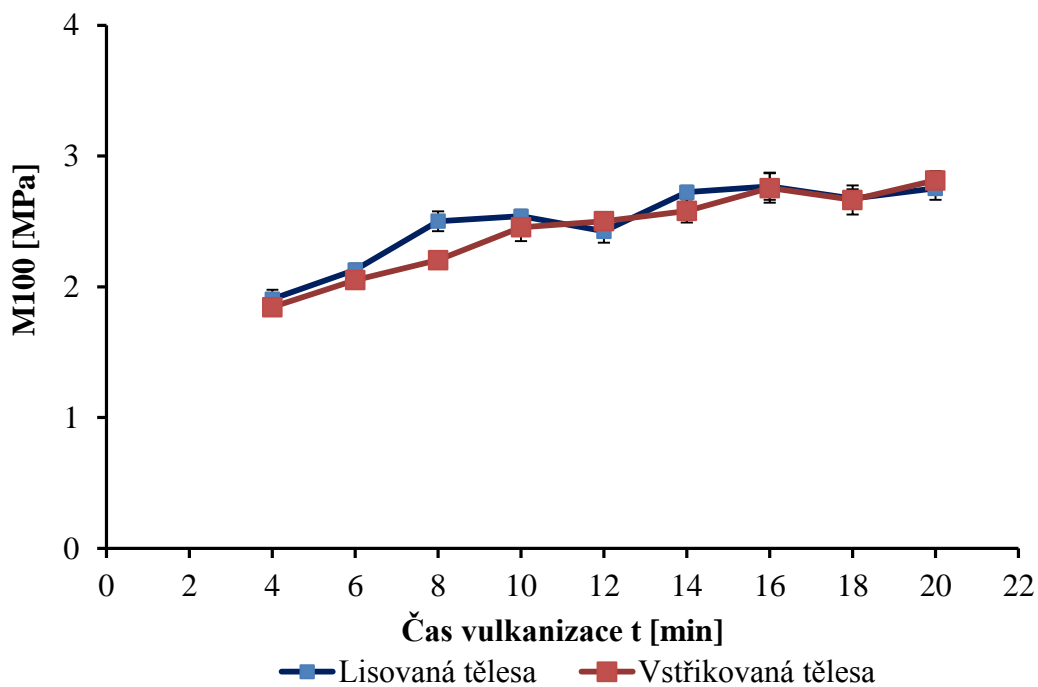
Obr. 32. Závislost napětí při 100% prodloužení na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi.



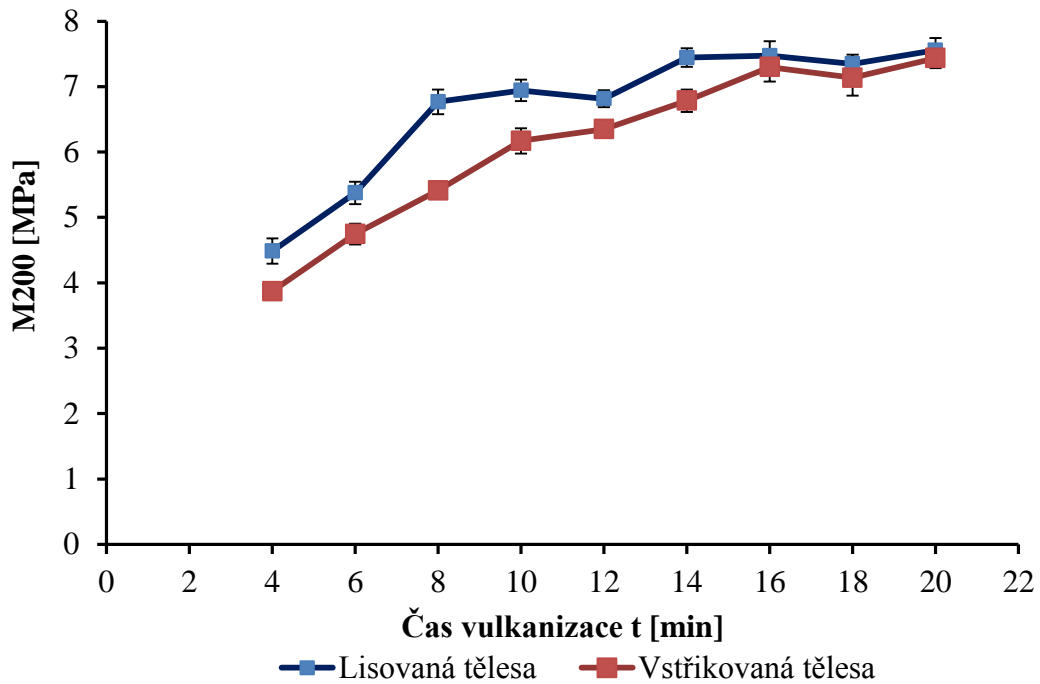
Obr. 33. Závislost napětí při 200% prodloužení na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi.



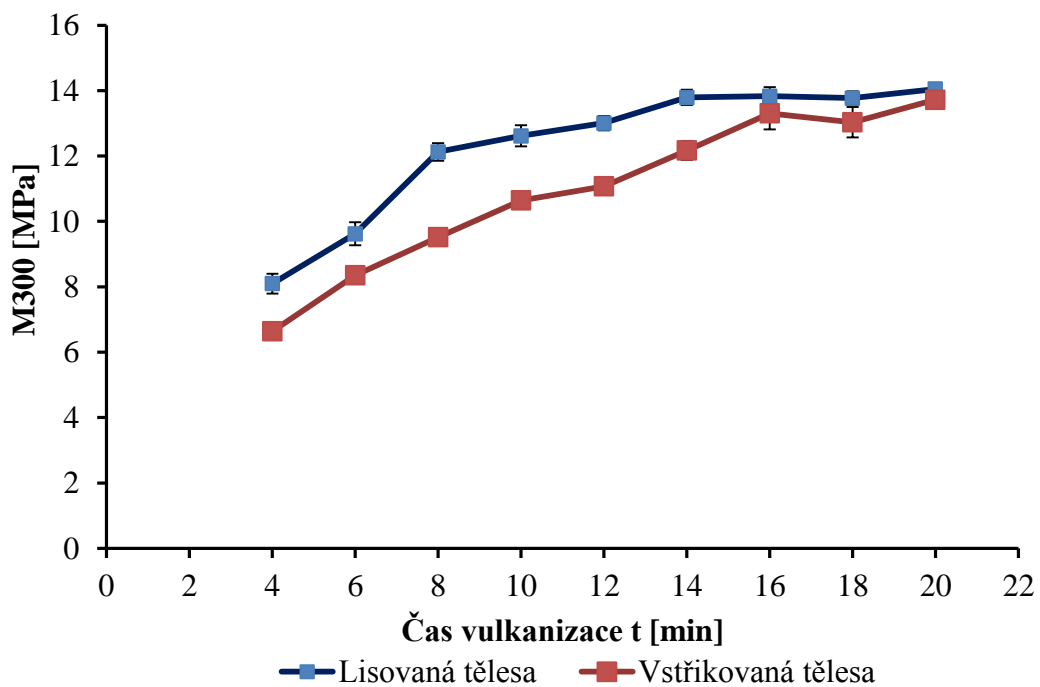
Obr. 34. Závislost napětí při 300% prodloužení na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi.



Obr. 35. Závislost napětí při 100% prodloužení na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi.



Obr. 36. Závislost napětí při 200% prodloužení na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi.

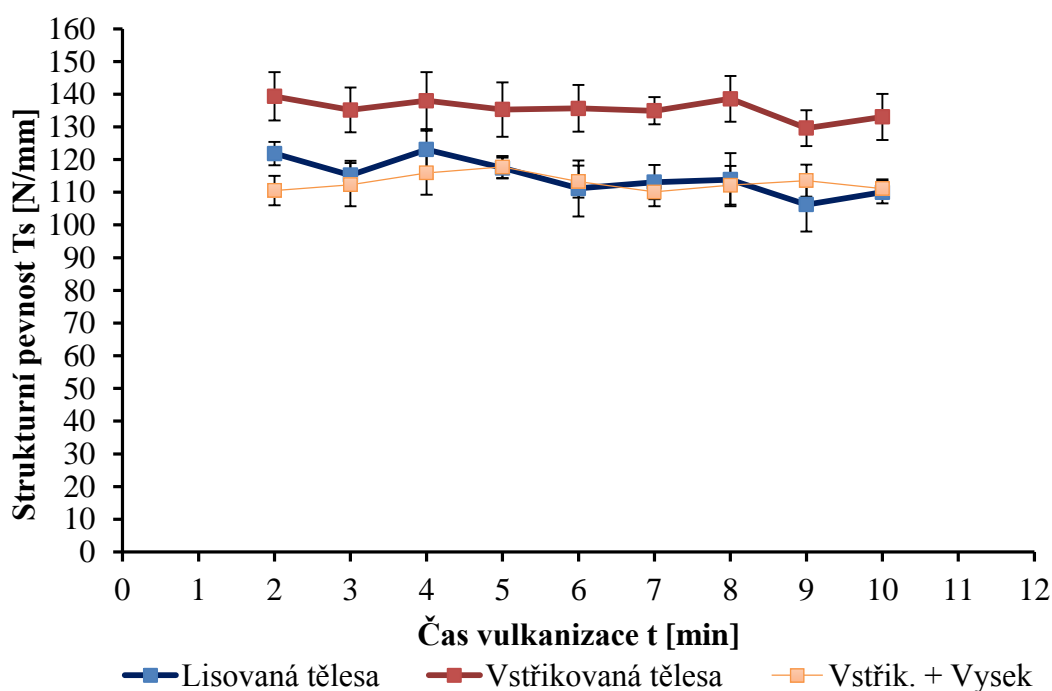


Obr. 37. Závislost napětí při 300% prodloužení na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi.

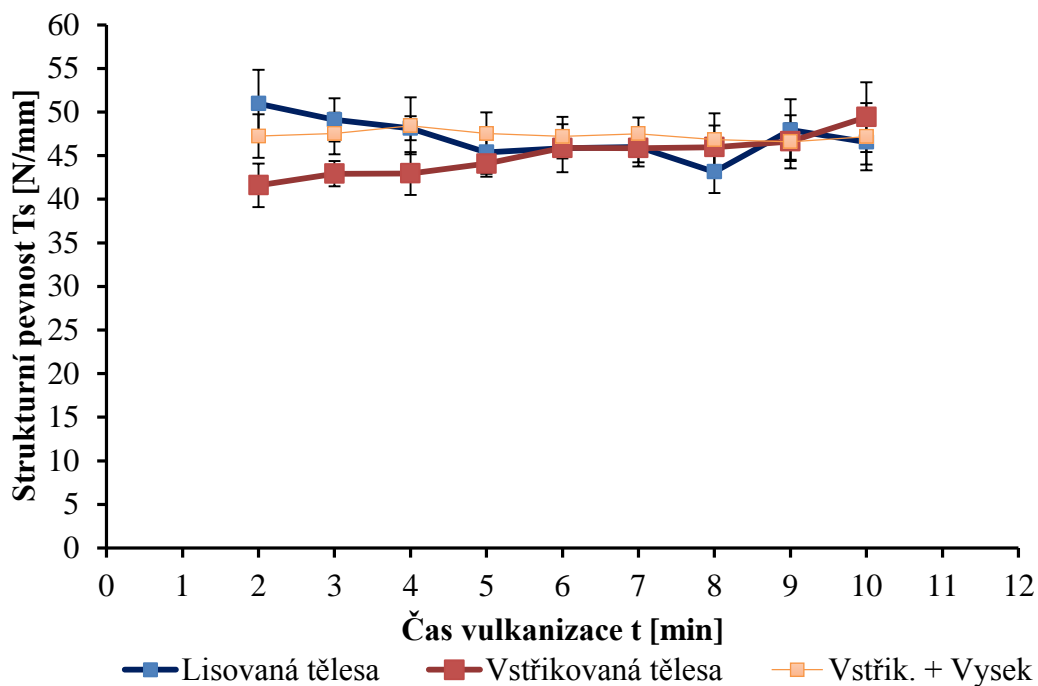
## 9.2 Strukturní vlastnosti

Získané výsledky zkoušky strukturní pevnosti ukazují, že se strukturní pevnost u přírodní kaučukové směsi s dobou vulkanizace výrazně nemění. Neprokázal se ani výrazný vliv výrobní technologie na přípravu zkušebních těles, pouze u zkušebního tělesa Crescent vyrobeného vstřikováním je strukturní pevnost o 20% větší než u přípravy lisováním a vysekáváním ze vstřikované plotničky.

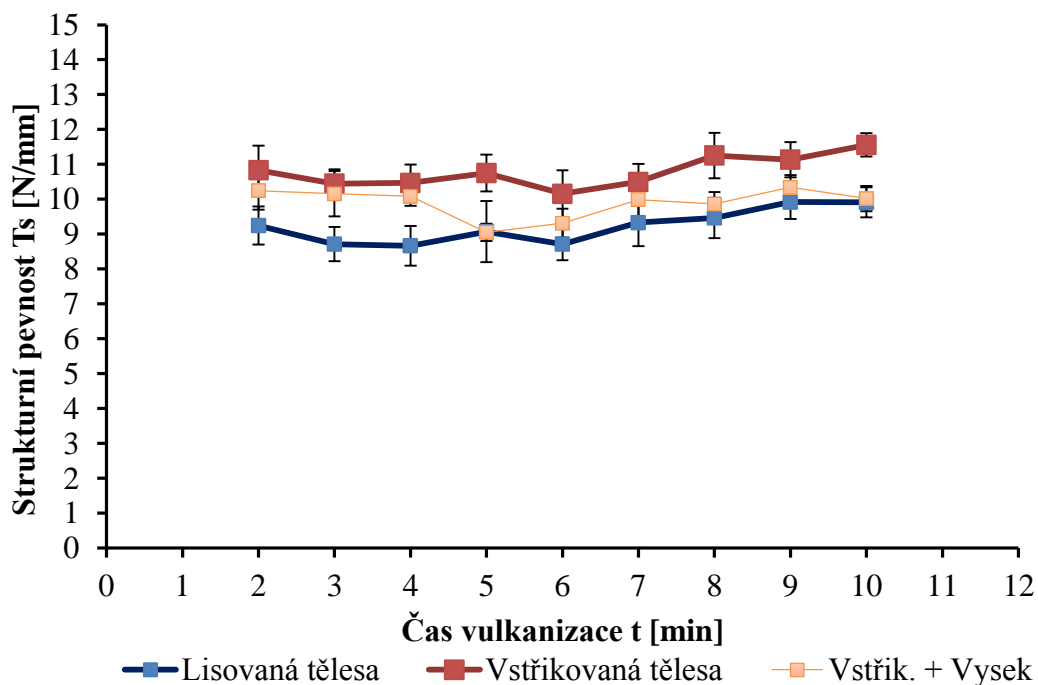
U syntetické kaučukové směsi se rovněž strukturní pevnost s dobou vulkanizace výrazně nemění. Zde se však ukazují výraznější rozdíly mezi použitou výrobní technologií u tělesa Trouser a Graves. U zkušebního tělesa Trouser vyrobeného technologií vstřikování je strukturní pevnost o 35% větší než u technologie lisování a u zkušebního tělesa Graves vyrobeného technologií lisování je strukturní pevnost o 50% větší. To je pravděpodobně způsobeno rozdílným vnitřním uspořádáním makromolekul materiálu vlivem vstřikování.



Obr. 38. Strukturní zkouška zkušebního tělíska Crescent (Typ III) přírodní kaučuk. směsi.

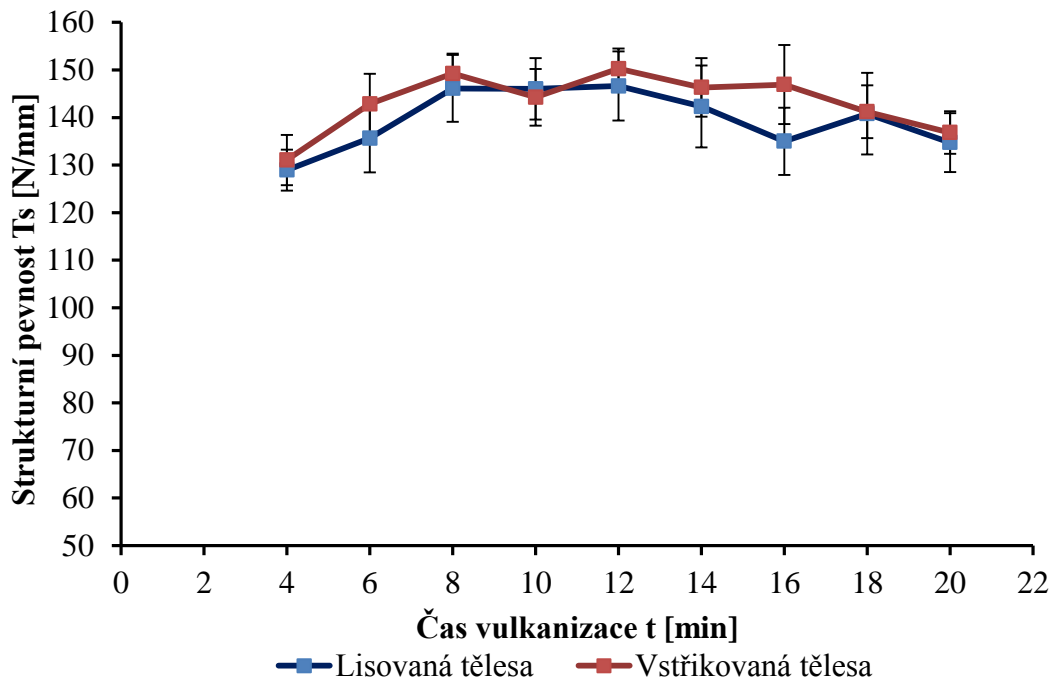


Obr. 39. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Graves (Typ II) přírodní kaučuk. směsi.

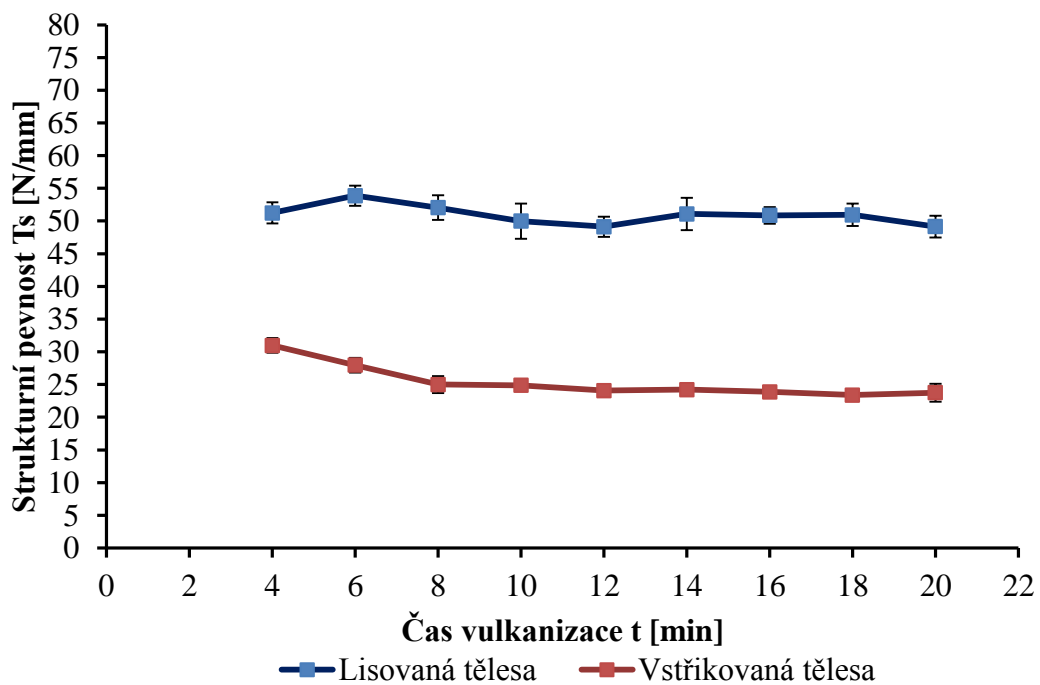


Obr. 40. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Trouser (Typ I) přírodní kaučuk. směsi.

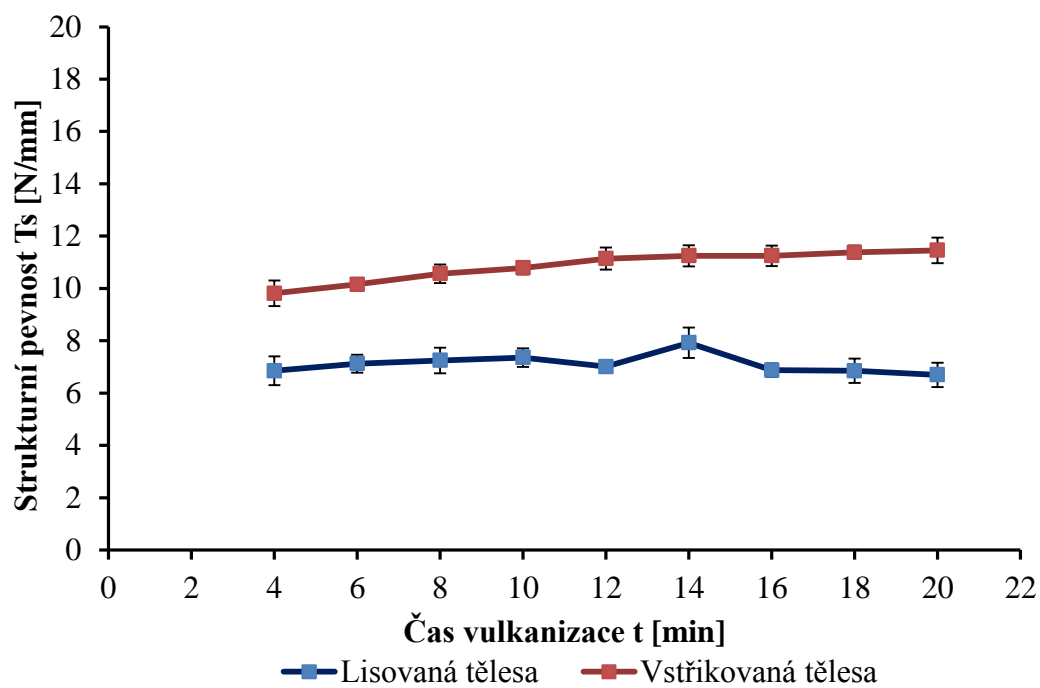




Obr. 41. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Crescent (Typ III) syntetické kaučuk. směsi.

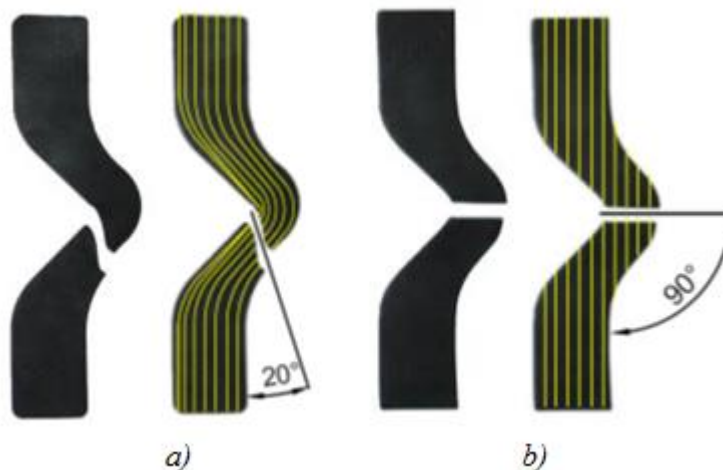


Obr. 42. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Graves (Typ II) syntetické kaučuk. směsi.



Obr. 43. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Trouser (Typ I) syntetické kaučuk. směsi.

Následující obrázek (Obr. 44) zobrazuje vstříkované a lisované zkušební těleso graves po jeho porušení. Vzniklá trhlina u obou těles je odlišná. U vstříkovaných těles se vždy během zkoušky trhlina šířila přibližně pod úhlem  $20^\circ$  vůči směru působící tahové síly. Kdežto u lisovaných těles se trhlina šířila kolmo na směr působící tahové síly. Jak je znázorněno, u vstříkovaných těles dochází k jiné orientaci makromolekul. A právě tato odlišná orientace může být příčinou velkých rozdílů ve strukturální pevnosti.

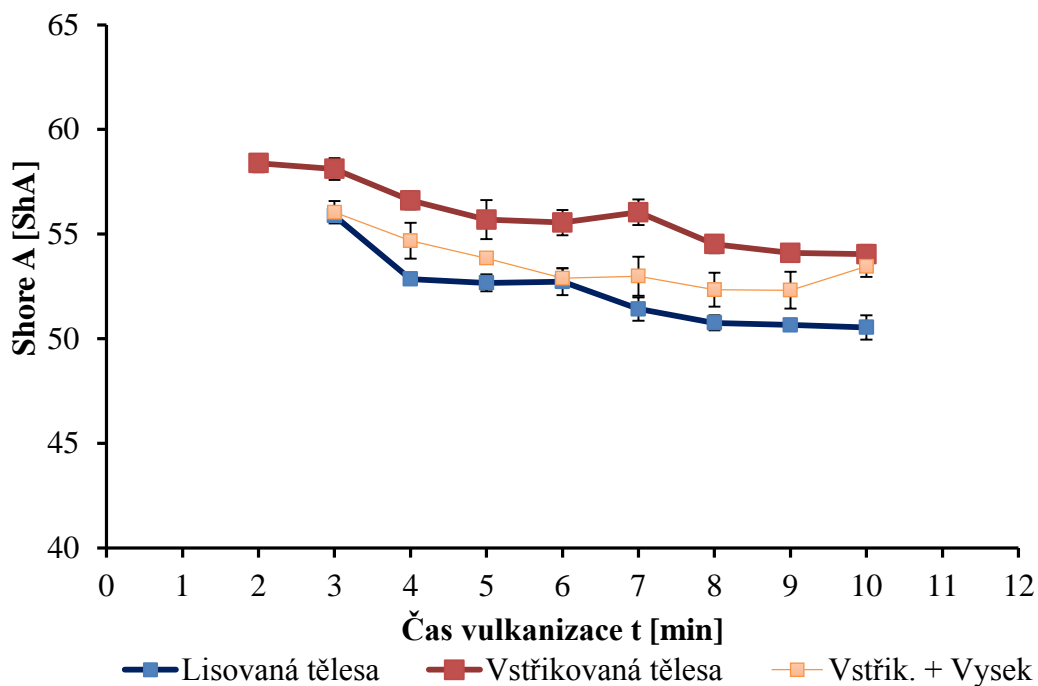


Obr. 44. Šíření trhliny u tělesa graves

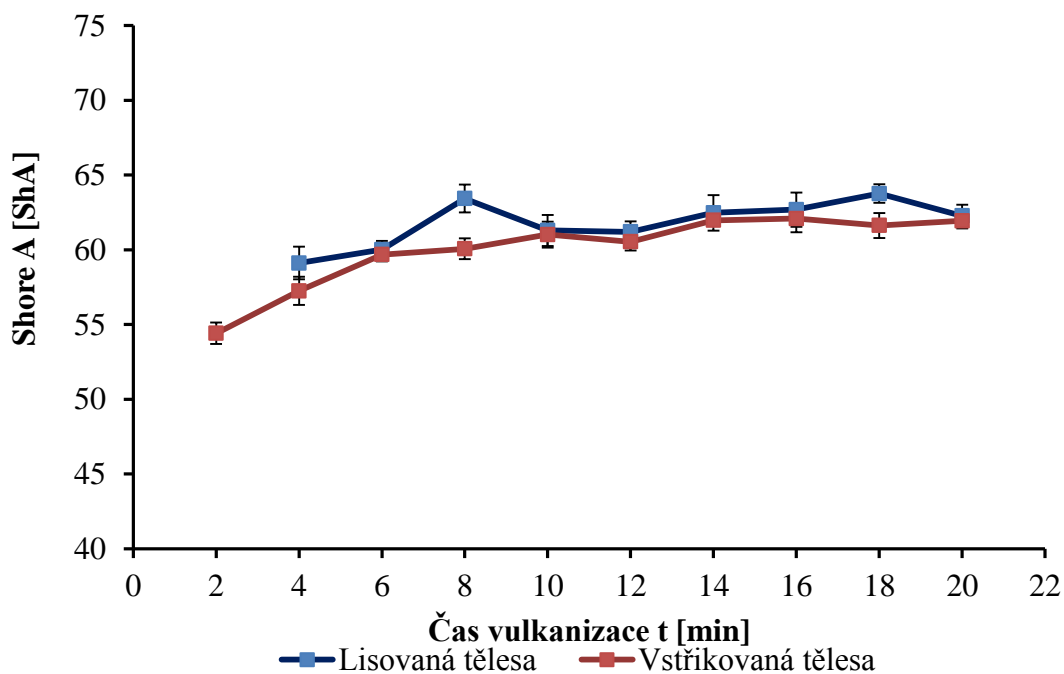
a) vstříkované těleso, b) lisované těleso

### 9.3 Tvrdost Shore

Z naměřených hodnot zkoušky tvrdosti Shore bylo zjištěno, že u přírodní kaučukové směsi tvrdost s dobou vulkanizace mírně klesá, zatím co u syntetické kaučukové směsi tvrdost s dobou vulkanizace roste. Výsledky této zkoušky neprokázaly výrazný vliv výrobní technologie přípravy zkušebních těles. Rozdíl v naměřených hodnotách tvrdosti u vstříkovaných a lisovaných zkušebních těles syntetické kaučukové směsi jsou velmi malé do 3% u přírodní kaučukové směsi do 4%.



Obr. 45. Tvrdost Shore A přírodní kaučuk. směsi.



Obr. 46. Tvrdost Shore A syntetické kaučuk. směsi.

## 9.4 Diskuse výsledků

Z naměřených a vyhodnocených výsledků lze konstatovat, že vstřikování zvolených kaučukových směsí nemá výrazný vliv na tahové vlastnosti, jako je pevnost v tahu a tažnost. Ukázalo se však, že má vstřikování velký vliv na strukturní vlastnosti, kde vstřikovaná tělesa Trouser u syntetické kaučukové směsi vykazují rozdíl až o 35% oproti lisovaným a tělesa Graves až o 50%.

Dále bylo u syntetické směsi potvrzeno, že s rostoucí dobou vulkanizace, pevnost v tahu a tažnost roste, což je dáno větším stupněm zesílení základního kaučuku.

U přírodní kaučukové směsi má pevnost v tahu a tažnost s dobou vulkanizace mírně klesající tendenci, což je způsobeno převulkanizováním směsi a postupnou degradací přírodního kaučuku. Z toho vyplývá, že z důvodů užitných vlastností není třeba danou směs vulkanizovat déle jak 4 minuty.

## ZÁVĚR

Diplomová práce si klade za cíl zjistit, zda dává doposud používaná technologie přípravy pryžových zkušebních těles (vyseknutí z lisované plotničky) odpovídající informace při výrobě pryžových dílů vstřikováním. Práce porovnává vybrané mechanické vlastnosti (pevnost, strukturální pevnost a tvrdost) zkušebních těles připravených vstřikováním, popř. vyseknutím ze vstřikované plotničky se standardní metodou přípravy (vyseknutí z lisované plotničky). K samotnému experimentu byla nejprve navržena univerzální vstřikovací forma pro vstřikování základních typů zkušebních těles. K experimentu byly vybrány dvě kaučukové směsi (přírodní NR+BR a syntetická EPDM). Z těchto směsí byly připraveny zkušební tělesa již zmiňovanými způsoby přípravy. Vyrobena zkušební tělesa byla podrobena vybraným mechanickým zkouškám dle platných norem, tj. zkoušce tahových vlastností, zkoušce strukturálních vlastností a zkoušce tvrdosti Shore a následně vyhodnocena. Z výsledků bylo zjištěno, že vybrané technologie přípravy se od sebe výrazně neliší, pouze tělesa Trouser a Graves vykazovaly u syntetické kaučukové směsi připravené metodou vstřikování větší strukturální pevnost až o 50% z důvodu rozdílného uspořádání makromolekul ve struktuře materiálu vlivem vstřikování.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukční materiály elastomerní* Zlín, 2008. 101 s.
- [2] ŠPAČEK, J. *Technologie gumárenská a plastikářská II.* [Skripta]. 1.vyd. Brno 1980 – Vysoké učení technické v Brně.
- [3] DVOŘÁK, Z. *Zpracovatelské procesy gumárenské* Zlín, 2009. 129 s.
- [4] *Vítejte na zemi: Výroba pryže a plastů* [online]. 2013 [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: <[http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vyroba\\_pryze\\_a\\_plastu&site=spotreba](http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vyroba_pryze_a_plastu&site=spotreba)>.
- [5] MALÁČ, J. *Gumárenská technologie*, Elektronická skripta UTB FT
- [6] MAŇAS, M. – TOMIS, F.: *Výrobní stroje a zařízení – gumárenské a plastikářské stroje I.*[Skripta]. 1.vyd. Brno 1987 – Vysoké učení technické v Brně.
- [7] KŘŮMAL, Martin. *Konstrukční řešení míchací komory*. Zlín, 2007. 72 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [8] TOMIS, F. *Gumárenská a plastikářská technologie, zpracovatelské procesy*. [Skripta]. 2.vyd. Brno 1987 – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně.
- [9] DUCHÁČEK, V., HRDLIČKA, Z. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*. [Skripta]. 4.vyd. Praha 2009 – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [10] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků, konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu*. 1. vyd. Zlín, 2009. 145 s
- [11] ŠKROBÁK, A. *Konstrukce vstřikovací formy pro vstřikování elastomerů*. Zlín 2008. 111 s., Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [12] TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975. 374 s. ISBN 414-33580
- [13] LENFELD, P. *Technologie II – Vstřikování plastů*, Liberec: TU, [online].[cit. 2015-01-10]. 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] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I. a II. díl – Vstřikování termoplastů*. 2.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 134 s a 212 s
- [15] TOMIS, F., RULÍK, F. *Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1981. 216 s. ISBN 414-33206
- [16] FYI.: *Natural Rubber from Cagayan De Oro Philippines*. [online]. 2009 [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: < <https://fyi09.wordpress.com/tag/tsr-spr-20/>>.
- [17] BRIDGESTONE: *Bridgestone Corporation a Ajinomoto Co., Inc. společně vyvíjejí syntetický kaučuk z biomasy*. [online]. 2015 [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: < <http://offtheroad.bridgestone.cz/tisk-a-media/tiskove-zpravy/2012/bridgestone-corporation-a-ajinomoto-co-inc-spolecne-vyvijsi-synteticky-kaucuk-z-biomasy>>.
- [18] TZS: *Zkoušení materiálů*. [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: < <http://tzs.kmm.zcu.cz/material2.pdf> >.
- [19] UMI: *Struktura a vlastnosti materiálu a jejich zkoušení*. [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: <[http://umi.fs.cvut.cz/files/3\\_2\\_\\_struktura-a-vlastnosti-materialu-a-jejich-zkouseni.pdf](http://umi.fs.cvut.cz/files/3_2__struktura-a-vlastnosti-materialu-a-jejich-zkouseni.pdf)>.
- [20] *Statické zkoušky*. [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: <[http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM\\_09.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_09.pdf)>.
- [21] ČSN ISO 37. *Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků. Stanovení tahových vlastností*. 4. vyd. ČNI, 2005.
- [22] ČSN 62 1459. *Stanovení strukturální pevnosti*. 1. vyd. ČNI, 1989.
- [23] ČSN EN ISO 7619-1 (621432). *Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer - Stanovení tvrdosti vlačováním - Část 1: Stanovení tvrdoměrem (tvrdost Shore)*. Praha: Český normalizační institut, EAN 8590963883090, 16 s.
- [24] *ODDĚLENÍ POVRCHOVÉHO INŽENÝRSTVÍ: Základní vlastnosti materiálů a jejich zkoušení*. [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: <[http://www.ateam.zcu.cz/zkousky\\_mat.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/zkousky_mat.pdf)>.
- [25] BROWN, Roger. *Physical testing of rubber*. 4th ed. New York, NY: Springer, 2006, viii, 387 s. ISBN 0387282866.
- [26] FRANTA, Ivan. *Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: SNTL, 1969, 536 s



- 
- [27] ISO 34-1. *Stanovení strukturní pevnosti*. 1. vyd. ČNI, 2004.
- [28] EIRICH, F, Burak ERMAN a James E MARK. *Science and technology of rubber*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005, xvii, 743 s. ISBN 0124647863.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

G	Smykový modul
E	Modul pružnosti v tahu či tlaku
K	Objemový modul pružnosti
$\mu$	Koeficient příčné kontrakce (Poissonovo číslo)
$T_g$	Teplota skelného přechodu
dsk	Díly na sto dílů kaučuku
$t_{s2}$	Doba bezpečnosti
$t_{50}$	50% vulkanizace materiálu
$t_{90}$	90% vulkanizace materiálu
$M_L$	Minimální kroutící moment
$M_H$	Maximální kroutící moment
T	Energie trhání
mm	Milimetr
s	Sekunda
%	Procento
°C	Stupeň Celsia
RPA	Rubber proces analyzer
ShA	Jednotka tvrdosti Shore při metodě měření A

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Přírodní kaučuk. [16].....	15
Obr. 2. Kaučukový latex. [4] .....	17
Obr. 3. Získávání latexu z kaučukovníku. [4].....	18
Obr. 4. Syntetický kaučuk z biomasy (vysoce kvalitní cis-polyisopren).[17] .....	19
Obr. 5. Butadien-styrenový kaučuk. ....	19
Obr. 6. Butadien- akrylonitrilový kaučuk. ....	20
Obr. 7. Polyisopren. ....	20
Obr. 8. Princip vytvoření příčné vazby.[28] .....	28
Obr. 9. Vulkanizační křivka. [3] .....	30
Obr. 10. Vstřikovací cyklus. [11] .....	31
Obr. 11. Schéma vstřikovacího stroje. [13] .....	33
Obr. 12. Vstřikovací jednotka bez předplastikace. [10] .....	34
Obr. 13. Pístová vstřikovací jednotka se šnekovou plastikací. [15] .....	35
Obr. 14. Závislost napětí na prodloužení. ....	39
Obr. 15. Tvar a rozměry zkušebního tělesa typu I. [22] .....	41
Obr. 16. Tvar a rozměry zkušebního tělesa typu II. [22].....	42
Obr. 17. Tvar a rozměry zkušebního tělesa typu III. [22] .....	42
Obr. 18. Zkušební hroty pro metodu Shore A a Shore D. [20].....	44
Obr. 19. Vulkanizační křivky přírodní kaučukové směsi. ....	49
Obr. 20. Vulkanizační křivky syntetické kaučukové směsi.....	50
Obr. 21. Zkušební tělesa a) dumbbell - typ 1, b) crescent, c) graves - bez zářezu, d) trouser.....	51
Obr. 22. Vstřikovací forma .....	52
Obr. 23. Výměnné tvarové desky. ....	52
Obr. 24. Vstřikovací stroj REP V27/Y125. ....	53
Obr. 25. Příprava těles vstřikováním. ....	54
Obr. 26. Vylisované plotničky. ....	54
Obr. 27. Příprava těles lisováním a vysekáváním.....	55
Obr. 28. Vulkanizační lis. ....	55
Obr. 29. Příprava těles vyseknutím za vstřikované plotničky. ....	56
Obr. 30. Závislost tahového napětí na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi .....	58
Obr. 31. Závislost tahového napětí na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi. ....	59

Obr. 32. Závislost napětí při 100% prodloužení na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi.....	60
Obr. 33. Závislost napětí při 200% prodloužení na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi.....	60
Obr. 34. Závislost napětí při 300% prodloužení na čase vulkanizace přírodní kaučuk. směsi.....	61
Obr. 35. Závislost napětí při 100% prodloužení na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi.....	61
Obr. 36. Závislost napětí při 200% prodloužení na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi.....	62
Obr. 37. Závislost napětí při 300% prodloužení na čase vulkanizace syntetické kaučuk. směsi.....	62
Obr. 38. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Crescent (Typ III) přírodní kaučuk. směsi.....	63
Obr. 39. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Graves (Typ II) přírodní kaučuk. směsi.....	64
Obr. 40. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Trouser (Typ I) přírodní kaučuk. směsi.....	64
Obr. 41. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Crescent (Typ III) syntetické kaučuk. směsi.....	65
Obr. 42. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Graves (Typ II) syntetické kaučuk. směsi.....	65
Obr. 43. Strukturální zkouška zkušebního tělíska Trouser (Typ I) syntetické kaučuk. směsi.....	66
Obr. 44. Šíření trhliny u tělesa graves.....	67
Obr. 45. Tvrdost Shore A přírodní kaučuk. směsi.....	68
Obr. 46. Tvrdost Shore A syntetické kaučuk. směsi.....	68

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Zkratky a použití kaučuků. ....	16
Tab. 2. Složení kaučukové směsi. ....	24
Tab. 3. Receptura standardní směsi. ....	27
Tab. 4. Orientační hodnoty pro vstřikování. ....	32
Tab. 5. Rozměry dle typu zkušebního tělesa. ....	39
Tab. 6. Vulkanizační parametry při 160°C. ....	49
Tab. 7. Vulkanizační parametry při 170°C. ....	50
Tab. 8. Parametry vstřikovacího stroje REP V27/Y125. ....	53
Tab. 9. Procesní parametry výrobku zkušebních těles (NR) ....	55
Tab. 10. Procesní parametry výroby zkušebních těles (EPDM).....	56

## SEZNAM PŘÍLOH

PI CD-ROM obsahující plný text práce

