

# Využití separačních prostředků v technologii lisování kaučukových směsí

Natálie Kolková

---

Bakalářská práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Natálie Kolková**  
Osobní číslo: **T14594**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití separačních prostředků v technologii lisování kaučukových směsí**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracování literární rešerše na dané téma**
2. **Výběr separačních prostředků použitých pro lisování dané kaučukové směsi**
3. **Provedení experimentu**
4. **Zpracování a vyhodnocení získaných výsledků**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **DUCHÁČEK, V. Gumárenské suroviny a jejich zpracování**
2. **DVOŘÁK, Z. Zpracovatelské procesy gumárenské: pro konstrukční směry**
3. **Dle doporučení vedoucího BP**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Dana Shejbalová, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce:

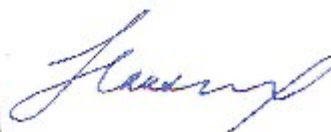
**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 19. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.


*ředitel ústavu*

## P R O H L Á Š E N Í

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

Ve Zlíně 17.5.2018

.....  


<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 nevydělává zveřejňuje disertační, ústavní, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně pasivků opovební 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 nejíméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo umístěny online, v místě označeném vysoké školou, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může za zveřejnění práce platit za své náklady výtisk, nřpy nebo rozmnožení.

(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:

(2) Do práva autorství také nezahrnuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije v níkol' za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za nesplynutých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy s užití školního díla (§ 35 odst. 3). Opatřít si autor takového díla užití vlastně bez vědomí autora, pokud se tyto osoby dohodnou nahrazení obyčejného poplatku jeho vůle u soudu. Ustanovení § 30 odst. 2 zůstává nedotčeno.

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

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

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je porovnat množství nečistot, které ulpí na povrchu formy z různých materiálů při lisování kaučukové směsi. Sleduje se vliv separačního prostředku a různé úpravy povrchu formy na kontaminaci povrchu dutin forem. Teoretická část popisuje kaučukovou směs, její zpracování a problematiku vulkanizace. V praktické části jsou popsány použité materiály na tělesa reprezentující dutinu formy, dále použitou kaučukovou směs a konkrétní zpracování kaučukové směsi. Je provedena analýza výsledků a jejich vyhodnocení.

Klíčová slova: lisování, kaučuk, kaučuková směs, separace, separační prostředky, kontaminace, forma, čištění forem

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to compare the amount of impurities adhering to the surface of the mold from different materials during the molding of the rubber compound. The effect of the separating means and various mold surface modifications are monitored to contamination of the surface of mold cavities. The theoretical part describes the rubber compound, its processing and the problem of vulcanization. In the practical part, the materials used are represented on the mold cavity, the rubber compound used and the specific processing of the rubber mixture. Results analysis and evaluation are performed.

Keywords: molding, rubber, rubber compound, separation, separating agents, contamination, mold, mold cleaning

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Daně Shejbalové Ph.D. za její odborné vedení, cenné rady, konzultace a především čas, který věnovala mé bakalářské práci.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 KAUČUK</b> .....	<b>12</b>
1.1 HISTORIE KAUČUKU .....	12
1.2 KAUČUKONOSNÉ ROSTLINY .....	12
1.3 KAUČUKOVÉ PLANTÁŽE .....	13
1.4 LATEX.....	13
1.5 ZÍSKÁVÁNÍ A ÚPRAVA PŘÍRODNÍHO KAUČUKU .....	14
1.6 SLOŽENÍ PŘÍRODNÍHO KAUČUKU .....	15
1.7 BĚŽNÉ SYNTETICKÉ KAUČUKY .....	16
1.8 SPECIÁLNÍ SYNTETICKÉ KAUČUKY .....	17
1.9 VÝROBA SYNTETICKÝCH KAUČUKŮ .....	18
<b>2 SKLADBA A ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ</b> .....	<b>21</b>
2.1 SKLADBA KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ.....	21
2.1.1 Kaučuky .....	21
2.1.2 Plniva.....	21
2.1.3 Antioxidanty.....	22
2.1.4 Změkčovadla .....	22
2.1.5 Přísady do směsí.....	22
2.1.6 Vulkanizační činidla.....	22
2.2 ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ .....	22
2.2.1 Plastikace kaučuku .....	23
2.2.2 Příprava a sekání přírodního kaučuku.....	23
2.2.3 Úprava syntetického kaučuku .....	23
2.2.4 Příprava přísad .....	24
2.2.5 Příprava regenerátu .....	24
2.2.6 Míchání směsí .....	25
2.2.7 Vulkanizace.....	26
2.2.7.1 Urychlovače vulkanizace.....	28
2.2.7.2 Aktivátory vulkanizace.....	29
<b>3 LISOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ</b> .....	<b>30</b>
3.1 ZPŮSOBY LISOVÁNÍ .....	30
3.1.1 Přetlačování.....	31
3.1.2 Lisování tlakem ve formě.....	32
<b>4 VULKANIZAČNÍ FORMY</b> .....	<b>34</b>
4.1 DĚLENÍ VULKANIZAČNÍCH FOREM.....	34
4.2 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM.....	36
4.2.1 Ocel .....	36
4.2.2 Slitiny hliníku.....	36
4.3 POVRCHOVÁ ÚPRAVA FOREM .....	37
4.3.1 Chromování.....	37
4.3.2 Niklování.....	38
4.3.3 Pozlacování .....	38



4.3.4	Lasery.....	38
4.3.5	PVD povlakování.....	38
4.3.6	CVD povlakování.....	39
4.3.7	Prototyping – spékání prášku.....	40
4.4	ŽIVOTNOST FOREM.....	41
<b>5</b>	<b>SEPARAČNÍ PROSTŘEDKY.....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>KONTAMINACE A ČIŠTĚNÍ FOREM.....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>48</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>51</b>
9.1	POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ VZORKY.....	51
9.1.1	Ocel 1.2714.....	51
9.1.2	Ocel 1.2080.....	51
9.1.3	Slitiny hliníku.....	52
9.1.4	Separáční prostředeek VG 262 AEROSOL.....	53
9.1.5	Povrchov uprava PVD.....	54
9.1.6	Prototyping – spékání prášku.....	54
9.1.7	Drsnosti povrchu vzorků.....	54
9.2	LISOVÁNÍ A VULKANIZACE KAUKUKOV SMĚSI.....	57
9.2.1	Kauukov směs.....	57
9.2.2	Vulkanizace.....	57
9.2.3	Laboratorní vulkanizační lisy.....	59
9.2.4	Lisovc forma.....	60
9.3	ANALZA VSLEDK.....	61
9.3.1	Nicolet AVATAR 320 FTIR.....	61
9.3.2	Mikroskop ProScope HR.....	62
9.3.3	FTIR analza separačního prostředeeku VG 262 AEROSOL na bzi PTFE.....	63
9.3.4	FTIR analza vzork.....	64
<b>10</b>	<b>DISKUZE VSLEDK.....</b>	<b>70</b>
	<b>ZVR.....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽIT LITERATURY.....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITCH SYMBOL A ZKRATEK.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>80</b>

## ÚVOD

Polymery rozdělujeme na dvě skupiny – elastomery a plasty. Plasty dále dělíme na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery jsou velmi elastické polymery, které můžeme za běžných podmínek snadno deformovat a to tak, aniž bychom je porušili. Tato deformace je z velké části vratná. Do elastomerů spadá kaučuk, jehož objevení znamenalo začátek průmyslové výroby a dnes slouží pro mnohostranné využití. Polymery můžeme rozdělit i podle jejich původu. Jsou polymery přírodní, mezi které patří bílkoviny, škrob, celulóza a již zmíněný přírodní kaučuk. Druhou skupinou jsou polymery syntetické, jako je polyetylén nebo např. polyvinylchlorid. Rozmach průmyslu znamenal velkou poptávku po kaučuku. To vedlo k vytvoření kaučuku syntetického. Dnes známe celou řadu syntetických kaučuků, které mají rozdílné vlastnosti a dle způsobu použití si zvolíme vhodný typ. Světová spotřeba polymerů je stále na vzestupu. Polymery postupně nahrazují tradiční materiály, a to především pro svou životnost, stabilitu i ekonomičnost. Setkáváme se s nimi běžně v podobě obalů, v elektronice, automobilovém průmyslu, stavebnictví nebo v podobě nábytku či ve zdravotnictví. Prakticky se dnes objevují ve všech odvětvích.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 KAUČUK

## 1.1 Historie kaučuku

Evropa poprvé objevila kaučuk v době druhé cesty Kryštofa Kolumba po Jižní Americe a Haiti (období 1493-1496). Kolumbus se zde setkal s domorodci, kteří používali ke hraní her míč, jenž byl vyroben z vysušené šťávy stromů. Domorodci tuto surovinu používali již několik století před Kolumbovým objevem. Dle archeologických vykopávek byl kaučuk používán při náboženských obřadech již v 6. století. Domorodci získávali kaučuk ze stromů, které nazývali Cahu-tchu, což v překladu znamená plačící strom. Od tohoto názvu dostala hmota pojmenování kaučuk. [1] [8]

Kaučuk byl později objeven i na jiných světadílech. F. Fresneau objevil podobnou hmotu v Guayaně roku 1751. Fresneau se zabíval nestálostí vytékajícího latexu ze stromů a neumožností tak latex zasílat do Evropy, protože cestou zasychá. Snažil se tedy najít způsob, jak převést kaučuk zpět do tekutého stavu. Vznikla tak první zpracovatelná forma kaučuku – roztoky kaučuků v různých silicích, zejména v terpentýnu. [1] [8]

Roku 1791 získal první patent v oboru kaučuku S. Peal. Patent byl udělen za impregnaci textilu roztokem kaučuku v terpentýnové silici. V tomto roce přišel s objevem i Francouz Fourcroy. Jeho nápadem bylo, že je možné latex stabilizovat amoniakem, čímž se výrazně prodlouží jeho životnost. Začal se vyrábět především pogumovaný textil na nepromokavé pláště, obuv, hadice apod. Výrobky však vykazovaly větší množství nevýhod než výhod. Za vyšších teplot se stávaly lepivé, za nižších teplot zase ztrácely svoji pružnost a byly tuhé. [1] [8]

Vědci se snažili najít vhodné zpracování kaučuku, které by přineslo zlepšení jeho vlastností. Dvěma vědcům nezávisle na sobě se podařilo objevit vulkanizaci kaučuku. Byl to Američan Charles Goodyear a Angličan Thomas Hancock. Podařilo se jim zjistit, že zahříváním kaučukové směsi, získává nové vlastnosti a vzniká tak pryž. Charles Goodyear za tento objev získal v roce 1844 patent. [1] [8]

## 1.2 Kaučukonosné rostliny

Existují stovky kaučukonosných rostlin. Z hlediska hospodářského má dnes ale jen malý počet rostlin význam. Hospodářky nejvýznamnější je strom *Hevea brasiliensis*, který roste v rovníkových pásmech. Hlavní oblastí byla rovníková Amerika (pralesy v porůční řeky

Amazonky a jejích přítoků), odtud pocházel všechen kaučuk až do roku 1890. Po tomto roce se podařilo aklimatizovat sazenice, které byly vypěstovány ze semen z prostředí Brazílie. Sazenice se podařilo vysadit na Cejlonu a v Malajsii, čímž byl dán základ pro pěstování v plantážích. Mezi další kaučukonosné rostliny patří strom *Hevea guayanensis*, Maniok kaučukový, kastiola kaučuková a další. [9]

### 1.3 Kaučukové plantáže

Nejpříznivější podmínky pro plantáže jsou v Malajsku. Plantáže se zakládají na místech bývalých džunglí, protože tato půda je velmi výživná. Při zakládání plantáže se porosty džungle posekají. Po uschnutí porostu se celý prostor zapálí. Před začátkem deštivého období se vysazují přibližně jednoleté kaučukovníky, které se předtím vypěstovaly ve školkách. Další postup se liší podle toho, zda se jedná o evropské pěstitele nebo o čínské. [2]

Kvalitu stromů ovlivňuje výběr semen a pěstování stromů. Na čínských plantážích jsou semena vysazována bez jakéhokoliv výběru. Vybírají se zpravidla jen semena zdravých stromů a šlechtěné druhy, které mají velký výtěžek latexu. Nejstarší plantáže jsou sázeny nahodile. Na nových plantážích se sází do čtverce, obdélníku nebo šachovnice. Zpravidla se dnes se sází stromků více a poté se horší stromky vysekají. [2]

### 1.4 Latex

Latex je bílá tekutina z přírodního nebo syntetického kaučuku. Tekutina obsahuje různé částice kaučuku, které jsou rozptýleny ve vodě. Samotná tekutina se nazývá sérum. Kromě kaučuku a vody obsahuje různé jiné sloučeniny. Latex se vyskytuje v mléčných buňkách, kanálcích nebo mléčnicích. Mléčnice jsou uloženy v nové kůře po celém povrchu stromu. Největší část mléka dávají nejmladší mléčnicové systémy, které se nacházejí nejbližší kambium. Kambium je vrstva dělivého pletiva, která způsobuje tloušťnutí stonků a kmenů. Několikahodinové stání latexu způsobí jeho samovolné srážení, které probíhá ve třech fázích. V první fázi se utvoří smetana shluknutím kaučukových částic. Ve druhé fázi nastává vložkování, kde jsou shluky větší. Poslední fází je koagulace, která vytvoří kompaktní hroudu. Srážení latexu se dosahuje zahřátím, utvořením smetany, přidáním vhodné chemikálie nebo také přirozenou změnou latexu, která způsobí samovolné vysrážení. Latex většiny druhů se sráží zahřátím. Srážení chemikálií se používá na plantážích. [20]

## 1.5 Získávání a úprava přírodního kaučuku

Přírodní latex se získává čepováním z kaučukonosných stromů a je základní surovinou pro výrobu přírodního kaučuku. V kůře stromu se udělá šikmý zářez až téměř ke kambiu, které ovšem nesmí být porušeno. Zářez se dělá zvláštním žlábkovitým nožem pod úhlem 30° až 45°. Pod řez se umístí nádobka nebo polyethylenový sáček. Nařezávání začíná asi 1 m nad zemí, při každém čepování se odřízne jen tenký proužek kůry. Během měsíce se sestoupí asi o 25 mm. Jakmile se dojde téměř k zemi, začne se s čepováním na druhé straně stromu. Během čepování na druhé straně obvodu, se první strana zregeneruje a může se opět začít čepovat na první straně. Vytékání latexu není způsobeno gravitací, ale vnitřním tlakem. Latex stečený do nádobky se přelévá do věder, poté do větších zásobníků a odváží se z plantáží do konkrétní organizace, kde se zpracovává. [3][1]

Zahuštěním a stabilizací získáme latex pro přímé zpracování v gumárenských výrobnách. Srážením nebo pařením vody se získává suchý surový přírodní kaučuk. Zpracovatelské gumárny jsou většinou od plantáží značně vzdáleny. Z toho důvodu se ke zpracování dopravuje suchý kaučuk. Velký obsah vody v latexu by totiž dopravu zdržoval. [3][1]

Hlavními druhy přírodního kaučuku jsou světlé krepy a uzený kaučuk. K jejich výrobě se používá dvakrát filtrovaná šťáva, která se sráží kyselinou octovou nebo mravenčí. Sraženina, která se má zpracovávat na uzený kaučuk, se propírá a ždímá na stejnoběžných válciích. Vzniklé listy se poté rozvěšují v sušárně a suší se při teplotě 45-60 °C otevřeným ohněm. Jako palivo se používá dřevo, suché listí, skořápky kokosových ořechů apod. Vzniklý dým má konzervační účinek, z toho je odvozen název uzený kaučuk. [3][1]

Při výrobě krepy se sraženina propírá na rýhovaných válciích, které se otáčejí rozdílnou rychlostí. Listy vychází z válců se zmačkaným povrchem (krepovým). Aby byl zachován světlý odstín, nedochází k uzení, ale suší se pouze proudícím vzduchem, který je 35-40 °C teplý. Potřebujeme-li získat krepu vysoké bělosti, srážíme dvakrát. Při prvním srážení se oddělí žluté části, které se prodají jako žlutá krep. [3][1]



Obr. 1. Získávání latexu [2]

## 1.6 Složení přírodního kaučuku

Surový kaučuk obsahuje vždy určité množství nekaučukových látek, které pocházejí z latexu. Jsou to pryskyřice, dusíkaté látky, anorganické látky a uhlohydráty. Pokud těchto látek není mnoho, zlepšují některé vlastnosti a jsou příznivé. Pryskyřičné látky jsou beztvary hmoty, které jsou měkké nebo naopak tvrdé a křehké. Tuto hmotu získáme extrakcí surového kaučuku acetonem. Z dusíkatých látek jsou v kaučuku obsaženy především bílkoviny. Kaučuk, který obsahuje větší množství bílkovin, v tropickém vedru brzy zahnívá a páchne. V kaučuku působí bílkoviny jako přirozený urychlovač vulkanizace. Proto se někdy nechá vysrážený kaučuk lehce zahnít a až poté se konzervuje a zpracuje. Uhlohydráty jsou standardní součástí latexu, ale v surovém latexu závisí jejich přítomnost na způsobu přípravy suroviny. [3][1]

Brazilský kaučuk nebo kaučuk, který se vyrábí částečným nebo úplným odpařením latexu, má v surovině zachovány všechny nebo jen část nekaučukových látek z latexu. Kaučuk, který je vyroben normálním srážením, obsahuje nepatrné množství těchto látek, většina jich zůstane v séru. Množství minerálních látek je v surovém kaučuku málo a závisí na způsobu výroby suroviny. [3][1]

Surový kaučuk je průsvitná a tažná hmota, je možné ji připravit úplně bezbarvou a bez zápachu a je nerozpustný v alkoholu a acetonu. V sirouhlíku, chloridu uhličitým, chloro-

fromu, a benzenu kaučuk bobtná a tvoří koloidní tekutinu. Některé druhy kaučuku se nerozpouštějí úplně, nerozpustí se dusíkaté látky. [3][1]

Se zahříváním na vzduchu kaučuk měkne, při 160 °C je lepivý a kolem 220 °C taje. Přesný bod tání není možné určit, protože delší zahřívání při nižší teplotě má stejný účinek jako zahřívání kratší při vyšší teplotě. [3][1]

Světlo s ultrafialovými paprsky způsobuje na povrchu kaučuku trhliny a stárnutí povrchu. Takto osvětlený kaučuk má i nižší viskozitu v benzenu a je částečně rozpustný v alkoholu. Kaučuk by se měl skladovat na tmavém a větraném místě. Vzdušný kyslík způsobuje lepi-  
vost některých druhů kaučuku a tento rozklad je rychlejší s působením světla. Nepříznivě působí také kovy a jejich soli. Nejhorší účinek mají soli mědi, kobaltu a manganu. [3][1]

Pro své vlastnosti se nejčastěji přírodní kaučuk využívá pro výrobu těsnění, pneumatik vozidel, dopravních pásů a lepidel. [3][1]

## 1.7 Běžné syntetické kaučuky

Kaučuky pro všeobecné použití jsou takové, které svými zpracovatelskými a mechanickými vlastnostmi splňují požadavky na hlavní aplikační oblasti a jsou přitom dostatečně levné. Mezi tyto oblasti patří např. požadavky, které jsou kladeny na běhounové nebo kastrové směsi, požadavky na směsi technické pryže atd. Do této skupiny kaučuků patří levné uhlovodíkové kaučuky. Polymery a kopolymery butadienu, isoprenu, styrenu (SBR, NR, BR, IR). [11][7]

Butadienstyrenové kaučuky (SBR) jsou nejdůležitějším druhem syntetických kaučuků. Největší spotřeba butadienstyrenového kaučuku je v pneumatikářském průmyslu. Butadienstyrenové kaučuky pro všeobecné použití jsou statistické kopolymery, které obsahují 23-25% styrenu. Vyrábějí se dnes nejčastěji tzv. studenou polymerací, tj. při 5 °C (dříve se polymerace prováděla za teplot kolem 50 °C). Kaučuk obsahuje 5-7% mastných nebo pryskyřičných kyselin, které vzniknou rozkladem emulgátoru. [11][7]

Butadienový kaučuk (BR) je těžce zpracovatelný, používá se proto často ve směsích s kaučuky NR a SBR. Zlepšuje odolnost proti oděru, za nízkých teplot a také elasticitu. Nejvíce se využívá pro výrobu pneumatik a také k přípravě houževnatého PS. [11][7]

Isoprenový kaučuk (IR) s vysokým obsahem cis-1,4 má podobné vlastnosti jako přírodní kaučuk. Díky stabilnějším hodnotám molekulové hmotnosti má stabilnější zpracovatelské vlastnosti. Isoprenový kaučuk má nepravidelnou strukturu, která snižuje sklon ke krystali-



zaci. Oblast použití vychází z použití přírodního kaučuku. Je vhodné používat v oblastech, kde jsou vyšší nároky na zpracovatelnost směsí. Vhodné použití je i ve zdravotnictví, kde by mohli někteří pacienti vykazovat alergickou reakci na proteiny nebo nečistoty, které jsou obsaženy v přírodním kaučuku. Oproti přírodnímu kaučuku je isoprenový kaučuk méně zapáchající. [11][7]

## 1.8 Speciální syntetické kaučuky

Kaučuky pro speciální účely mají jednu nebo více význačných vlastností, díky kterým předčí kaučuky běžné. Nejvýznamnější jsou kaučuky teplovzdorné a odolné proti bobtnání v olejích či jiných kapalinách. Převážná většina speciálních kaučuků obsahuje v řetězci atomů kromě C, H také další atomy, např. N, O, S, Si, Cl, Br, F. [11][7]

Polychloroprénový kaučuk se začal průmyslově vyrábět ve 30. letech minulého století v USA. Svou strukturou a vlastnostmi se velmi přibližuje kaučuku přírodnímu, pro některé použití je však vhodnější. Má lepší odolnost proti benzínu a minerálním olejům, tepelnému a přirozenému stárnutí, kyselinám, nepropouští plyny a je také nehořlavý. Je výbornou surovinou pro výrobu lepidel. Polychloroprénový kaučuk byl prvním syntetickým kaučukem, který se v Československu vyráběl ještě před válkou. [11][7]

Butadiénakrylonitrilový kaučuk se používá v případech, kdy je vyžadována velká odolnost proti olejům, organickým rozpouštědlům a tukům. Odolnost proti olejům je závislá na množství akrylonitrilu. Akrylonitril se pohybuje v rozmezí 18-40%. Nevýhodou tohoto kaučuku je menší odolnost proti nízkým teplotám, jeho malá pružnost a obtížnější zpracování. Cena tohoto kaučuku je vyšší než kaučuku butadiénstyrenového či chloroprenového, využívá se proto jen ve speciálních případech. [11][7]

Butylkaučuk má velmi dobrou chemickou odolnost, odolnost proti stárnutí, teplovzdornost a vysokou nepropustnost plynů. Využívá se především na výrobu duší a lepidel. Tento typ kaučuku má nízkou snášenlivost s ostatními druhy kaučuku. Nedoporučuje se ho tedy kombinovat. Bromovaný butylkaučuk již tyto nevýhody nemá.

Polysulfidový kaučuk má vysokou odolnost proti organickým rozpouštědlům. Má však obtížnou zpracovatelnost a při míchání i při vulkanizaci silně zapáchá. Používá se pro výrobu těsnění, těsnících tmelů, hadic a nádrží na kapalná paliva. Vyrábí se kondenzací polysulfidu sodného a chlorovanými nasycenými uhlovodíky. [11][7]

Silikonový kaučuk je odvozen od sloučenin křemíku. Výhodou je vysoká teplovzdornost a stálost fyzikálních vlastností při zvyšující se teplotě i při teplotě nízké. Dobře také odolávají olejům, organickým rozpouštědlům, chemikáliím, ultrafialovým paprskům, značně také ovlivňují elektroizolační vlastnosti. Ve srovnání s jinými kaučuky není silikonový kaučuk lepkavý. Cena je vyšší, využívá se tedy také méně. Využití je zejména pro výrobu těsnění, které je ve styku s horkými oleji nebo jinými látkami. Vhodný je i pro výrobu hadic pro letectví a speciálních kabelů. [11][7]

Fluorové elastomery jsou odolné proti kyselinám i zásadám, a to i za jejich varu, po dlouhou dobu se nezmění. Chemická odolnost je natolik vysoká, že jsou rozrušitelné pouze roztavenými alkalickými hydroxidy. V běžném prostředí snášejí teploty až 210 °C. Využívá se ve speciálních případech v elektrotechnice a v energetice. [11][7]

Polyuretanové kaučuky jsou význačné svými dobrými fyzikálně mechanickými vlastnostmi, a to především velkou odolností v odírání a pevností. Dále se vyznačují vysokou pružností při velké tvrdosti. Této odolnosti proti odírání se využívá pro pogumování zařízení, která jsou namáhána na ubrušování. Velmi dobře odolávají organickým rozpouštědlům a olejům. Za teploty nad 70 °C se však rozkládají vodou s vodnými roztoky chemikálií. [11][7]

Etylénpropylénový kaučuk se řadí z hlediska fyzikálně mechanických vlastností mezi přírodní kaučuk a kaučuk butadiénstyrenový. Mezi jeho vlastnosti patří nízká hmotnost, která zvyšuje hospodárnost použití. Je odolný proti kyselinám, luhům, ozonu a přirozenému stárnutí. [11][7]

## 1.9 Výroba syntetických kaučuků

Butadiénstyrenový kaučuk (SBR) je kopolymer butadienu a styrenu, výchozí látkou pro výrobu je ropa. Vyrábí se s různým obsahem styrenu, a to buď v emulzi (E-SBR) nebo i v roztoku (S-SBR). Vyrábějí se i typy, které jsou nastavené olejem. Pro dosažení dobrých mechanických vlastností, musí vulkanizát obsahovat ztužující plniva. Roztokové typy mají horší zpracovatelnost než emulzní, protože neobsahují organické kyseliny. Po přidání sazí se ale v hnětacích strojích míchají dobře. Doporučují se hlavně na běhouny pneumatik. [8]

Standardně mají typy E-SBR 23,5 % styrenu, speciální typy SBR mají 15-40 % styrenu. Jako ztužující pryskyřice se v některých gumárenských směsích používají typy E-SBR s obsahem 60-80 % styrenu. [8]

Butadienový kaučuk (BR) se vyrábí z butadienu, který je v něm během polymerace jako cis-1,4, trans-1,4 a 1,2 (vinyl). Vyrábí se podobně jako SBR v emulzi nebo v roztoku. Přidáním polárního rozpouštědla do používaného kapalného uhlovodíku při roztokové polymeraci butadienu můžeme zvýšit množství vinylu až na 90%. Vyrábí se s použitím katalytických systémů. [8]

Isoprenový kaučuk (IR) se vyrábí emulzí radikálovou polymerací a iontovou polymerací účinkem sodíku, draslíku a alfinových katalyzátorů. Takto vyrobený polyisopren je strukturně nestejnorodý. Při polymeraci takto uvedenými způsoby probíhá růstová reakce nezávisle na katalyzátoru a monomer vstupuje do rostoucího řetězce nahodile. Dalším způsobem výroby je použití stereospecifických iniciačních systémů, při kterých je řízen začátek i celý průběh růstové reakce. Výsledný produkt vyrobený tímto způsobem má jednotnou strukturu s velkým obsahem požadované struktury cis-1,4. V průmyslové výrobě se používají iniciační přístroje. Polymerace je prováděna roztokovým způsobem. [8]

Polychloroprénový kaučuk (CR) se nejčastěji vyrábí emulzní polymerací, čímž vzniká dobře zpracovatelný, nezesítný polymer, a to i do vysokého stupně konverze (90%). Těchto vlastností se dosahuje přidáním vhodných modifikátorů. Struktura může být ovlivněna kopolymerací chloroprenu se sírou nebo s 2,3-dichloro-1,3-butadienem. Tímto udává široké množství polymerů s rozdílnými chemickými a fyzikálními vlastnostmi. [8]

Butadiénakrylonitrilový kaučuk (NBR) se vyrábí emulzní polymerací stejným způsobem, jako butadienstyrenové kaučuky. Jako emulgátory se používají alkalické soli sulfonovaných alkylarenkarboxylových kyselin. Koagulačními činidly jsou nejčastěji anorganické soli. Pro lepší elektrické vlastnosti polymeru a zmenšení jeho nasákavosti vodou, se z polymeru vymývají zbytky syntetických emulgátorů. Původně se používala teplota polymerace okolo 50 °C, později docházelo ke snižování teploty a dnes převažují studené typy, které jsou vyrobeny polymerací při teplotách kolem 5 °C. [8]

Butylkaučuk (IIR) je vyráběn roztokovou kationtovou kopolymerací isobutylenu s menším množstvím isoprenu (asi do 3%). Reakce začíná při nízkých teplotách (-80 °C až -90 °C) v roztoku methylchloridu za použití katalyzátorů. Technologie provedení polymerace je obdobná jako u jiných roztokových polymerací. [8]

Polysulfidový kaučuk (OT) se vyrábí polykondenzační reakcí organického  $\alpha,\omega$ -dichloridu s polysulfidem sodným. Reakce se provádí ve vodné emulzi během míchání a pomalým

přidáváním dichloridu. Vzniká nejdříve latex polysulfidového kaučuku, ze kterého se polymer vysráží. [8]

Silikonový kaučuk (Q) vzniká zesíťováním polysiloxanů. [8]

Fluorové elastomery se vyrábějí emulzní radikálovou kopolymerací. Jako iniciátor je organický nebo anorganický peroxid. Teplota polymerace je 80-120 °C. Musí být použity vysoké tlaky 2-10 MPa. [8]

Polyuretanové kaučuky se vyrábějí polyadičními reakcemi vyšemolekulárních diolů s diisokyanáty. Podle druhu výchozích surovin a jejich poměru lze získat různé produkty. [8]

Etylénpropylénový kaučuk (EPM, EPDM) se vyrábí roztokovou polymerací s použitím katalyzátorů. Proces je podobný jako u jiných roztokových polymerací. Rozpouštědlem je v tomto případě nízkomolekulární uhlovodík. Polymerační teplota je okolo 40 °C. [8]

## 2 SKLADBA A ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

### 2.1 Skladba kaučukových směsí

Kaučuková směs se kromě kaučuku skládá i z přísad a plniv, které jsou důležité pro zpracování a dodávají finálnímu výrobku požadované vlastnosti. Zároveň se také volí tak, aby bylo dosaženo nízkých nákladů. Každá složka směsi má svou funkci a je potřeba dbát na přesné množství jednotlivých složek, aby bylo docíleno požadovaných vlastností. Složky se vzájemně ovlivňují a je proto potřeba volbu složek předem naplánovat. [20] [7]

Obecná skladba kaučukové směsi:

- Kaučuk, kaučukový systém
- Plnicí systém
- Ochranný systém
- Zpracovatelský systém
- Přísady
- Vulkanizační systém [20] [7]

#### 2.1.1 Kaučuky

Kaučuk je základní surovinou směsi a je to právě první krok při výběru. Vhodný kaučuk se volí podle plánované aplikace a od tohoto základu se odvíjí ostatní složky směsi tak, aby výsledný výrobek splňoval potřebné požadavky. Při výběru kaučuku je kladen důraz především na teplotu a okolní podmínky, ve kterých se bude finální produkt nacházet, aby byla zajištěna potřebná životnost. Dále je důležitým hlediskem také zpracovatelnost směsi, a zda bude nutné výrobek povrchově upravovat. Pro zvolení vhodného základu se nemusí vybírat pouze jeden kaučuk, ale lze použít i kombinace různých kaučuků. [7]

#### 2.1.2 Plniva

Plniva se dělí na neaktivní, která mají malý nebo žádný ztužující účinek a plniva aktivní neboli ztužovačla. Plniva zvětšují objem kaučukové směsi a tím snižují její cenu. Zároveň také ovlivňují tuhost a tvrdost směsi. Mezi nejpoužívanější plniva patří křída, kaolín, těživec. Mezi nejdůležitější ztužovačla patří saze. Ztužovačla zlepšují fyzikálně mechanické vlastnosti pryže, např. odolnost proti oděru a dynamické vlastnosti. [20] [7]

### 2.1.3 Antioxidanty

Antioxidanty jsou prostředky proti stárnutí. Do směsí se přidávají pro delší životnost výrobků. Účinky antioxidantů jsou různé. Chrání vulkanizát proti teplu, ozonu, únavě a proti světlu. Nejvíce používanými antioxidanty jsou aminy a jejich deriváty. Všechny se na světle zbarvují, nelze je proto použít pro světlou pryž. Nejznámějšími antioxidanty jsou fenyl-naftylaminy, antioxidant MB, antioxidant 4010. [20] [7]

### 2.1.4 Změkčovadla

Změkčovadla se do směsí přidávají pro zlepšení její zpracovatelnosti. Změkčovadla usnadňují dispergaci práškových přísad, šetří spotřebu energie při zpracování, zlepšují tvarování, nahrazují kaučuk a tím výrobek zlevňují. Mezi nejčastější změkčovadla patří parafín, stearín, minerální oleje, kalafuna a další. [20] [7]

### 2.1.5 Přísady do směsí

Přísady, které se do kaučukových směsí přidávají, se dělí na vulkanizační činidla, urychlovače vulkanizace, aktivátory vulkanizace, antioxidanty, plniva, změkčovadla. Dále je možné přidat pigmenty nebo další zvláštní přísady. [20] [7]

### 2.1.6 Vulkanizační činidla

Nejčastějším vulkanizačním činidlem je síra. Pro gumárenské účely se využívá síra mletá krystalická, v menší míře se využívá síra nerozpustná. Síra je hořlavá, musí se tedy skladovat odděleně od ostatních přísad. Při jejím používání se musí dbát zvýšené bezpečnosti. Do podniků se dopravuje v papírových pytlicích nebo v sudech. [20] [7]

Pro studenou vulkanizaci tenkostěnných výrobků se používá chlorid siričný. Chlorid siričný je světle žlutá kapalina, která má silný zápach a je jedovatá. Do podniků se dodává ve skleněných nebo kameninových nádobách. [20] [7]

Dalším vulkanizačním činidlem může být selen, telur, nitrosloučeniny, diazosloučeniny, organické sloučeniny kovů apod. [20] [7]

## 2.2 Zpracování kaučukových směsí

Ne všechny druhy kaučuků se dodávají v takovém stavu, aby bylo možné je hned zpracovat do směsí. Některé druhy kaučuků se dodávají v tuhém a tvrdém stavu, musí se proto měkčit. Do automatizovaných provozů bývají dodávány i kaučuky granulované, což

umožňuje snadné a plynulé dávkování do hnětacích strojů. Ostatní přísady směsí jsou již většinou ve stavu, který umožňuje jejich okamžité použití. Občas je potřeba upravit vlhkost nebo zrnitost přísad. Přísady mohou být dodávány i ve stavu past nebo jako zrněný materiál. Takto zpracované přísady také umožňují rychlejší manipulaci, zrychlují míchání a celkové rozptýlení ve směsi. [1] [20]

### 2.2.1 Plastikace kaučuku

Plastikace způsobuje snížení střední molekulové hmotnosti kaučuků, což vede ke snížení tuhosti a zvětšení plasticity. Kaučuk se plastikuje hnětením na válcových strojích, a to za intenzivního chlazení kvůli odvodu tepla, na které se mění mechanická energie, nebo v hnětacích strojích za zvýšené teploty (140 °C a více). V obou případech je účinnost plastikace vysoká, nejnižší je kolem 90°C. Principem plastikace je rozštěpení makromolekul dodanou energií na makroradikály, které jsou zakončeny vzdušným kyslíkem a tzv. plastikačními činidly. Plastikační činidla se přidávají zejména při plastikaci v hnětacích strojích. [20]

### 2.2.2 Příprava a sekání přírodního kaučuku

Přírodní kaučuk je dovážen do podniků v balících, jenž mají váhu kolem 100 kg. Slisovaný kaučuk bývá obalen listy kaučuku nebo se dodává v jutových pytlích. Nečistoty se z obalu odstraní kartáčováním. Kaučuk se poté vkládá do přehřívací komory o teplotě 50 °C, aby došlo ke změknutí. Pokud by kaučuk nebyl přehřátý, mohlo by dojít k poškození strojního zařízení. [20]

Po částečném ochlazení se začnou balíky sekat na strojích. Rozlišuje se svislý sekací stroj, který seká balíky na kusy o tloušťce asi 100 mm a hvězdicový sekací stroj, který jednou operací rozsekne balík radiálně na šest až dvanáct částí. Druhý typ stroje je výhodnější. Stroje jsou poháněny hydraulicky nebo mechanicky. Podle směru pohybu nožů se rozlišují stroje horizontální a vertikální. Po nasekání se kaučuk plastikuje. [20]

### 2.2.3 Úprava syntetického kaučuku

Mechanická plastikace syntetického kaučuku butadiénstyrenového typu je málo účinná. K jeho měkčení se proto používá tepelného odbourávání. Odbourávání se provádí v ležatých kotlích při teplotě 135-150 °C a po dobu 40-75 minut. Aby byl vzdušný kyslík ve styku s co největším povrchem, musí se kaučuk před odbouráním sekat. Sekání se provádí na stroji s otáčivými spirálovými noži, které jsou upevněny na bubnu. Stroj naseká

kaučuk na úzké proužky, které se ukládají na plechy posypané kaolínem nebo křídou. Plechy se uloží na vozíky, které se vsunou do kotle, kde probíhá odbourávání. Je nutná výměna vzduchu, která je zajištěna cirkulací. Aby bylo dosaženo stejnosměrné kvality, musí být zpracovávány jen balíky ze stejné série. [20]

K výrobě náročnějších výrobků, u kterých je nežádoucí přítomnost hrubších nečistot, je nutné se zbavit nečistot. To se provádí na čistícím šnekovém stroji. [20]

#### 2.2.4 Příprava přísad

Přísady, které nemají požadovanou vlhkost nebo zrnitost, se musí před použitím upravit. Mletí přísad se většinou neuplatňuje, jelikož přísady bývají dodávány ve formě prášku. Sušení práškových přísad se provádí v sušících strojích. Podle provedení se rozeznávají komorové a válcové sušící stroje. V případě komorových sušících strojů probíhá sušení ve vytápěné komoře. Tento typ sušení se příliš nevyužívá. Válcový sušící stroj se skládá z ležatého válce, který je vytápěný párou a otáčí se kolem své osy. Uvnitř válce se nachází šnekový dopravník, který posunuje materiál od násypky k výpadnímu otvoru. Během dopravování je materiál ve styku s vytápěnými stěnami a dochází tak k jeho sušení. [20]

Pro prosévání přísad se používá vibrační zařízení se dvěma síty. Vibrace jsou vyvolány excentrickým pohonem. Mezi síta se mohou umísťovat kuličky, které umožňují lepší rozptýlení suroviny. Používají se také rotační síta válcových tvarů, ze kterých se materiál odvádí šnekovým dopravníkem. [20]

Síra se mele ve speciálních mlýnech. Je potřeba dbát zvýšené opatrnosti, protože síra je hořlavá a mohlo by dojít k požáru. Ve mlýnech se proto udržuje atmosféra interního plynu. [20]

Voskovité přísady jako parafín a stearín se strouhají na otáčivých struhadlech. [20]

Kapalné přísady jsou husté a viskozní kapaliny. Ve studeném stavu je není možné nalévat ani odměřovat. Proto se vylévají do duplikátorů, které jsou vytápěny párou. Jako teplé se odměřují do navažovacích beden nebo se vylévají přímo do komory hnětacího stroje. [20]

#### 2.2.5 Příprava regenerátu

Regeneráty se dodávají do podniků ve tvaru desek. Před navažováním se tedy musí rozsekat na menší kusy. Sekání se provádí obdobně jako u sekání přírodního kaučuku. [20]



### 2.2.6 Míchání směsí

Při míchání je důležitá teplota i pořadí, ve kterém příměsi přidáváme. Dále množství příměsí i doba, jakou příměsi vmícháváme. Nadměrné míchání způsobuje zhoršení mechanických vlastností výrobku. Naopak málo zamíchaná směs je nehomogenní a ztěžuje se její zpracování i použití výrobku. Míchání způsobuje u přírodního kaučuku zvyšování plasticity. Běžné druhy syntetických kaučuků toto nevykazují. Plasticita se mění velmi málo, někdy se spíše snižuje. Míchání probíhá na dvouválcových kalandrech nebo v hnětacích strojích. [20]

Míchání na dvouválcových kalandrech je nejstarším způsobem. Ekonomicky není příliš výhodný, má ale své přednosti. Používá se pro míchání směsí méně plněných nebo v malých provozech, ve kterých se často střídají různé druhy směsí odlišného složení nebo zbarvení. Dále se využívá pro přípravu speciálních směsí. Skládá se ze dvou dutých litinových válců, které se otáčejí ve směru proti sobě. V dutině válců je děrovaná roura, kterou protéká voda, jenž má chladicí efekt. Mezi válci je mírný prokluz tzn., že se jeden válec otáčí rychleji než druhý. Oba válce jsou broušené a mají hladký povrch. Vzdálenost mezi válci je možné měnit pomocí stavěcích šroubů. Jelikož jsou dvouválcové kalandry vystaveny velké námaze, je z důvodu bezpečnosti mezi stavěcí šroub a pouzdro předního válce vložena pojistka. Po obou stranách je vložena litinová vložka. Pokud se nepřiměřeně zvýší námaha, pojistka praskne. Kaučuková směs prochází mezi válci a vytvoří tak souvislý pás. Poté se směs z válce odebírá ručním nebo mechanickým způsobem. Následně se chladí, posypává izolačním materiálem, zkouší a dále zpracovává na polotovary. [20]

Míchání v hnětacích strojích se využívá pro míchání velkého množství jednoho druhu směsi. V tomto stroji se směs hněte otáčejícími se profilovanými válci. Podstatou je uzavřená chlazená komora, ve které se otáčejí dvě hnětadla. Hnětadla jsou mohutné válce, které dobře převrací kaučukové směsi během procesu. Otáčejí se rozdílnou rychlostí, je mezi nimi frikční poměr. Rozdílná rychlost hnětadel urychluje míchání. Oproti míchání na dvouválcových kalandrech zajišťuje tento způsob vysokou produktivitu, větší bezpečnost, možnost mechanizace a automatizace. Velkou výhodou je také uzavřená míchací komora, což umožňuje míchání směsí s velkým obsahem sazí a jiných práškových přísad a zároveň zachovává dobré pracovní prostředí. [20]

### 2.2.7 Vulkanizace

Vulkanizace je fyzikálně chemický děj. Při tomto ději dochází účinkem vulkanizačních činidel ke strukturním změnám kaučuku. Vulkanizace kaučukové směsi je velmi složitý tepelný proces, při kterém makromolekuly kaučuku síťují. Síťováním se kaučuková směs, která byla původně plastická, lepivá a rozpustná, mění na pevný, elastický, nerozpustný a chemicky odolnější materiál – pryž. Vulkanizace je časově a energeticky nejnáročnější část výroby pryžových výrobků. Probíhá za zvýšené teploty a tlaku. Vulkanizaci objevil poprvé Goodyear roku 1839. Zjistil, že pokud se kaučuk zahřívá se sírou, mění se jeho vlastnosti. Nejčastějším vulkanizačním činidlem je síra, dále kysličníky kovů, chloridu siřného, organických peroxidů apod. Tlak je při vulkanizaci nutný pro zamezení vzniku pórů ve výrobcích, které se vlivem plynů tvoří. Plyny se uvolňují ze směsi při vulkanizační teplotě. Výše tlaku tedy ovlivňuje kvalitu výrobku. [14] [17]

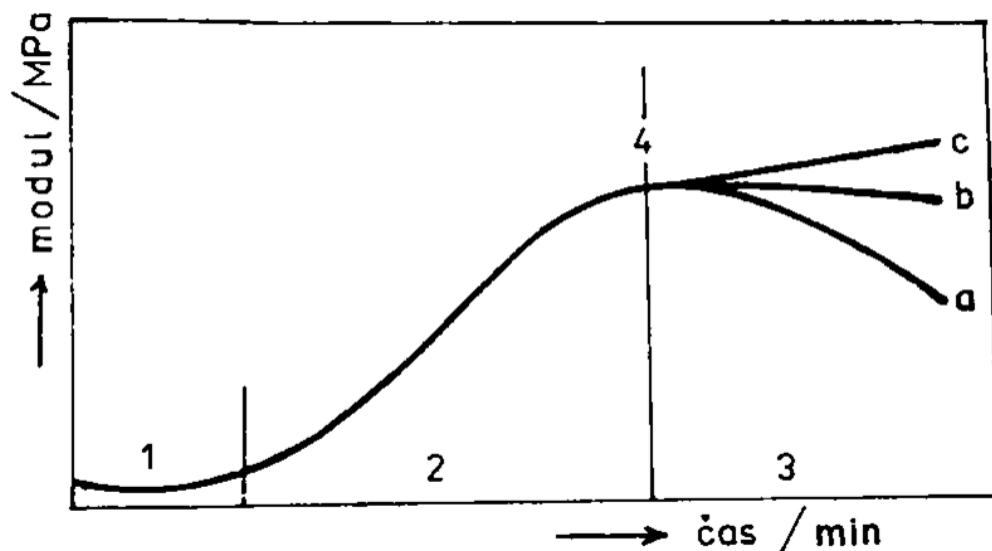
Složky vulkanizačního systému spolu s teplotou způsobují tvorbu chemických příčných vazeb mezi pryžovými řetězci. Během vulkanizace se mění lineární struktura řetězců kaučuku na prostorovou strukturu vulkanizátu. Kaučuk přejde z plastického stavu do stavu elastického. [14]

Vulkanizace způsobuje zlepšení mechanických a chemických vlastností, ale také zlepšení fyzikálních vlastností jako je větší pevnost v tahu, odolnost proti trhání, odolnost proti oděru, větší pružnost, ale zároveň menší tažnost. Kaučuk, který není vulkanizovaný, je rozpustný v některých organických rozpouštědlech. Vulkanizovaný kaučuk v organických rozpouštědlech pouze bobtná. Další výhodou vulkanizace je větší odolnost vulkanizovaného kaučuku proti změně teplot. [17]

Zjistilo se, že vulkanizace dosáhne v určitém čase optimální fáze. Po této době pevnost a další vlastnosti opět klesají. Optimální dobou vulkanizace uvažujeme takovou dobu, kdy je dosaženo 90% změny. Celý vulkanizační proces se proto zkouší v laboratořích, aby byly vulkanizací získány co nejlepší vlastnosti. [3] [14]

Vulkanizace se provádí na různých zařízeních, mezi které patří vulkanizace v hydraulických nebo rotačních lisech, vulkanizace v kotli, vulkanizace v tunelech a komorách. U provozní vulkanizace se používá jako topný prostředek pára, vzduch, voda, odporové či dielektrické vyhřívání, infračervené záření. Dobrý vulkanizát se získá stejnoměrným prohřátím celé kaučukové směsi. [14]

Doba vulkanizace je závislá na teplotě při daném složení směsi. Teplotní koeficient vulkanizace stanovuje vztah teploty a doby vulkanizace. Tento koeficient udává, kolikrát se zkrátí doba vulkanizace při zvýšení teploty o 10 °C. Dle druhu směsi jsou hodnoty od 1,8 do 2,5. Vyšší teplota však vede k destrukci pryže nebo znehodnocení textilní výztuže. Vulkanizační proces se může rozdělit do tří etap podle obrázku. [5] [14]



Obr. 2. Vulkanizační křivka [1]

Bezpečnost směsi (oblast 1) proti navulkanizování je doba, kdy vlastní síťovací reakce při zvýšené době ještě neprobíhá. Umožňuje zpracování směsi na polotovary za zvýšené teploty, i když směs nevulkanizuje a nezhoršuje tak tokové vlastnosti. Sestavení směsi s vhodně zvolenou bezpečností je ekonomicky velmi významné. Pokud by byla bezpečnost příliš dlouhá, prodloužila by vulkanizační cykly a snížila efektivitu celé vulkanizace. Bezpečnost se nastavuje urychlovači nebo kombinací urychlovačů a inhibitorů. Bezpečnost se volí jako součet všech potřebných časů probíhajících za vyšší teploty a k tomu navíc byla přidána malá časová rezerva pro případné nepravidelnosti procesu. Síťování (oblast 2) je fáze, ve které se vytváří prostorová síť. V této době se zlepšují vlastnosti vulkanizátu. Rychlost síťování má největší vliv na dobu vulkanizace a je závislá na použitém systému vulkanizace. Optimum vulkanizace (oblast 4) se vyjadřuje v minutách a je to doba, v níž jsou sledované vlastnosti vulkanizátu nejlepší. Po této době začínají vlastnosti klesat (oblast 3). Pokud zvýšíme vulkanizační teplotu, snížíme dobu pro dosažení optima. Zároveň se ale zkrátí doba bezpečnosti směsi. Úsek vulkanizační křivky, kde dochází k poklesu síťové hustoty se nazývá reverze (křivka a). Reverze je nežádoucí, protože během ní dochází k trhání prostorové sítě. Toto má za následek zhoršení kvality výrobků. Některé kaučukové směsi mo-

hou i po dosažení optima zvyšovat svou hustotu sítě, což vede k dalšímu nežádoucímu tuhnutí výrobků (křivka c). Technologové se snaží, aby doba optima byla co nejširší (popisuje křivka b). [5] [14]

Rychlost vulkanizace je závislá na druhu kaučuku a teplotě. Obecně je rychlost vulkanizace větší s rostoucí teplotou, s klesající teplotou je rychlost vulkanizace menší. Optimální dobou vulkanizace se považuje doba, při které je dosaženo 90 % změn. Tuto dobu je možné stanovit empiricky, měřením nebo výpočtem. Pokud předpokládáme, že uvedená reakce probíhá jako reakce prvního řádu, tzn.  $n = 1$ , je možné optimální dobu vulkanizace vypočítat podle rovnice:

$$t_{90} = t_i + 2,3 / k,$$

kde  $t_i$  je indukční perioda (min) a  $k$  je rychlostní konstanta síťovací reakce (1/min). [14]

### 2.2.7.1 Urychlovače vulkanizace

Pro urychlení vulkanizace a snížení nákladů se do směsi přidávají urychlovače. Podle chemického složení je dělíme na urychlovače anorganické a organické. Mezi anorganické urychlovače patří kysličníky kovů zásaditého charakteru. Organických urychlovačů je velké množství, pro dosažení jejich plného účinku se používají aktivátory. Krátký čas vulkanizace přinesl také zkoumání optimální doby vulkanizace. [20] [7]

Urychlovače umožňují zmenšit dávky síry a příznivě ovlivňují vlastnosti pryže. Do podniků jsou dodávány v železných nebo dřevěných sudech. Podle jejich účinku se rozdělují do čtyř skupin:

- Pomalu působící urychlovače se používají pro tvrdé pryže nebo v kombinaci s jiným urychlovačem, např. Denax.
- Středně rychle působící urychlovače se používají nejčastěji. Výhodou je dobrá provozní rychlost vulkanizačního procesu a odolnost pryže proti převulkanizování během vulkanizace, např. Kaptax.
- Rychle působící urychlovače např. Thiuramy.
- Ultraurychlovače např. Vulkacit P, Vulkacit P extra N. [20] [7]

Urychlovače se používají samostatně nebo i v kombinacích. [20] [7]

### 2.2.7.2 *Aktivátory vulkanizace*

Aktivátory jsou anorganické a organické látky, aktivující činnost urychlovačů. Jako aktivátor se využívá téměř ve všech směsích kysličník zinečnatý. Používá se v kombinaci s organickými kyselinami, které umožňují jeho rozpouštění v kaučukové směsi. Jako aktivátor se v menší míře používá i kysličník olovnatý. Jeho využití je pro tvrdou pryž, ale využití je omezené, protože je tato látka jedovatá. [20][7]

### 3 LISOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Lisování je tváření polymerních hmot ve formě účinkem tlaku a teploty. Tvar výlisků vymezuje forma. Forma je buď samostatná, která se vkládá volně do lisu nebo je součástí lisu. Podle způsobu provedení se rozlišuje lisování cyklické a kontinuální, vysokotlaké a nízkotlaké. Nejvíce výrobků se vyrábí cyklickým lisováním. Při cyklickém lisování se nejprve vhodně upravený materiál plní do dutiny otevřené formy. Forma se uzavře a za působení tlaku a teploty vyplní materiál dutinu formy. Ustálení tvaru výrobku se způsobenou chemickou změnou (vytvrzením, vulkanizací) nebo fyzikální změnou (ochlazením) hmoty. Tečením se uskutečňuje proces tváření a je způsobeno vnějšími silami. Tečení je ovlivněno ohřevem a postupem plastikace hmoty do uskutečnění toku. V případě lisování tvrditelných hmot a kaučukových směsí je potřeba uvažovat časové omezení tečení s ohledem na síťovací reakci ve hmotě. Průběh tečení ovlivňuje i velikost tlaku. [14]

Stabilizace tvaru výlisků je různá podle použitého materiálu. V případě reaktoplastů a kaučukových směsí probíhá chemická změna již při lisování, jsou-li zajištěny vhodné technologické podmínky. U termoplastů se dosahuje ustálení tvaru ochlazením ve formě. Až po ochlazení je možné výlisek vyjmout z formy. Lisování je vhodné jen pro polymery, u kterých celý postup lisování probíhá při stejné teplotě, což jsou především reaktoplasty a kaučukové směsi. Pokud lisujeme termoplasty, je nutné formu střídavě ohřívat a chladit, což vede k větší spotřebě energie a tento postup není ekonomický. [14]

Kaučukové směsi pro lisování musí splňovat dobré tokové vlastnosti a mít vhodný vulkanizační systém. Připravená nálož musí splňovat požadovaný tvar, který by měl být co nejvíce přizpůsobený tvaru budoucího výlisku. Tak se směs ve formě nemusí příliš přemísťovat. Hmotnost náložky se volí s ohledem na dostatek místa pro materiál k vyplnění dutiny formy a na přetok normální velikosti. [14]

Před vložením náložky se forma čistí, někdy se aplikuje separační prostředek. Samotné vkládání náložky a uzavírání formy musí být co nejrychlejší, aby nedošlo k povrchovému navulkanizování náložky. Před zalisováním se může zařadit odvzdušnění formy. [14]

#### 3.1 Způsoby lisování

Hlavními způsoby lisování jsou přetlačování a přímé lisování. Tyto způsoby je možné rozdělit na tři fáze. V první fázi se plní tvarové dutiny formy. Lisovací hmota působením tepla měkne, poté se stane tekutou a vyplní tvarovou dutinu formy. Při způsobu přímého lisování

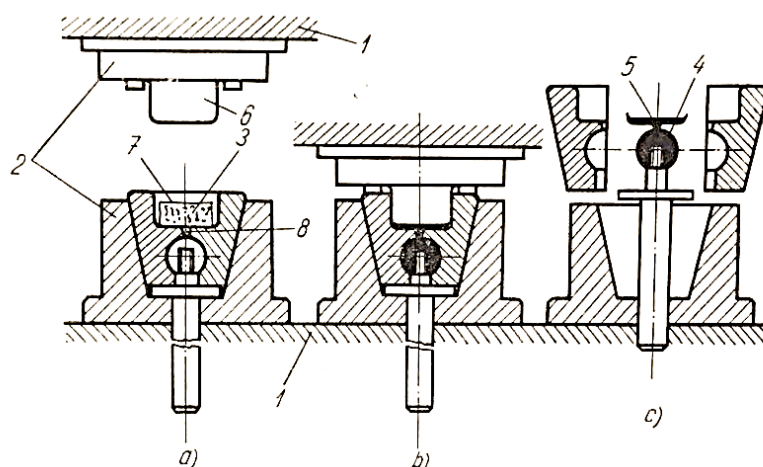
probíhá plnění formy v době jejího uzavírání. Při přetlačování je to v době pohybu potlačovacího pístu v tlakové komoře formy. Ve druhé fázi působí teplo ve formě a dochází k vytvrzování hmoty. Doba, která je potřebná k vytvrzení hmoty, je tzv. tvrdící doba. Ve třetí fázi probíhá otevření formy, vyjmutí vylisku, jeho chladnutí a dotvrzování mimo formu. Celý tento proces spolu i s očištěním formy a její přípravy na další tváření se nazývá lisovací cyklus. [14]

Při vyplňování formy se v ní často tvoří plyny, které mohou vytvořit nežádoucí vady, jako např. puchýřky, zhoršení lesku, vtaženiny a další. Často tyto plyny unikají samočinně kvůli netěsnosti formy, hmota tak začne protékat. Pokud ale během lisování objevíme tyto vady, musíme plyn odstranit. Děje se tak mírným pootevřením formy po jejím naplnění. [14]

### 3.1.1 Přetlačování

Při přetlačování je kaučuková směs vtlačována do uzavřené formy vstřikovacemi kanálky. Samotné vtlačování probíhá pomocí pístu. Tento způsob umožňuje přesnější nastavení množství použitého materiálu, protože forma je již v době vstřiku uzavřená. Smyk ve směsi, který vzniká při toku přetlačovacími kanálky, směs ohřívá a snižuje se tak její viskozita. Směs s nižší viskozitou lépe vyplňuje dutinu formy, zvýšená teplota navíc urychluje vulkanizaci. Výhodou je v tomto případě, že odpadá vkládání předlisků do formy. Nevýhodou je ale složitější forma. [14]

Tlak potřebný na přetlačovací píst je výrazně vyšší než při přímém lisování. Tlak musí být tak velký, aby bylo v tvarové dutině formy dosaženo tlaku nejméně 29 MPa. [14]



Obr. 3. Schéma přetlačování [14]

*a* – vkládání hmoty do formy, *b* – přetlačování, *c* – vyjímání výlisku; *1* – horní upínací stůl lisu, *2* – přetlačovací forma, *3* – tableta hmoty, *4* – výlisek, *5* – přebytek vytvrzené hmoty, *6* – přetlačovací píst formy, *7* – přetlačovací komora, *8* – plnicí kanálek

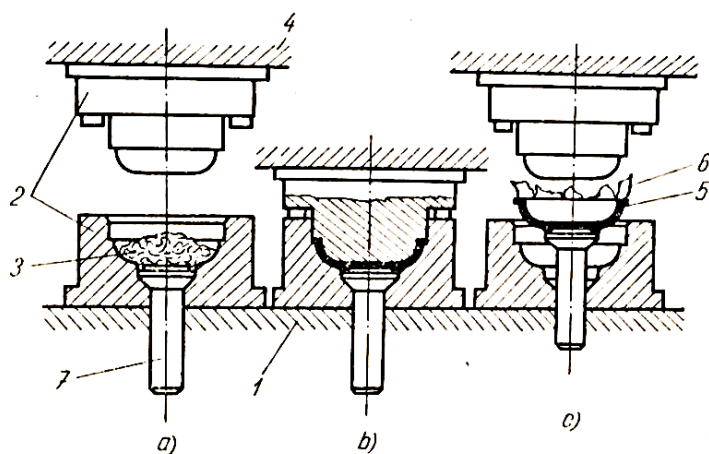
### 3.1.2 Lisování tlakem ve formě

Při tomto typu lisování jsou části formy předehřátý na vulkanizační teplotu, dutina formy odpovídá požadovanému tvaru výrobku. Tlak ve formě se během vulkanizace vyvozuje lisem nebo membránou. Do dutiny formy je vložena nevulkanizovaná kaučuková směs, která musí po uzavření dutinu zcela vyplnit. Po uzavření formy proběhne vulkanizace a směs získá konečný tvar. V případě, že směs dutinu formy zcela nevyplní, jedná se o vadný výrobek. Tato vada se odstraňuje změnou viskozity kaučukové směsi, změnou tvaru nebo hmotnosti směsi. Odvzdušnění se provádí otevřením a uzavřením formy během lisování nebo navrtáním malého odvzdušňovacího otvoru do formy. Ohřev materiálu je vedením tepla od stěny formy, což způsobuje delší výrobní cyklus. Směs se někdy před vložením do formy předehřívá horkým vzduchem. [14]

Po vulkanizaci, vyjmutí a ochlazení výrobku se výrobek smrští. Je tedy důležité, aby byla vždy forma větší, než je požadovaný rozměr výrobku (nejčastěji o 1,5%). Smrštění výrobku většinou klesá s rostoucím obsahem plniv. Tento způsob lisování je výhodný hlavně pro malé série (50 až několik tisíc kusů ročně). [14]

Rozhodujícím faktorem pro dosažení správné hustoty výlisku a tím i jeho pevnosti a dalších vlastností, je lisovací tlak. Výška tlaku závisí na tekutosti hmoty, na tvaru výlisku a na jeho rozměrech. Čím je výlisek vyšší, tím více tlaku je potřeba. Pokud se použije účinný vysokofrekvenční dielektrický předehřev, můžou se potřebné tlaky snížit až na polovinu. [14]





Obr. 4. Schéma lisování [14]

*a* – nasypávání, *b* – lisování, *c* – vyjímání vylisku; 1 – spodní upínací stůl lisu, 2 – forma, 3 – lisovací hmota, 4 – horní upínací stůl lisu, 5 – vylisek, 6 – přetok hmoty na vylisku, 7 – vyhazovák formy

## 4 VULKANIZAČNÍ FORMY

Vulkanizační formy jsou vystaveny vysokým tlakům a opakovanému namáhání, musí být proto vyrobeny z kvalitního materiálu. Mezi nejdůležitější požadavky na formy patří snadné skládání a rozebírání, snadné vyjímání vylisků, bezvadný povrch, jednoduché čištění formy, správné umístění odvzdušňovacích kanálek, rychlé a úplné vyplnění dutiny formy směsí, vznik minimálních přetoků a další. [20]

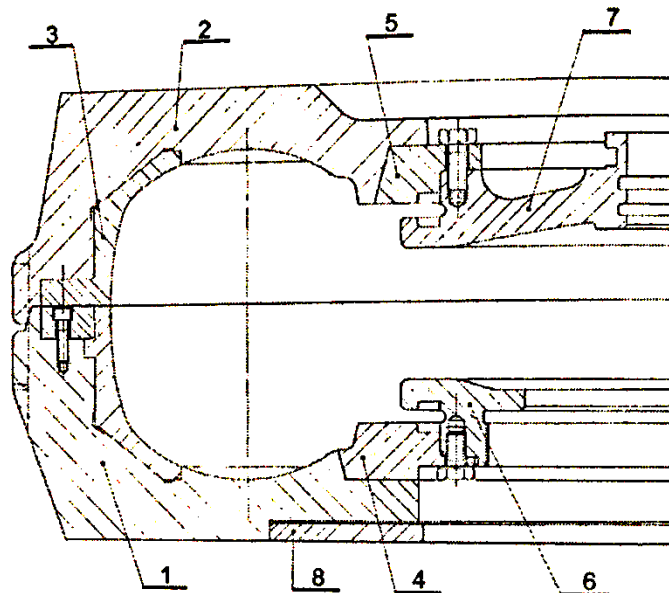
Formy se vyrábějí nejčastěji z oceli. Pro výrobu prototypových výrobků se používají i formy z epoxidové pryskyřice. [20]

### 4.1 Dělení vulkanizačních forem

Vulkanizační formy je možné rozdělovat z mnoha hledisek. Níže je uvedeno nejčastější rozdělení, se kterým je možné se setkat. [20]

- a) Rozdělení podle skupiny výrobků
  - plášťové formy
  - dušové formy
  - membránové formy
  - protektorovací formy
  - formy na ochranné vložky
  - formy na výrobky z technické gumy [20]
  
- b) Rozdělení forem podle způsobu jejich plnění
  - lisovací
  - vstřikovací [20]
  
- c) Rozdělení podle uspořádání dělicích rovin
  - dvoudílné
  - vícedílné
  - segmentové [20]
  
- d) Rozdělení podle materiálu formy
  - hliníkové
  - ocelové

- kombinované (ocelová forma spolu s hliníkovou dezénovou částí) [20]
- e) Rozdělení podle způsobu výroby dezénové části formy
- odlévané
  - frézované
  - kombinované [20]
- f) Rozdělení podle způsobu ohřevu
- formy s komorovým ohřevem
  - formy bez komorového ohřevu [20]



Obr. 5. Příklad dvoudílné vulkanizační formy pro výrobu pneumatik [20]

- 1 – dolní část formy, 2 – horní část formy, 3 – dezénová vložka, 4 – dolní patkový kroužek, 5 – horní patkový kroužek, 6 – dolní membránový kroužek, 7 – horní membránový kroužek, 8 –

## 4.2 Materiály pro výrobu forem

Vulkanizační formy musí odolávat vysokým teplotám, tlakům, separátorům a samotným směsím, proto se klade důraz na volbu vhodného materiálu. Každá část formy má jinou funkci a jsou proto také odlišné požadavky na použitý materiál. [18]

Vhodný materiál pro výrobu forem musí disponovat dobrou obrobiteľnosť, zvýšenou odolnosť proti oděru, stálostí rozměrů, vhodnými fyzikálními vlastnostmi, odolností proti korozi a chemickým vlivům použitých směsí. [18]

### 4.2.1 Ocel

Ocel je slitinou železa, uhlíku a dalších prvků (Mn, Si, P, S, Cu) a je základním materiálem pro výrobu forem. Používá se jak ocel samotná, tak ocelolitinové materiály. Formy z oceli disponují vysokou přesností a také životností. K výrobě rozpěrek a upínacích desek se používají především konstrukční oceli, které se volí pro jejich dobrou obrobiteľnosť. Není nutno dále ocel zušlechťovat. [18]

Pro výrobu forem se běžně používají následující nástrojové oceli:

**1.1730** – vhodná pro kolíky, pouzdra, základové desky, sloupky

**1.2080** – vhodná pro velké série, má dobrou odolnost proti opotřebení

**1.2312** – dobře obrobiteľná, nitridovatelná, vhodná pro výrobu tvarových desek formy

**1.2379** – vhodná pro velké série, má velkou odolnost proti opotřebení

**1.2842** – vhodná pro velké série, má velkou odolnost proti opotřebení

**Toolox 44** – vhodná pro výrobu tvarových desek pro menší a střední série, vyžaduje velmi ostré nástroje a tuhé stroje [30]

Formy z oceli jsou náročné na strojní vybavení a samotnou výrobu, což vede k vysoké výrobní ceně. Je možné je obrábět konvenčními metodami jako je soustružení, frézování, ale i metodami elektroerozivními. Výhodou ocelových forem je jejich životnost a nízké riziko poškození. [30]

### 4.2.2 Slitiny hliníku

Slitiny hliníku se vyznačují dobrou pevností za nízké měrné hmotnosti. Některé slitiny hliníků jsou, tedy co se týče měrné pevnosti charakteristiky, srovnatelné s ocelí. Slitiny mají zároveň dobrou odolnost proti korozi (pokud neobsahují Cu) a kyselým látkám. Sliti-

ny hliníku hůře odolávají alkalickým látkám. Další nevýhodou je nízká tvrdost, což vede ke snadnému poškození povrchu. Nevýhodou je také obtížné leštění slitin a horší třískové obrábění. Slitiny hliníku se nejčastěji vyskytují spolu s Cu, Mg, Si, Mn, Zn. [18]

Každý prvek ve slitinách hliníku způsobuje odlišné vlastnosti. Nejznámější slitinou je slitina mědi s hořčíkem, tato slitina se nazývá dural a má horší odolnost proti korozi. Časté jsou také slitiny hliníku a hořčíku, jenž oproti mědi zlepšuje odolnost proti korozi a zároveň zlepšuje pevnost. Podobné vlastnosti má i slitina hliníku a manganu či křemíku. Slitina hliníku a zinku zvyšuje pevnost, zhoršuje se ale houževnatost a také odolnost proti korozi. Slitina hliníku se železem má podobné vlastnosti jako slitina hliníku se zinkem, ale zlepšuje také tvárnost. [18]

Obchodní označení pro různé slitiny hliníku se nazývá dural. Pro výrobu forem se používají slitiny hliníku těchto tříd:

5083 – slitina hliníku vhodná na tvarové desky a tělesa forem pro malé série

5080R – vylepšené složení slitiny, které vychází z 5083

Certal – větší odolnost proti otěru, vhodný pro výrobu levnějších forem, má podobné vlastnosti jako obyčejná konstrukční ocel [30]

### 4.3 Povrchová úprava forem

Kovový povrch formy není tvořen samotným kovem, ale tenkou vrstvou jeho oxidu. Povrch kovu je vytvrzelá, neboli zakalená vrstva, na které se tenká vrstva oxidu nachází. Povrch kovových forem se opatřuje takovou vrstvou kovu, která má lepší vlastnosti. Především lepší odolnost vůči chemickému působení, odolnost proti mechanickému působení a také např. separační vlastnosti, lesk apod. [16]

#### 4.3.1 Chromování

Chromování je nejčastější povrchovou úpravou u gumárenských forem. Chromování způsobí odolnost proti oděru, korozi a vyšším teplotám. Výhodou je také dobrá separace, používá se proto u výrobků, u kterých je nutný kvalitní povrch. Formy ošetřené chromováním nejsou vhodné pro halogenové kaučuky, protože vytvořený oxid na povrchu formy propouští kyselinu chlorovodíkovou a fluorovodíkovou. [16]

### 4.3.2 Niklování

Potřebujeme-li povrch odolný proti kyselinám, je oproti chromování povrchu formy vhodnější právě niklování. Často se také využívá kombinace těchto ošetření. Poniklování povrchu formy slouží jako podklad pro nanesení pochromovaného povrchu, zvýší se tím odolnost proti korozi. Pokud bychom následně pochromování nepoužili, není tento způsob úpravy povrchu vhodný. Nikl má totiž velmi špatné separační vlastnosti v případě kontaktu s pryží. [16]

### 4.3.3 Pozlacování

Pozlacování je nejvhodnější způsob úpravy z hlediska účinnosti separace. Tato metoda se ovšem z ekonomických důvodů příliš nepoužívá. [16]

### 4.3.4 Laser

Laser patří mezi moderní úpravy povrchu forem. Laserové paprsky zahřejí povrch formy a vytvoří dokonalou kompaktní vrstvu. Takto upravený povrch formy je odolný vůči znečištění i korozi. [19]

### 4.3.5 PVD povlakování

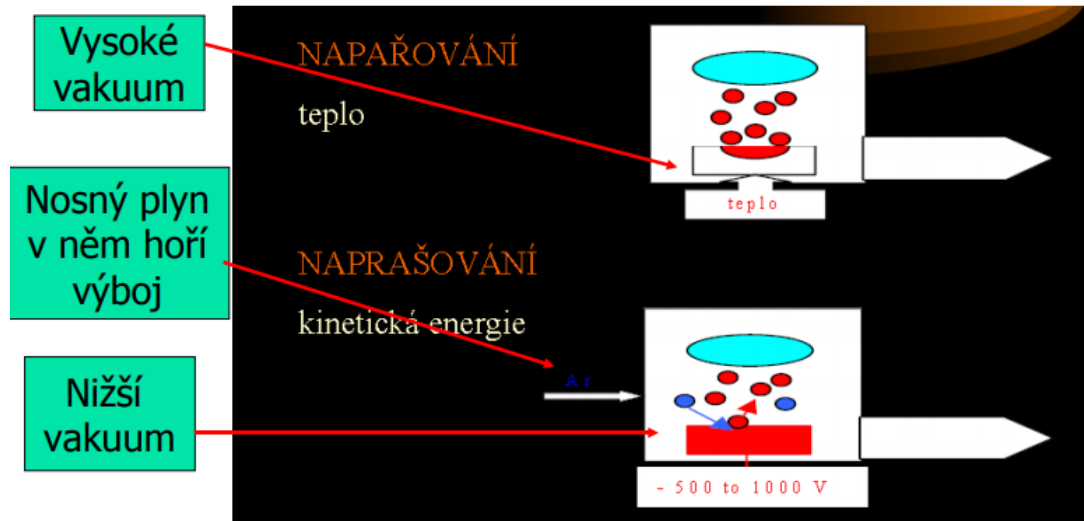
Povlakování povrchu úpravou PVD (Physical Vapour Deposition) zajišťuje velmi odolný povrch. Mezi další vlastnosti této úpravy patří vysoká tvrdost, odolnost proti otěru, korozi, kyselinám a vysoké teplotě. Tato úprava se využívá především ve výrobě hodinek, které mají touto úpravou ošetřeny povrch a nehrozí jejich poškrábání. Vrstva proniká přímo do původního materiálu, není na něm jen nanesena. Na původní materiál, kterým je nejčastěji ocel, se ve vakuové komoře pod vysokým tlakem nanese nový materiál. Materiály se dokonale spojí a nemůže se oloupat tak jako barva. Tlak ve vakuové komoře je v rozmezí 0,1 – 1 Pa. Do vakuové komory je vpuštěn plyn, např. argon nebo dusík. [4]

Proces povlakování PVD se děje mezi elektrodou a obrobkem. Elektroda vyrobená z kovu je jednou složkou pro vytvoření povlaku, plyn je druhou složkou. Materiál, který se odpařuje z elektrody je při výboji plynu ionizován. V průběhu plynutí iontů mezi elektrodami dochází k reakci s atomy plynu. Proces povlakování PVD probíhá za maximální teploty 550 °C. [31]

Zařízení, ve kterém se vytváří PVD povlak se skládá z:

- řídicí a ovládací jednotky

- vakuové komory (zde probíhá samotný proces povlakování)
- zásobníků na pracovní plyny
- napájecí jednotky
- systému vakuových vývěv [31]



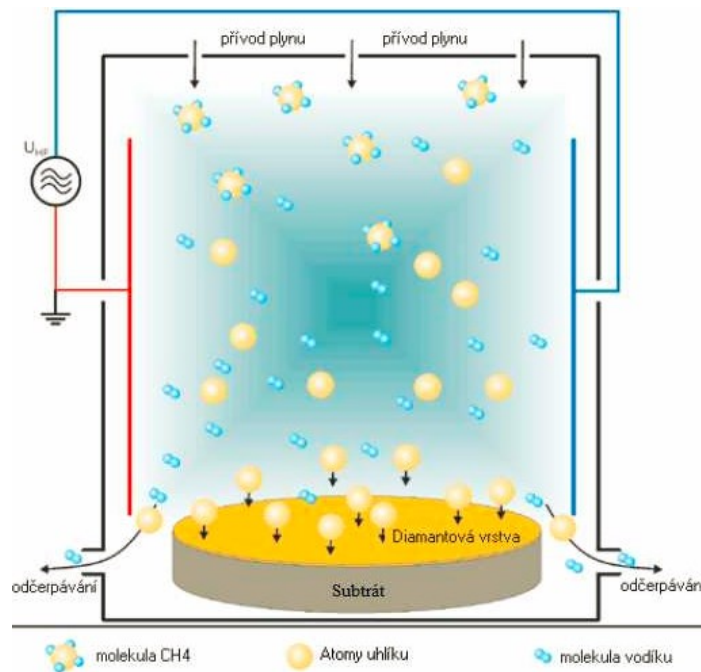
Obr.6. Základní druhy PVD povlakování [6]

#### 4.3.6 CVD povlakování

CVD (Chemical Vapour Deposition) je vysokoteplotní povlak zajišťující komplexní tepelné ošetření. Jedná se vůbec o první technologii povlakování, která započala na začátku 50. let. K této technologii byla potřeba teplota nad 1 000 °C, aby byla dosažena disociace plynů, což zajistí tvorbu tvrdého povlaku. Postupný vývoj a snaha snížení teploty povlakování pod 700 °C vedla ke vzniku středně teplotních technologií povlakování (MT CVD – Medium Temperature, PA-CVD – Plasma Assisted). Tyto technologie zvyšují houževnatost a snižují intenzitu difuzních procesů. [6]

CVD povlakování se používá především pro náročné aplikace při práci za studena. Proces povlakování CVD probíhá za teploty 800-1050 °C. Zařízení, ve kterém se vytváří CVD povlak se skládá z:

- řídicí a ovládací jednotky
- mísící komory
- reaktivní komory
- zařízení pro ohřívání obrobků
- systému vakuových vývěv
- zásobníků na pracovní plyny [32]



Obr. 7. Průběh CVD povlakování [27]

#### 4.3.7 Prototyping – spékání prášku

Jedná se o povrchovou úpravu, při které je obyčejná ocel opatřena vrstvou prášku 3D tiskem. Prášek je napálen laserem na ocelový povrch. 3D tisk používá pro výrobu digitální data a umožňuje vytvořit i složité tvary. Přestože jsou investiční náklady poměrně vysoké, zavedlo se využívání této technologie v automobilovém průmyslu (karosérie, nosné díly, díly vnitřního prostoru atd.), leteckém průmyslu (výroba odlehčených součástí, lopatky turbín motorů atd.) a lékařském průmyslu (zubní komponenty, kostní náhrady, nástroje atd.). Nejčastěji používané kovové prášky jsou slitiny hliníku a titanu, drahé kovy, nástrojové a korozivzdorné oceli atd. 3D tisk je ekologicky šetrný, na rozdíl od klasických metod se u 3D tisku využije až o 98% méně materiálu. Další výhodou je efektivnější využití času, výroba složitých geometrických tvarů, vysoká pevnost a kvalita tištěných součástí. [24]

Aplikace se využívá i ve výrobě forem pro vytvoření chladících kanálků, které jsou navrženy tak, že přesně kopírují tvar výlisku. To zajišťuje delší životnost formy, méně vad výlisků a následná větší produktivita. [24]



#### 4.4 Životnost forem

Na životnost vulkanizačních forem má vliv mnoho faktorů. Mezi nejvýznamnější patří použitý materiál pro výrobu formy, konstrukce formy, vulkanizační činidla, čištění forem, skladování forem, manipulace, konzervování, opravy forem a další. Životnost formy se dělí do tří skupin. [20]

- a) Ekonomická životnost – znamená postupné odepisování formy až do její nulové hodnoty. [20]
- b) Morální životnost – vyznačuje se inovačními cykly pláště a je pro každou skupinu výrobků rozdílná. Méně exponované pláště, např. diagonální znamenají formy staré i více než 15 let. Oproti tomu pro moderní radiální pláště pro osobní automobily se obměna forem blíží hranici 4 let. [20]
- c) Technická životnost – tento parametr je pro hodnocení životnosti nejpoužívanější a vyjadřuje se počtem zálisů na jednu formu. Počítačové řízení výroby umožňuje přesnou evidenci. [20]

## 5 SEPARAČNÍ PROSTŘEDKY

Velká část zpracovatelských technologií se setkává s problémem lepení materiálu na tvarovací a tvářecí součásti zpracovatelských zařízení. Mezi technologie, které se s tímto problémem potýkají, patří lisování, vstřikování nebo tepelné svařování. Pro snadné uvolnění výrobků z forem se volí jejich vhodná konstrukce, tzn. zkosené úhly, průchody atd. Dále je to dokonale lesklý a čistý povrch tvářecího zařízení. V neposlední řadě je to i volba vhodného polymeru s malým koeficientem tření. I přes dodržování těchto pravidel, může ke kontaminaci forem dojít. Proto se používají separační prostředky, které také někdy přispívají ke zvýšení produktivity stroje. [12]

Separací prostředky slouží k usnadnění vyjmutí výrobků z formy a zároveň zabraňují zničení formy. Používají se vnější maziva, silikonové oleje nebo polytetrafluorethylenové disperze ve formě nátěru či nástřiku tvářecích ploch. Mají dobrou tepelnou stabilitu, ale může se stát, že barva nebo kovová vrstva, kterou chceme na výrobek nanést, špatně drží. Proto se volí pro snadné vyjmutí z formy i separační folie z celofánu nebo polyvinylalkoholu. [12]

V případě použití termoplastů se jako separační činidlo osvědčilo použití vosků, mýdel nebo silikonových separačních nátěrů. Nevýhodou vosků je jejich snadné setření tekoucím plastem. Chemická struktura vosků brání dostatečnému přilnutí na povrchu lisovací formy. Velmi dobré separační vlastnosti mají silikonové nátěry, a to především polydimethylsiloxan, který díky svým polárním skupinám způsobí silné přilnutí k povrchu formy. Polydimethylsiloxanové separační činidla mají tepelnou stabilitu kolem 300 °C a ani po tepelném rozkladu nevzniká karbonový film. Silikonové separační nátěry se nanášejí na formy či jiné tvářecí součásti nástřikováním. [12]

Mýdlový roztok se připravuje z práškového nebo mazlavého mýdla s koncentrací 3 až 10 %. Nevýhodou tohoto roztoku je, že znečišťuje lisovací formy a ovlivňuje vulkanizaci. Z tohoto důvodu se již příliš nepoužívá. [12]

Silikonový olej patří k nejvhodnějším separačním prostředkům. Velmi ulehčuje vyjmutí výrobků z formy a také jim dodává hladký a lesklý povrch. Formy neznečišťuje a jeden nátěr vydrží i několik lisovacích cyklů. Nevýhodou tohoto separačního prostředku je jeho vysoká cena. [12]

Vodní emulze silikonového oleje o koncentraci 1,5-3 % má podobné vlastnosti jako silikonový olej, je ale levnější. Uplatňuje se hlavně při lisování pneumatik, dopravních pásů apod. [12]

Během druhé světové války se na separaci používaly kartonované vosky, které byly tepelně stálé, ale zanechávaly velmi znečištěné formy, které se proto musely neustále čistit. [12]

Mezi separační prostředky se řadí také práškovadla, která zabraňují slepování kaučuků nebo plastů při jejich manipulaci a skladování. Některá práškovadla brání také přilepování směsi na formu nebo na jádro při vulkanizaci. Některá brání slepování pouze dočasně a při vulkanizaci se ztrácejí (např. křída nebo stearan zinečnatý). Práškovadla usnadňují unikání vzduchu z prostoru mezi směsí a formou při zalisování. Např. stearan zinečnatý brání slepení směsi jen za studena. Mezi nejpoužívanější práškovadla patří křída, mastek, stearan zinečnatý, škrob. [13]

Křída je mletý vápenec  $\text{CaCO}_3$  a patří k nejlevnějším a nejpoužívanějším poprašovadlům. Při manipulaci s materiálovými dílci zabraňuje jejich slepování. Nejčastěji se používá k zaprašování zamíchaných směsí při ukládání. Během vulkanizace se ztrácí, a proto nezanedbává na povrchu žádné stopy. [13]

Mastek je hydrát křemičitanu hořečnatého. Nazývá se také klouzek nebo talek. Má bílou až šedou barvu a je na dotek mastný. Někdy obsahuje příměs slídy. Používá se ve formě prášku, pasty či disperze. Je velmi levný a patří k nejčastěji používaným poprašovadlům v gumárenském průmyslu. Zabraňuje slepováním směsi v surovém stavu i při vulkanizaci. Při vulkanizaci se do výrobků nevstřebává, na povrchu zůstane šedý nádech. Vyskytuje se v mnoha kvalitách a je potřeba proto dbát na pečlivost při jeho výběru. Není možné ho použít v případech, kde je požadována velmi dobrá soudržnost po vulkanizaci. Mastek se používá také jako plnivo, a to především pro elektroizolační směsi. [13]

Slída je křemičitan hlinitodraselný a používá se ve formě jemných šupinek, které jsou různého zrnění a různých odstínů. Používá se na zaprašování předlisků při vulkanizaci nebo se přidává do antiadhezivní suspenze na postřikování vnitřních částí pláště pneumatiky. Po vulkanizaci dodává výrobkům stříbrolesklý povrch. [13]

Stearan zinečnatý je bílý mastný prášek. Jeho funkcí je zabránit slepování dílců při manipulaci s nimi a napomáhat dobrému spojení dílců při vulkanizaci. Při vulkanizaci se vstřebává do výlisků a dodává jim lesklý povrch. Stearan zinečnatý je drahý, a proto se používá

jen do náročnějších výrobků. Používá se tam, kde se po vulkanizaci požaduje dobrá soudržnost vrstev a spojů. [13]

Škrob je jemný bílý prášek, který se používá na poprašování natíraných tkanin a tenkých folií. Používá se škrob bramborový, rýžový, pšeničný a další. Výrobkům dodává sametový vzhled. [13]

Můžeme se setkat s případem, kdy není možné skladované pryžové folie nebo pogumovaný textil zaprašovat ani opatřit nátěrem emulze. Patří sem např. spojovací desky, oboustranně pogumovaný textil, pogumované nádoby, vložky dopravních pásů a další. Aby se tyto materiály neslepovaly, používají se zábalové materiály. Jako zábalový materiál se nejčastěji používají bavlněné tkaniny, které jsou většinou impregnované roztokem na bázi mýdla nebo syntetických pryskyřic. [13]

Používají se i folie z plastických hmot, jako například polyetylenu a polyamidu nebo ze speciálního textilu. Je možné použít i folie z některých druhů papíru, který je opatřen nánosem polyetylenu. Folie z plastických hmot je možné po použití znovu zpracovat, při použití se téměř nelepí. Pryžové polotovary je možné do folií balit až po vychladnutí. Dalším zábalovým materiálem jsou bandáže, které se využívají především při vulkanizaci hadic, válců, kol atd. Bandáže dodávají vulkanizovaným výrobkům tlak a chrání je na počátku vulkanizace před plastickou deformací. [13]

Separáčnické prostředky zabraňují přilnutí laku k pryžovým výrobkům, proto se musí separát z výrobků před lakováním odstranit. Separáčnické prostředky na bázi vosků a olejů mohou být odstraněny ručně za pomoci organického ředidla a brusné houbičky. K odstranění separátoru z pryží se využije zahřátí, čímž se separát „vypotí“. Čištění brusnou houbičkou a čisticím přípravkem je potřeba několikrát zopakovat, jedno čištění není ve většině případů dostatečné. Díly, které jsou strukturované, jsou na vyčištění náročnější. Pro odstranění se musí použít kartáček nebo vysokotlaký čistič. Po vyčištění se musí čisticí přípravek odpařit. Pokud by se čisticí prostředek dostatečně neodpařilo, značně by se snížila přilnavost laku nebo by mohlo dojít ke tvorbě puchýřků. Musí se dbát i na výběr vhodného čisticího prostředku. Některé prostředky mohou být příliš agresivní a mohly by pryž poškodit. Může dojít ke tvorbě trhlinek nebo dokonce k úplnému zničení. [17]

Dnes je možné vybrat z širokého sortimentu separáčnických prostředků, které jsou na bázi silikonu, nebo bez silikonové. Na výběr jsou i separátory, které je přímo vhodné použít i

při následném lakování, potiskování nebo polepování výrobků. Separátory se dodávají ve spreji nebo v litrových baleních. [17]

Separátory se nanášejí nástřikem, nátěrem nebo potřením bavlněným hadříkem. Povrch formy musí být před nanesením separátoru čistý. Některé separátory plní zároveň i mazací funkci. [17]

Tyto zmíněné separační prostředky se řadí mezi vnější separační prostředky. Existují i separační prostředky vnitřní, které jsou přímo součástí kaučukové směsi, jedná se o tzv. maziva. [17]

Maziva zabraňují lepivosti kaučukové směsi ve formě. Jejich nevýhodou však je, že zhoršují adhezi a vlastnosti výrobku. Původně maziva sloužila k usnadnění zpracování pro těžko zpracovatelné plasty. Maziva můžeme rozdělit podle chemického složení na mastné kyseliny a jejich deriváty a na pryskyřičné produkty. [17]

## 6 KONTAMINACE A ČIŠTĚNÍ FOREM

Znečištění forem je běžný jev, který se při lisování, přetlačování či vstřikování vyskytuje. Polymer se po přenesení do horké formy zesílí vulkanizací. Následuje vytvrzení a poté odstranění formy. Tenké usazeniny materiálu však můžou zůstat na povrchu formy a postupně se zvětšovat s opakovanými cykly výroby. Jak velká kontaminace formy vzniká závisí na mnoha faktorech, mezi které patří chemické složení kaučuku, složení kaučukové směsi, povrchu formy a na zvoleném způsobu lisování, přetlačování či vstřikování. Přítomnost vrstvy kaučuku na formě má značné ekonomické důsledky. Zabraňuje totiž přenosu tepla z formy na polymer, je zdrojem problémů s uvolňováním forem a může vytvářet závady na tvarovacím povrchu. Navíc znečištění formy vede k plýtvání materiálem, vyžaduje pravidelné čištění formy a obecně vyžaduje použití povrchových úprav forem, což přidává výrobní náklady. Nejběžnější dočasné řešení používané k omezení znečištění formy je sprejování formy vhodným separátorem, a to v pravidelných intervalech. [15]

Povrch formy má na kontaminaci značný vliv. Povrchová vrstva kovové formy není tvořena samotným kovem, ale tenkou vrstvou oxidu kovu. Povrch kovové formy je potřeba opatřovat vrstvou takového kovu, který lépe odolává chemickému působení, mechanickému opotřebení a dále dodává lisovanému výrobku požadovanou kvalitu povrchu. Drsnost formy je také velmi důležitým aspektem. Drsný povrch formy zhoršuje separační vlastnosti formy a tím vede ke zvýšení kontaminace. [16]

Z hlediska konstrukce se nejčastěji forma znečišťuje v místě soutoku proudů směsi, v rozích a v rozšířeném profilu formy a také v místech, smyku taveniny. [16]

Přestože využití těchto typů výroby je velmi rozšířené, problematika kontaminace není dosud zcela objasněna, a i přes použití separátorů ke kontaminaci forem dochází. Formy se proto musí pravidelně čistit. Čištění je možné mechanicky, chemicky nebo fyzikálně. Nejefektivnější a zároveň nejpoužívanější je čištění chemické. Chemické čištění rozpouští usazeniny pomocí speciálních čistících roztoků. Pokud jsou formy mimo provoz nebo uloženy ve skladu, musí se konzervovat vazelínou nebo olejem. [16]

Mechanické čištění forem se provádí pomocí ocelovým kartáčem, otryskáváním, oškrabáváním nástrojem apod. Čištění tryskáním je velmi rozšířené, tato metoda se nazývá také pískování. K tryskání se používá pevných částic jako ocelových či litinových granulátů, skleněných kuliček nebo dokonce ořechových skořápek. Můžeme se také setkat

s tryskáním suchým ledem, což znamená, že materiálem pro tryskání jsou částičky suchého ledu. [16]

K chemickému čištění forem se používají činidla na organické i anorganické bázi. Nevýhodou této metody čištění je nutnost demontování formy, aby bylo zajištěno, že se činidlo dostane do všech částí formy. Další nevýhodou je většinou časová náročnost této metody čištění. Nečistoty musí být určitou dobu činidlu vystaveny, činidlo je neodstraní hned. Poté co jsou nečistoty částečně rozpuštěny působením činidla, přichází na řadu mechanické čištění. Jako chemická činidla se užívá kyselina chlorovodíková, kyselina oxalová, kyselina sulfamová nebo činidla na bázi zásad jako je hydroxid sodný, uhličitán sodný, metakřemičitan sodný a další. [16]

Další možností čištění forem je působením tepla. Před každým čištěním se forma zahřívá, což vede k snadnějšímu odstraňování nečistot. Je možné ale tepelné čištění využít přímo např. spalováním. Zbytky nečistot se spalují ohříváním formy plamenem acetylenu. Může se využít také indukční ohřev. [16]

K čištění forem je možné využít i elektrolýzu, to znamená, že formu umístíme do alkalické lázně. Plyn tvořící se mezi nánosem materiálu a povrchem formy jej odlupuje. [16]

Šetrnou metodou čištění je ultrazvuk, který spolu s chemickým roztokem a zvukových vln s velkou frekvencí vytváří malé bublinky, které oddělují nános od povrchu formy. [16]

## 7 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části je popsáno získávání, zpracování, rozdělení a složení kaučuku. Následně je popsáno složení kaučukové směsi a jednotlivé části jejího zpracování. Dále je popsán způsob lisování kaučukové směsi. Další část práce je věnována vulkanizačním formám. Jsou zmíněny vhodné materiály pro výrobu dutin forem a povrchové úpravy dutin forem. Následuje přehled separačních prostředků a poslední část je věnována kontaminaci a čištění forem.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zjistit vliv použití separačních vrstev na ulpívání zbytků kaučukové směsi na povrchu dutin forem.

- Volba materiálu zkušebních destiček.
- Volba separačních prostředků.
- Lisování kaučukové směsi.
- Zjišťování a analýza kontaminace na zkušebních vzorcích.

## 9 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

### 9.1 Použité zkušební vzorky

Bylo použito celkem 10 vzorků z oceli a slitin hliníku s různou povrchovou úpravou. Kromě dvou ocelových vzorků (vzorek č. 9 a 10) byly všechny vzorky nové. Staré vzorky byly vyčištěny dvěma různými čistícími prostředky – A, B, aby bylo možné porovnat nové vzorky se starými vyčištěnými vzorky. Čistící prostředky A, B jsou v současné době ve vývoji.

#### 9.1.1 Ocel 1.2714

Z oceli 1.2714 je vyroben vzorek č. 9. Jedná se o typ oceli s velkou houževnatostí, která je kalitelná v oleji a na vzduchu. Obvykle se používá na zápustky s vysokou trvanlivostí pro kování a lisování ocelí či neželezných kovů. Vyrábí se z ní nůžky pro stříhání silných materiálů, nástroje pro ohýbání, formy pro lisování plastických hmot. Tento typ oceli má dobrou odolnost proti opotřebení a tepelným či opakovaným rázům. [21]

Tab. 1. Chemické složení oceli 1.2714 [29]

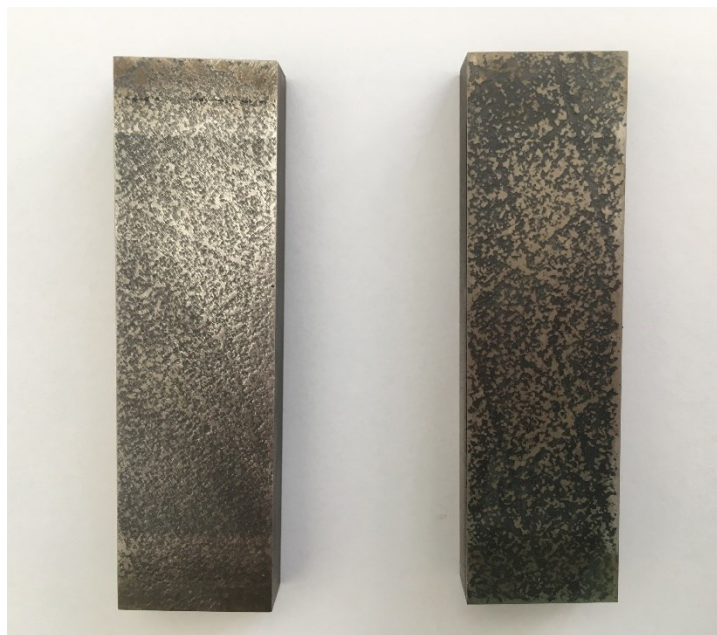
Chemické složení oceli 1.2714 v %					
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0,50- 0,60	0,30- 0,60	0,50- 0,90	0,90- 1,30	0,30- 0,50	1,50- 1,90

#### 9.1.2 Ocel 1.2080

Z oceli 1.2080 je vyroben vzorek č. 10. Jedná se o vysoce legovanou chromovou ocel, která je kalitelná v oleji a na vzduchu. Má dobrou řezivost, vysokou pevnost v tlaku, odolnost proti opotřebení kovovými i minerálními látkami, nízkou houževnatost v příčném směru, stálé rozměry při tepelném zpracování. Tato ocel je těžko brousí, obtížně tváří za tepla a je citlivá na rychlý ohřev. Používá se pro střížné, lisovací či řezné nástroje, formy pro lisování keramických materiálů, práškových hmot a plastů. [22]

Tab. 2. Chemické složení oceli 1.2080 [29]

Chemické složení oceli 1.2080 v %				
C	Si	Mn	Cr	Ni max
1,80-2,05	0,20-0,45	0,20-0,45	11,00-12,50	0,5



Obr. 8. Použité ocelové destičky

### 9.1.3 Slitiny hliníku

Ze slitin hliníku jsou vyrobeny vzorky č. 1, 2, 3, 6, 7, 8. Vzorky č. 6, 7, 8 jsou navíc opatřeny vrstvou PVD, která se v praxi používá jako separační vrstva. Hliník je nestálý a kujný kov, který je dobře elektricky vodivý a dobře rozpustný ve zředěných kyselinách. Nejznámější slitinou hliníku je slitina mědi s hořčíkem, která se nazývá dural. Dural má ve srovnání s čistým hliníkem až 5x větší pevnost v tahu a je tvrdší, přitom je zachována nízká hmotnost. Vlastnosti jednotlivých slitin jsou podle složení popsány v kapitole 4.2., podkapitola 4.2.2.

Pro svoji vysokou chemickou odolnost a nízkou hmotnost se hliník a jeho slitiny používají ve všech možných oblastech. [23]

Na vzorky č. 1-8 byla použita slitina hliníku AlMg3Si1. Tato slitina má nízký obsah přísad, obsah zpravidla nepřekračuje 1,5%. Je možné tuto slitinu vytvářet tepelně a dosáhnout

nout mez pevnosti v tahu až na 350 MPa. Slitina je velmi dobře tvárná i svařitelná. Její využití je především v leteckém a stavebním průmyslu. Chemické složení slitiny hliníku AlMg3Si1 udává tabulka č. 3:

Tab. 3. Chemické složení AlMg3Si1 v % [35]

Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn
0,10	0,50	2,70- 3,40	0,20- 0,40	max 0,05	0,90- 1,20	0,05- 0,20	max 0,10



Obr. 9. Použité destičky ze slitin hliníku s povrchovou vrstvou PVD

#### 9.1.4 Separální prostředek VG 262 AEROSOL

Na vzorky č. 1, 2, 3 byl použit separátor VG 262 AEROSOL – Suchý PTFE Kluzný lak. Je to rychleschnoucí a silně přílnavý separátor. Má dlouhou životnost a chrání materiál proti přilnutí. Tento separátor neobsahuje silikon a nejčastěji se používá v potravinářském průmyslu, kde je vyžadována absolutní čistota. Zaručuje 100% využití vlastností při teplotách -180 °C až +260 °C. [25]

Před použitím se doporučuje odstranit všechny známky volné koroze či oxidace obroušením pomocí brusného papíru nebo drátěnky. Výrobce deklaruje nejlepší dosažení výsledků, pokud se povrch před použitím odmastí přípravky typu MV 201 aerosol, Biosane N32, Biosane N 57R. Sprej se po důsledném protřepání nanáší ze vzdálenosti cca 10 cm od vrchu. [25]

Po aplikaci VG 262 AEROSOL bylo nutné vzorky vypálit při teplotě 240 °C po dobu 20 minut.



Obr. 10. Separální prostředek VG 262 AEROSOL

### 9.1.5 Povrchová úprava PVD

Touto povrchovou úpravou jsou ošetřeny vzorky č. 6, 7, 8. Tato povrchová úprava je již popsána v kapitole 4.3., podkapitola 4.3.5.

### 9.1.6 Prototyping – spékání prášku

Touto povrchovou úpravou jsou opatřeny vzorky č. 4 a 5. Použitou základní ocelí, která je opatřena povrchovou úpravou vytvořenou prototypingem, je ocel třídy 1.2709. Chemické složení spékaného prášku uvádí tabulka č. 3:

Tab. 4. Chemické složení spékaného prášku

Prvek	%
C	≤0,03
Si	≤0,10
Mn	≤0,15
Cr	≤0,25

### 9.1.7 Drsnosti povrchu vzorků

Definice drsnosti dle ČSN EN ISO 4287:

*Drsnost je souhrn nerovnosti povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. [26]*

Výše uvedená definice označuje mikronerovnosti povrchu. Na povrchu můžeme najít i makronerovnosti, což je vlnitost povrchu a je nejčastěji způsobena vibrační soustavou. [26]

Drsnosti všech zkušebních vzorků byly změřeny na drsnoměru Mitutoyo SJ 401 před začátkem lisování a po dokončení lisování. Naměřené drsnosti před lisování jsou zaznamenány v tabulce č. 4. [26]

Tab. 5. Naměřené drsnosti před lisováním

Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4	Vzorek č. 5
Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
0,682	0,580	0,726	1,775	2,092
0,555	0,609	0,725	1,848	2,823
0,558	0,654	0,747	1,488	2,730
Vzorek č. 6	Vzorek č. 7	Vzorek č. 8	Vzorek č. 9	Vzorek č. 10
Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
0,906	1,606	1,066	0,905	1,030
0,928	1,509	1,212	0,667	0,968
0,895	1,358	1,472	0,745	1,179

Tab. 6. Naměřené drsnosti po lisování

Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4	Vzorek č. 5
Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
0,554	0,629	0,513	1,539	2,802
0,504	0,629	0,745	1,473	1,944
0,572	0,628	0,538	1,809	2,071
Vzorek č. 6	Vzorek č. 7	Vzorek č. 8	Vzorek č. 9	Vzorek č. 10
Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
1,390	0,831	1,008	0,933	0,778
1,027	0,767	1,143	0,722	1,066
0,913	0,791	1,066	0,790	1,015

Legenda k tabulce č. 5 a č. 6

Vzorek č. 1 - hliníková destička bez povrchové úpravy

Vzorek č. 2 - hliníková destička bez povrchové úpravy

Vzorek č. 3 - hliníková destička opatřena separační vrstvou VG 262 AEROSOL

Vzorek č. 4 - ocelová destička Ra 6 s povrchovou úpravou prototyping

Vzorek č. 5 - ocelová destička Ra 3,1 s povrchovou úpravou prototyping

Vzorek č. 6 - hliníková destička s povrchovou úpravou PVD

Vzorek č. 7 - hliníková destička s povrchovou úpravou PVD

Vzorek č. 8 - hliníková destička s povrchovou úpravou PVD a separačním prostředkem VG 262 AEROSOL

Vzorek č. 9 - ocelová destička z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL

Vzorek č. 10 - ocelová destička z oceli 1.2080 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL



Obr. 11 Drsnoměr Mitutoyo SJ 401 [28]



## 9.2 Lisování a vulkanizace kaučukové směsi

### 9.2.1 Kaučuková směs

Použitou kaučukovou směsí pro lisování byla běhounová směs. Konkrétní složení směsí výrobci neuvádí, jedná se o výrobní tajemství. Obecné složení použité směsi je následující:

- Roztokový SBR olejovaný (+37 dílů oleje)
- Saze 110 dsk
- Olej TDAE 50 dsk
- Vulkanizační systém: CBS + síra, poměr 1:1

Fyzikálně mechanické hodnoty udává tabulka č. 6:

Tab. 7. Fyzikálně mechanické hodnoty kaučukové směsi

Zkouška	Hodnota
Optimum vulkanizace	30/150 min/°C
Pevnost v tahu	10* MPa
Tažnost	650* %
Tvrдость	50* ShA
Hustota	1 150* kg/m <sup>3</sup>

\*střední hodnota

### 9.2.2 Vulkanizace

Kaučuková směs se před vulkanizací nesmí znečistit, došlo by k jejímu znehodnocení. Proto byly při práci s kaučukovými pláty používány bavlněné rukavice. Nálož pro vulkanizaci byla nastříhána do tvaru výsledného výrobku a navážena. Hotový výrobek vážil 41 g, nálož by měla mít o 5-10 % větší hmotnost.

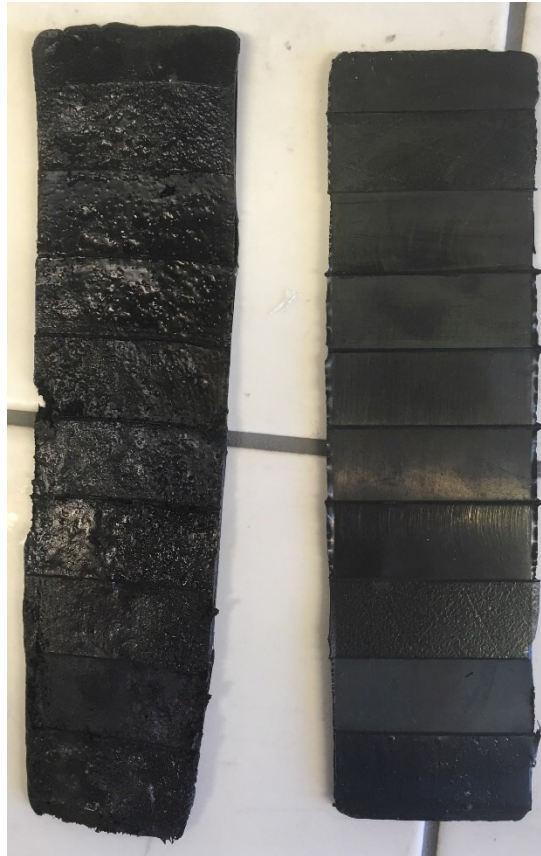


Obr. 12. Připravená navážená nálož

Lis s formou byl nahřátý na požadovanou teplotu - 170 °C. Doba vulkanizace byla stanovena na 7 minut. Pokud by nebyla dodržena teplota formy nebo čas lisování, kaučuková směs by se nedovulkanizovala.



Obr. 13. Vylisovaný výrobek



Obr. 14. Vadný, špatně z vulkanizovaný výrobek vlevo, správně z vulkanizovaný výrobek vpravo

### 9.2.3 Laboratorní vulkanizační lis

Pro lisování byl použit ruční laboratorní vulkanizační lis, který se nachází v laboratoři UVI FT UTB. Technické údaje lisu udává tabulka č. 7.

Tab. 8. Technické údaje vulkanizačního lisu

Laboratorní vulkanizační lis Technické údaje	
Rozměry desek	250 x 250 mm
Příkon	2 400 W
Teplota max.	200 °C
Svírací síla	5 t



Obr. 15. Laboratorní vulkanizační lis

#### 9.2.4 Lisovací forma

Pro lisování byla použita lisovací forma, která je majetkem UVI FT UTB a byla vyrobena v rámci jiné absolventské práce.



Obr. 16. Lisovací forma s destičkami

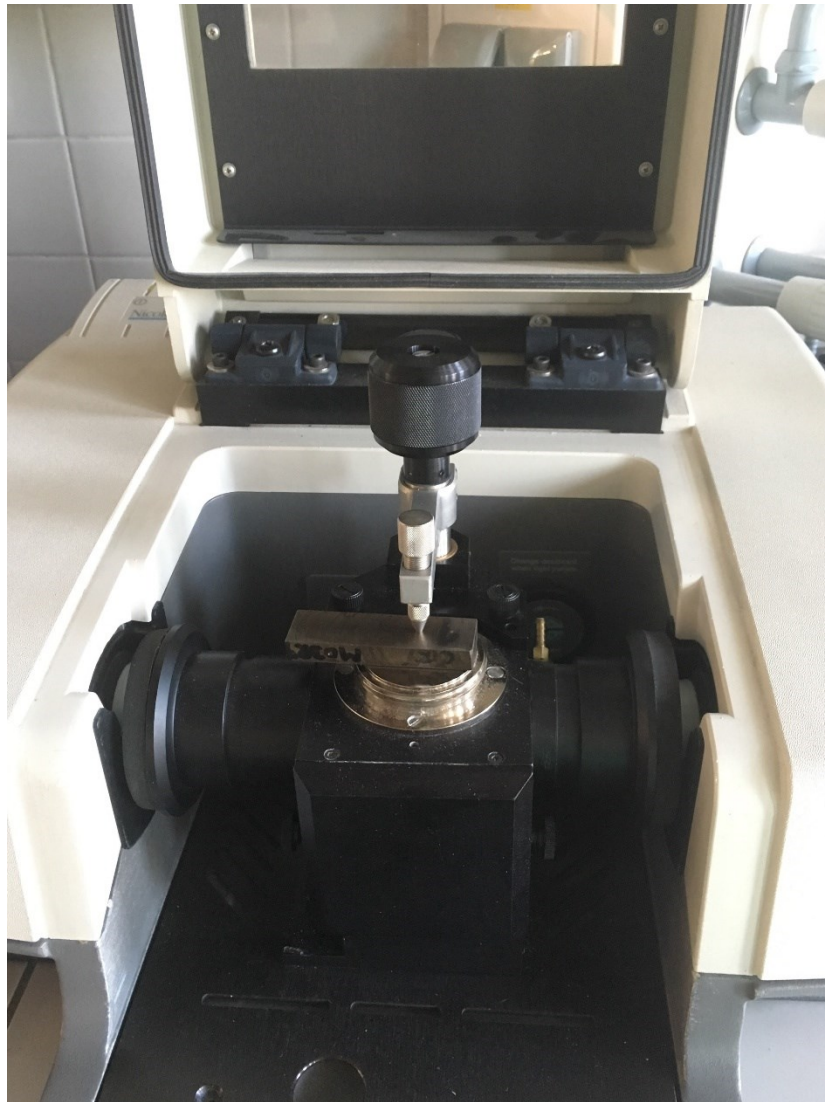
## 9.3 Analýza výsledků

### 9.3.1 Nicolet AVATAR 320 FTIR

K analýze použitých vzorků byla použita metoda infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací. Jedná se o nedestruktivní analytickou metodu, při které nejsou zkoumané vzorky nijak poškozeny. Analýzou jsou získány hodnoty vibračních energií, které souvisejí s chemickou vazbou a molekulovou strukturou. Infračervená spektroskopie je založena na interakci infračerveného záření se zkoumaným vzorkem. V případě, že zkoumaný vzorek pohltí foton, jedná se o absorpční infračervenou spektroskopii. V případě, že dojde k vyzáření fotonu, jedná se o emisní infračervenou spektroskopii. Furierova transformace je matematická metoda integrální transformace, která převádí časové signály do frekvenční oblasti. [33]

Destičky byly po zhotovení prvních 75 zálišech změřeny na jednopaprskovém FTIR spektrometru, následně byly změřeny po konečných 150 zálišech. Nejprve se změřilo spektrum pozadí bez vzorku a poté spektrum jednotlivých vzorků. Po každém vzorku se musí spektrometr očistit alkoholem, aby byl měřící ATR krystal dokonale čistý. Přístroj automaticky

spočítá spektrum vzorku a zobrazí jej na monitoru připojeného počítače. Příklad se ovládá přes připojený počítač softwarem OMNIC.



Obr. 17. Spektrometr Nicolet AVATAR 320 FTIR s měřeným vzorkem

### 9.3.2 Mikroskop ProScope HR

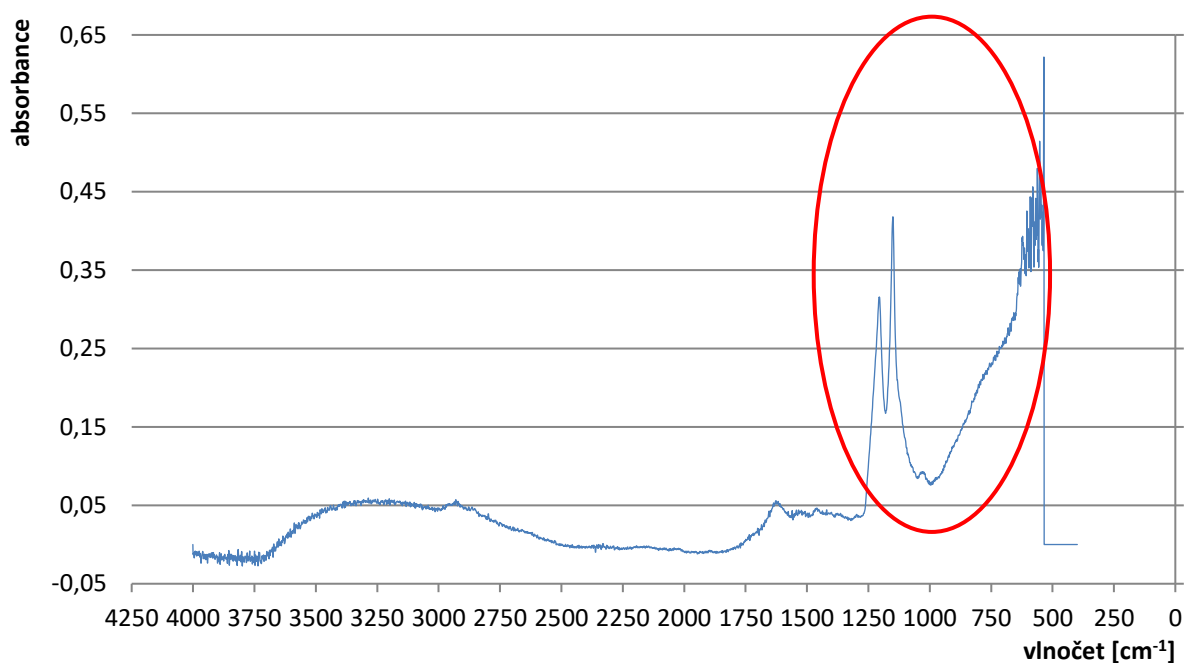
Po vylisování 150 vzorků byl povrch všech destiček vyfocen na mikroskopu ProScope HR, vyfocené destičky jsou zvětšeny 30x.



Obr. 18. Mikroskop ProScope HR

### 9.3.3 FTIR analýza separačního prostředku VG 262 AEROSOL na bázi PTFE

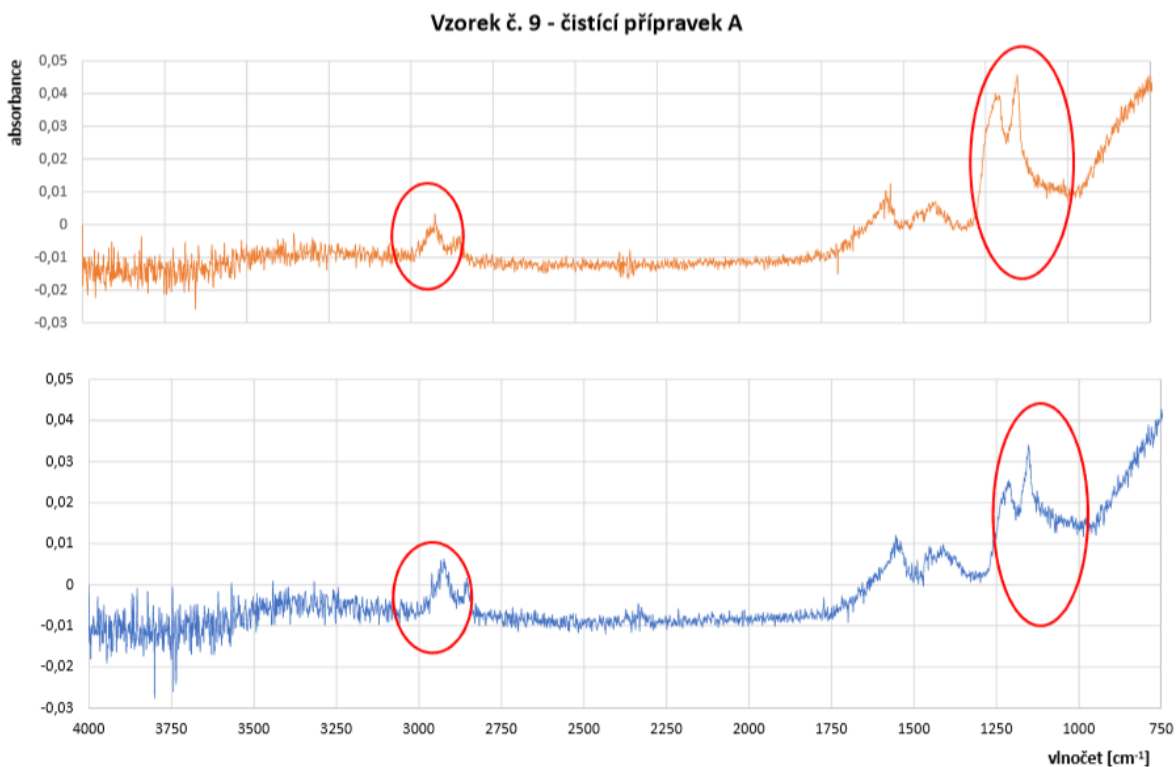
Spektrum použitého separačního prostředku je uvedeno v obrázku č. 19.



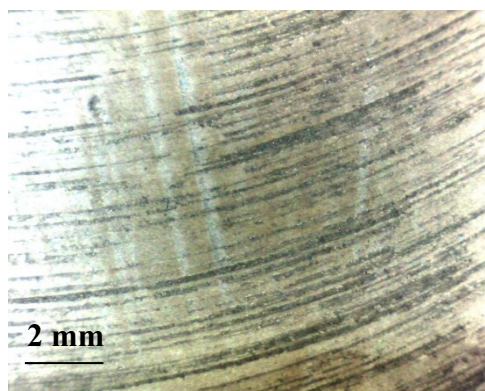
Obr. 19. Spektrum separačního prostředku VG 262 AEROSOL

### 9.3.4 FTIR analýza vzorků

Pro ukázkou analýzy jsou vybrány jen některé vzorky. U některých vzorků se při FTIR analýze ukázaly téměř stejná spektra. Všechny zkoumané vzorky jsou uvedeny v Příloze 1 na přiloženém CD.

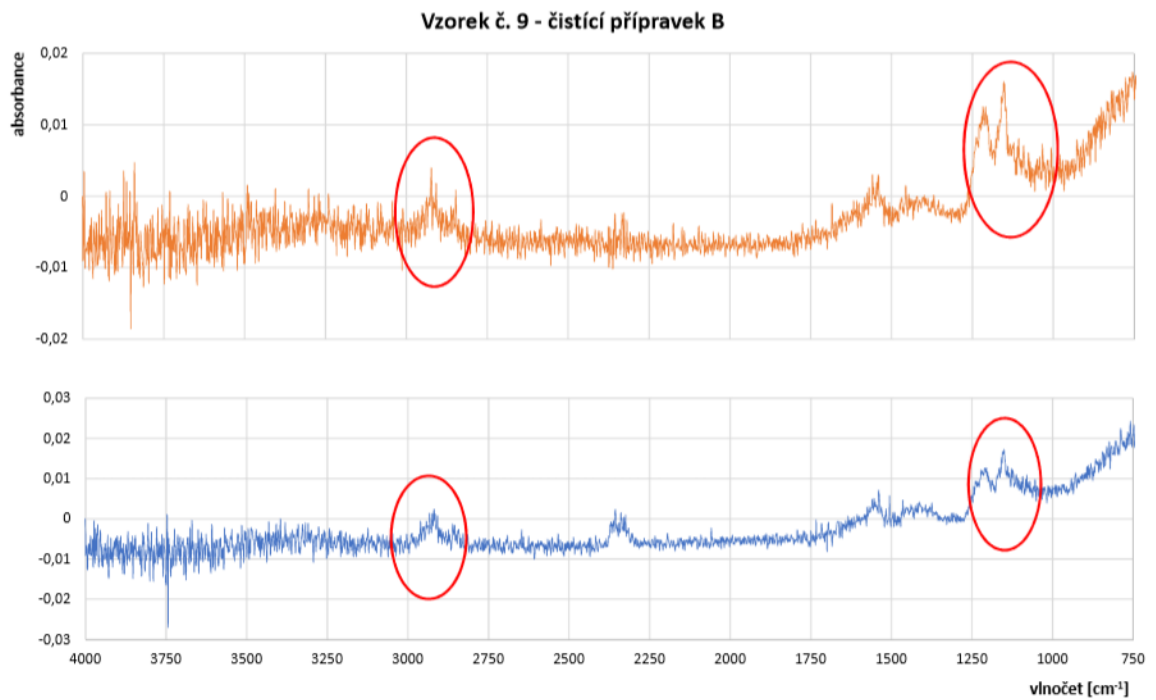


Obr. 20. Spektrum vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem A (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)

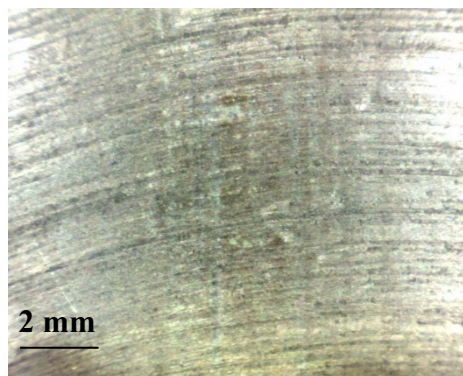


Obr. 21. Fotografie vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem A, zvětšení 30x



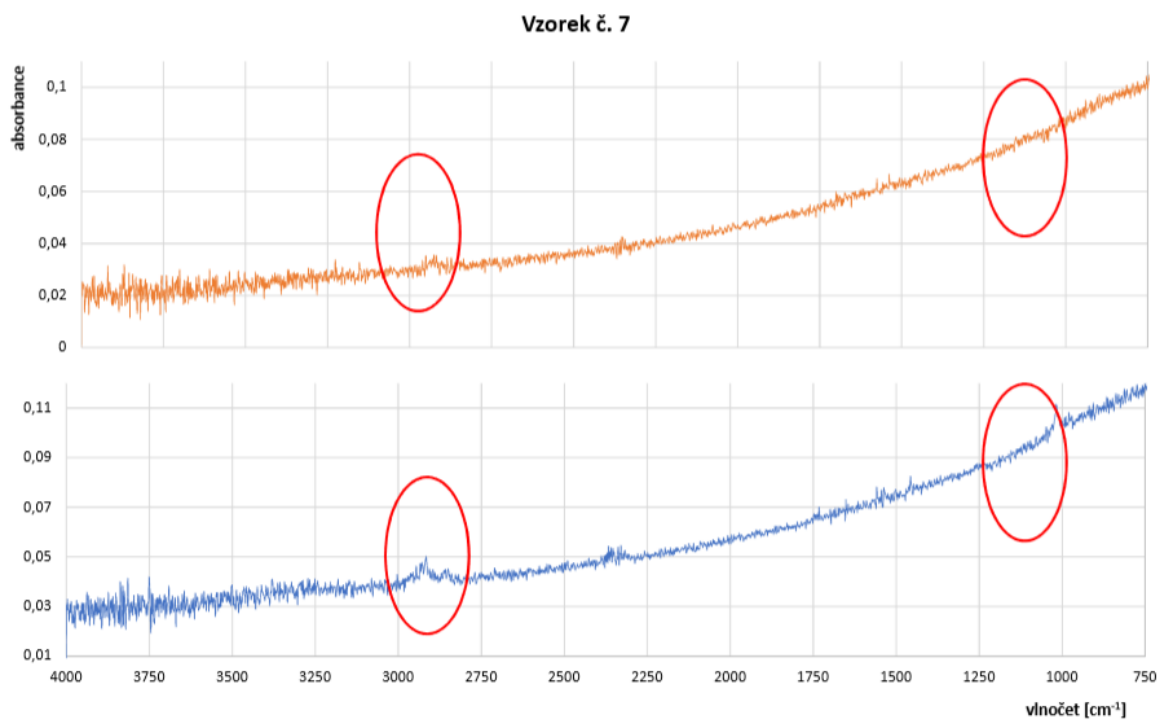


Obr. 22. Spektrum vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem B (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)

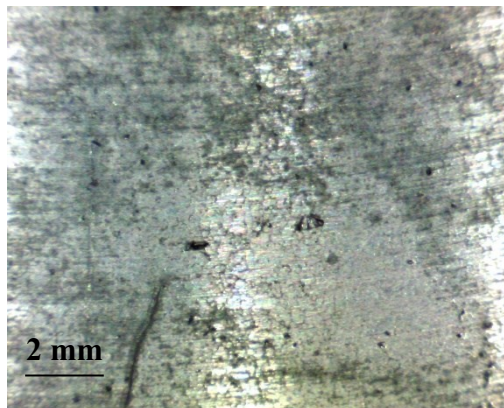


Obr. 23. Fotografie vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem B, zvětšení 30x

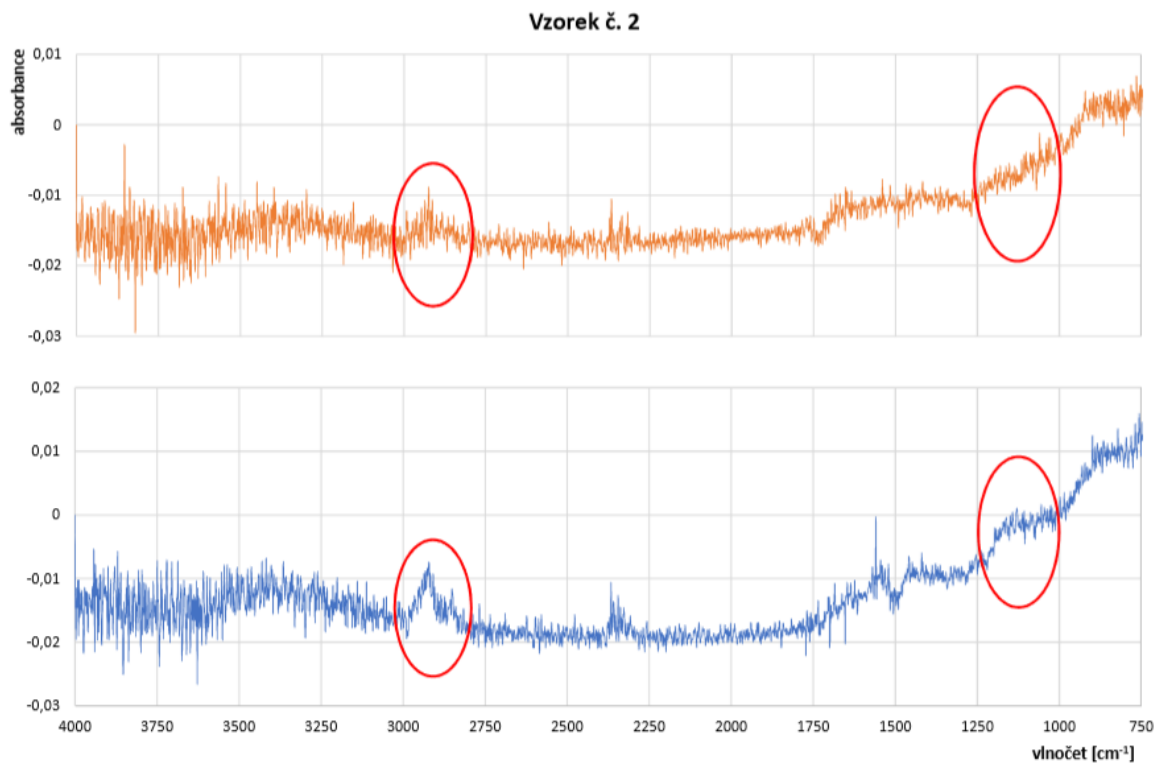
;



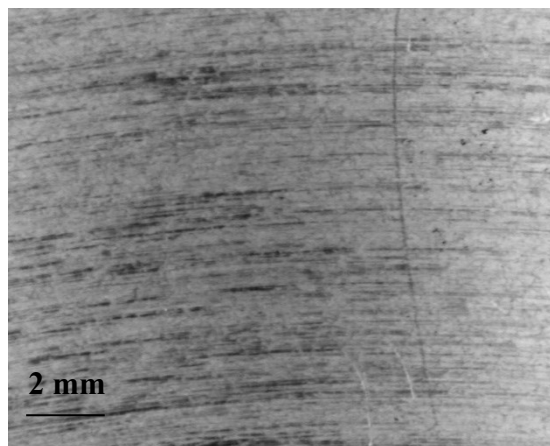
Obr. 24. Spektrum vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)



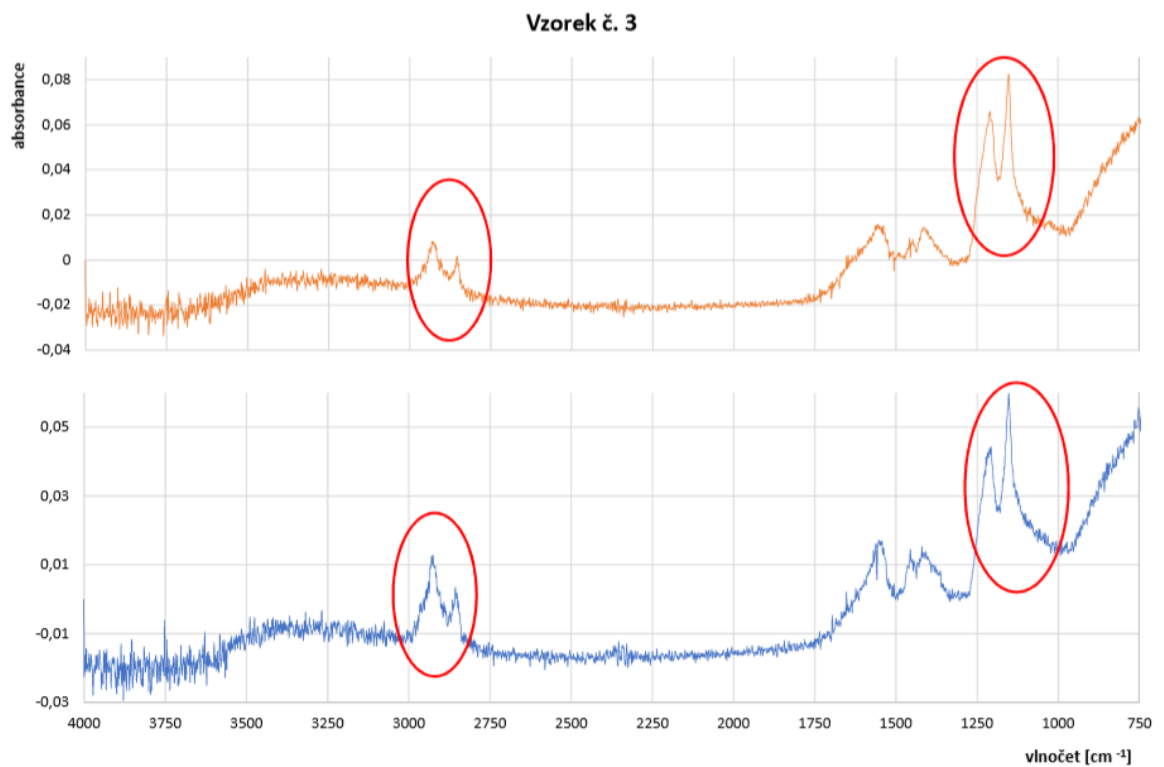
Obr. 25. Fotografie vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD, zvětšení 30x



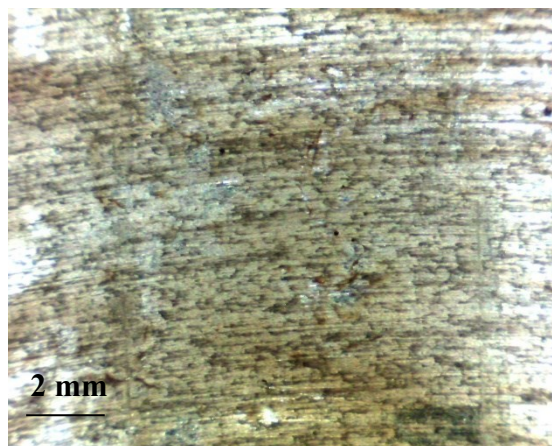
Obr. 26. Spektrum vzorku z hliníkové destičky bez povrchové úpravy (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)



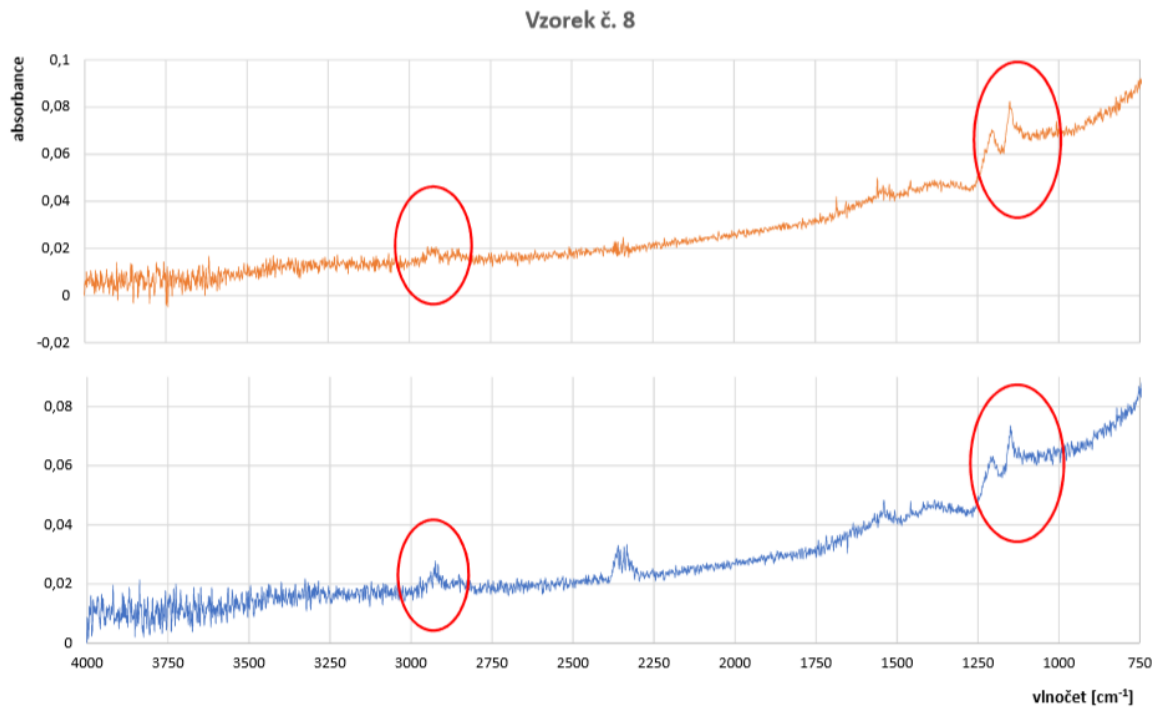
Obr. 27. Fotografie vzorku z hliníkové destičky bez povrchové úpravy, zvětšení 30x



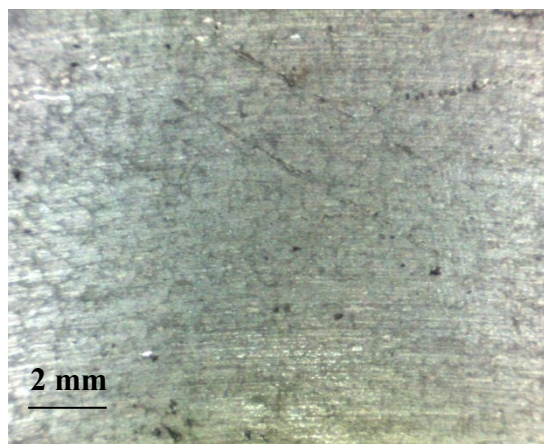
Obr. 28. Spektrum vzorku z hliníkové destičky opatřené separační vrstvou VG 262 AEROSOL (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)



Obr. 29. Fotografie vzorku z hliníkové destičky opatřené separační vrstvou VG 262 AEROSOL, zvětšení 30x



Obr. 30. Spektrum vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD a separačním prostředkem VG 262 AEROSOL (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)



Obr. 31. Fotografie vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD a separačním prostředkem VG 262 AEROSOL, zvětšení 30x

## 10 DISKUZE VÝSLEDKŮ

K praktické části bylo vybráno celkem 10 vzorků z oceli a slitin hliníku. Jednotlivé vzorky měly různou povrchovou úpravu. Dva vzorky byly použity v experimentech v minulých letech. Tyto byly vyčištěny dvěma různými čistícími prostředky.

Vzorky byly podrobeny analýze na spektrometru Nicolet AVATAR 320 FTIR – spektrální analýze.

U všech zkoumaných vzorků se po 150 zálisech projeví na FTIR spektrech vyšší píky, což znamená větší množství prvků odpovídajících daným vlnočtům ulpělých na vzorku. Srovnání vzorků po 75 a 150 zálisech ukázalo, že po 150 zálisech dochází k výraznějšímu ulpívání kaučukové směsi.

U všech zkoumaných vzorků je patrné, že vzorky s menší drsností povrchu mají na povrchu méně kontaminantů. Na povrchu s menší drsností povrchu kontaminanty ulpívají později. Dá se tedy vyvodit, že z hlediska kontaminace je vhodnější povrch s menší drsností povrchu.

Jako separační prostředky byly použity VG 262 AEROSOL (na bázi PTFE), PVD vrstva nebo kombinace obou. Povrchová úprava prototyping není přímo separačním prostředkem, ale jedná se o velmi kvalitní úpravu povrchu, proto byla v rámci této bakalářské práce do této skupiny zařazena. Z výsledků FTIR analýzy je patrné, že se jako nejlepší separační prostředek projevila kombinace separačního prostředku VG 262 AEROSOL na bázi PTFE a povrchové vrstvy PVD. Jako velmi kvalitní separační prostředek se ukázala i povrchová úprava PVD.

Získaná FTIR spektra byla porovnána se spektry v dostupných databázích, které obsahují spektra organického i anorganického původu. Pro vyhodnocení vlnočtů byla využita literatura. Zkoumaná spektra jsou v jednotlivých grafech vyznačena. Spektrální analýzou byly zjištěny pásy: CH<sub>x</sub> skupiny, které se vyskytují ze změkčovadel. Druhá oblast vlnočtu podle spektrometrie značí přídavné prvky, které se přidávají do kaučukové směsi, aby bylo možné její zpracování. Může se zde vyskytovat amoniak.

Bylo zjištěno spektrum separačního prostředku VG 262 AEROSOL na bázi PTFE, které se významně projevilo v rozmezí pásů 1250-1000 cm<sup>-1</sup>. Při vyhodnocování FTIR spekter vzorků, na které byl tento separační prostředek aplikován, nebyl daný pás uvažován.

Vzorek č. 2 je bez povrchové úpravy a separátoru. Po 150 zálisech je zřetelné větší množství ulpívání. Spektrální analýzou jsou viditelné jen pásy: pod  $3000\text{ cm}^{-1}$  CHx skupiny.

U vzorku č. 3 je zřetelné, že je separační vrstva PTFE u grafu po 150 zálisech více opotřebená. Spektrální analýzou byly zjištěny pásy: pod  $3000\text{ cm}^{-1}$  CHx skupiny, vlnčet okolo  $1100\text{ cm}^{-1}$  značí funkční skupinu R-CO-R'.

Vzorek č. 7 je opatřen vrstvou PVD, která se projevila jako separační prostředek. Spektrální analýzou jsou viditelné jen pásy: pod  $3000\text{ cm}^{-1}$  CHx skupiny.

Vzorek č. 8 je opatřen povrchovou úpravou PVD a separačním přípravkem PTFE, je patrné u grafu po 150 zálisech větší množství CHx skupin. Spektrální analýzou byly zjištěny pásy: pod  $3000\text{ cm}^{-1}$  CHx skupiny, vlnčet okolo  $1100\text{ cm}^{-1}$  značí funkční skupinu R-CO-R'.

U vzorku č. 9 je srovnáván čistící prostředek. Před začátkem lisování byl vzorek vyčištěn dvěma různými čistícími prostředky. Zároveň je opatřen vrstvou separátoru PTFE. U tohoto vzorku se projevil jako lepší čistící přípravek B. Spektrální analýzou byly z databáze spekter zjištěny pásy: pod  $3000\text{ cm}^{-1}$  CHx skupiny, vlnčet okolo  $1100\text{ cm}^{-1}$  značí funkční skupinu R-CO-R'.

Na základě analýzy FTIR výsledků se nedá jednoznačně určit, zda je lepším čistícím prostředkem prostředek A či B. Tímto čistícím prostředkem byly vyčištěny vzorky č. 9 a 10. U vzorku č. 9 se na základě získaných výsledků projevil lépe čistící přípravek B, u vzorku č. 10 naopak čistící přípravek A. Je možné konstatovat, že pro dané vzorky je vhodný jiný čistící prostředek podle čištěného materiálu.

Pokud není vibrační přechod více než 10%, uvažuje se jen jako šum.

K vyhodnocení vlnčetů byla použita literatura Bruno, T. J., and P. D. N. Svoronos. Handbook of Basic Tables for Chemical Analysis. Third Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011, ISSN 978-1-4200-8042-1.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, zda má nanesení separačního prostředku na povrch dutiny formy významný vliv na jeho kontaminaci kaučukovou směsí.

Bylo zvoleno deset vzorků z oceli a slitin hliníku reprezentující dutinu formy. Jednotlivé vzorky měly různou povrchovou úpravu. Jako separační prostředek byl zvolen VG 262 AEROSOL, jehož složení je na bázi PTFE, který byl aplikován na čtyři vybrané vzorky – hliníkový vzorek bez povrchové úpravy a s povrchovou úpravou PVD a vzorky z oceli 1.2714 a 1.2080. Povrchovou vrstvu PVD lze také považovat za separační prostředek. Bylo provedeno lisování kaučukové směsi za daných technologických podmínek. Nejprve bylo provedeno 75 zálisů, po kterých bylo zkoumáno pomocí spektrografie FTIR, zda se vyskytuje na vzorcích kontaminace kaučukovou směsí. Poté bylo vylisování dalších 75 zálisů a měření se opakovalo.

Z analýzy bylo zjištěno, že z kaučukové směsi nejdříve ulpívají prvky, které jsou příbuzné se změkčovadly, jenž se přidávají do směsi kvůli snadnější zpracovatelnosti. Vliv separačního prostředku VG 262 AEROSOL se neprojevil ani pozitivně ani negativně z důvodu malého počtu provedených zálisů. Povrchová vrstva PVD měla pozitivní vliv na kontaminaci, FTIR spektra ukázala, že by tato vrstva mohla být odolnější vůči kontaminaci kaučukovou směsí. Pro zřetelnější výsledky by i zde bylo nutno provést více zálisů.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] FRANTA, Ivan. *Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*. 2., přeprac. a rozšíř. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969. Řada chemické literatury.
- [2] FRANTA, Ivan. *Gumárenská technologie*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979. Řada chemické literatury, s: 44-58. *Kapitola 4. Výroba surového kaučuku*.
- [3] SCHÄTZ, Miroslav. *Kaučuk*. Praha: Československá společnost pro šíření politických a vědeckých znalostí, 1965. Polytechnická knihnice (Československá společnost pro šíření politických a vědeckých znalostí).
- [4] <https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologie-pvd.html>
- [5] KRÁLOVÁ, Adéla a Leo KLIMÁNEK. *Zpracování polymerů pro 3. a 4. ročník středních průmyslových škol chemických: učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [6] DAĐOUREK, Karel. *Metody vytváření tenkých vrstev*, 2008. O KATEDŘE | KMT TU Liberec [online]. Copyright © [cit. 16.05.2018]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/VTM/vtm%20Dad/13metody%20na%20vrstvy.pdf](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/VTM/vtm%20Dad/13metody%20na%20vrstvy.pdf)
- [7] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie*. Zlín: FT UTB 2005. Dostupné z <http://www.home.karneval.cz/0323339201/>
- [8] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [9] DUCHÁČEK, Vratislav. *Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2006. ISBN 80-02-01784-6.
- [10] HLUCHÝ, Miroslav a Josef BENEŠ. *Strojírenská technologie pro SPŠ nestrojnické*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [11] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemicko-*

- technologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů.*  
Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [12] CHROMÁ, Bronislava a František ČERNÝ. *Materiály pre 1. a 2. ročník učebného odboru gumár-plastikár.* Bratislava: Alfa, 1982. Edícia chemickej literatúry (Alfa).
- [13] FRANTA, Ivan a kol. *Gumárenské suroviny.* 3., přeprac. a dopl. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979.
- [14] TOMIS, František a Josef HELŠTÝN. *Formy a přípravky.* 2. vyd. Praha: SNTL, 1985.
- [15] HORNSBY, Peter R., SINGH Inderjeet, DALEY John R., FIRTH John. *Characterization of Mold Fouling During Elastomer Injection Molding.* Published online in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com))
- [16] INSTITUT GUMÁRENSKÉ TECHNOLOGIE A TESTOVÁNÍ ZLÍN. *Problematika špinění forem: Studie o příčinách vzniku a možnostech jejího snížení.* Zlín, 1996.
- [17] DUCHÁČEK Vratislav, HRDLIČKA Zdeněk. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování.* Vyd. 4. VŠCHT Praha, 2009.
- [18] PÍŠEK, František. *Nauka o materiálu I: Nauka o kovech.* 3. svazek. Neželezné kovy. 2. přepracované vydání. Praha: Academia, 1973
- [19] ODBORNÁ KORPORACE UNIPLAST. *Příručka formy pro zpracování plastů: II.díl-vstřikování termoplastů.* Brno, 1999.
- [20] PREKOP, Štefan a Ladislav VÁRKOLY A KOL. *Gumárska technológia II.* GC TECH Ing. Peter Gerši v spolupráci s Trenčianskou univerzitou A. Dubčeka v Trenčíne, 2003. ISBN 80-88914-85-x
- [21] W. NR. 1.2714 - JKZ Bučovice. 302 Found [online]. [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-tepla/w-nr-12714/>
- [22] W. NR. 1.2080 - JKZ Bučovice. 302 Found [online]. [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-studena/w-nr-12080/>
- [23] Hliník | MetalCentrum s.r.o. MetalCentrum s.r.o. | Hutní materiály [online]. Copyright © 2018 MetalCentrum s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: <http://www.metalcentrum.cz/hlinik/>

- [24] 3D tisk kovů / Prototyping – LASCAM systems. LASCAM systems – průmyslové laserové a kamerové systémy [online]. Copyright © LASCAM systems s.r.o. [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: <http://www.lascam.cz/produkty/3d-tisk-kovu-prototyping/>
- [25] MMCC Slovakia [online]. Copyright © [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: [http://www.mmcc.sk/files/2015-01-13-142818-vg\\_262sprej.pdf](http://www.mmcc.sk/files/2015-01-13-142818-vg_262sprej.pdf)
- [26] Měření drsnosti – M & B Calibr, spol. s r.o. [online]. [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: <http://www.mbcaltibr.cz/mereni-drsnosti.html>
- [27] ATEAM, ZCU, ČR. Tenké vrstvy. [online]. [cit. 16.05.2018]. Dostupné z: World Wide Web: [https://www.opi.zcu.cz/tenke\\_vrstvy\\_sma.pdf](https://www.opi.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf)
- [28] SOHAG a.s. Ostatní měřidla. [online]. [cit. 15.05.2018]. Dostupné z: <https://sohag.cz/cs/kvalita/ostatni-meridla/>
- [29] ČSN EN ISO 4957. Oceli nástrojové. 2003.
- [30] Tváření plastů a výroba forem II. | 14220.cz. [online]. [cit. 15.05.2018]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>
- [31] ELUC. ELUC [online]. [cit. 15.05.2018]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1430>
- [32] ELUC. ELUC [online]. [cit. 15.05.2018]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1429>
- [33] Domovská stránka Vysoké školy chemicko-technologické v Praze – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [online]. Copyright © [cit. 17.05.2018]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1+spektrometrie.pdf?redirected>
- [35] Worldwide Guide to Equivalent Nonferrous Metals and Alloys – Knihy Google. Knihy Google [online]. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=g-aUf3nM6AEC&pg=PT103&lpg=PT103&dq=AlMg3Si1&source=bl&ots=ohNikIcQhl&sig=287e641OyQ5jHlnv69VLjhsiU\\_w&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwi9-vTWnYrbAhVEWSwKHZa-tAY0Q6AEINjAC#v=onepage&q=AlMg3Si1&f=false](https://books.google.cz/books?id=g-aUf3nM6AEC&pg=PT103&lpg=PT103&dq=AlMg3Si1&source=bl&ots=ohNikIcQhl&sig=287e641OyQ5jHlnv69VLjhsiU_w&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwi9-vTWnYrbAhVEWSwKHZa-tAY0Q6AEINjAC#v=onepage&q=AlMg3Si1&f=false)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Al	Hliník
Br	Brom
BR	Butadienový kaučuk
C	Uhlík
Cl	Chlorid
CR	Polychloroprénový kaučuk
EPM, EPDM	Etylénpropylénový kaučuk
F	Fluor
H	Vodík
IR	Isoprenový kaučuk
IIR	Butylkaučuk
N	Dusík
NBR	Butadiénakrylonitrilový kaučuk
NR	Přírodní kaučuk
O	Kyslík
OT	Polysulfidový kaučuk
Q	Silikonový kaučuk
Ra	střední aritmetická úchylka profilu [ $\mu$ ]
S	Síra
SBR	Butadienstyrenové kaučuky
Si	Křemík

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Získávání latexu [2] .....	15
Obr. 2. Vulkanizační křivka [1] .....	27
Obr. 3. Schéma přetlačování [14] (a – vkládání hmoty do formy, b – přetlačování, c – vyjímání výlisku; 1 – horní upínací stůl lisu, 2 – přetlačovací forma, 3 – tableta hmoty, 4 – výlisek, 5 – přebytek vytvrzené hmoty, 6 – přetlačovací píst formy, 7 – přetlačovací komora, 8 – plnicí kanálek) .....	31
Obr. 4. Schéma lisování [14] (a – nasypávání, b – lisování, c – vyjímání výlisku; 1 – spodní upínací stůl lisu, 2 – forma, 3 – lisovací hmota, 4 – horní upínací stůl lisu, 5 – výlisek, 6 – přetok hmoty na výlisku, 7 – vyhazovák formy) .....	33
Obr. 5. Příklad dvoudílné vulkanizační formy pro výrobu pneumatik [20] (1 – dolní část formy, 2 – horní část formy, 3 – dezénová vložka, 4 – dolní patkový kroužek, 5 – horní patkový kroužek, 6 – dolní membránový kroužek, 7 – horní membránový kroužek).....	33
Obr.6. Základní druhy PVD povlakování [6] .....	39
Obr. 7. Průběh CVD povlakování [27] .....	40
Obr. 8. Použité ocelové destičky .....	52
Obr. 9. Použité destičky ze slitin hliníku s povrchovou vrstvou PVD .....	53
Obr. 10. Separální prostředek VG 262 AEROSOL .....	54
Obr. 11. Drsnoměr Mitutoyo SJ 401 [28] .....	56
Obr. 12. Připravená navážená nálož .....	57
Obr. 13. Vylisovaný výrobek.....	58
Obr. 14. Vadný, špatně zvulkanizovaný výrobek vlevo, správně zvulkanizovaný výrobek vpravo .....	58
Obr. 15. Laboratorní vulkanizační lis .....	59
Obr. 16. Lisovací forma s destičkami .....	60
Obr. 17. Spektrometr Nicolet AVATAR 320 FTIR s měřeným vzorkem.....	61
Obr. 18. Mikroskop ProScope HR.....	62
Obr. 19. Spektrum separálního prostředku VG 262 AEROSOL .....	62
Obr. 20. Spektrum vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separálního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem A (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech) .....	63

- Obr. 21. Fotografie vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem A, zvětšení 30x ..... 63
- Obr. 22. Spektrum vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem B (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)..... 64
- Obr. 23. Fotografie vzorku z oceli 1.2714 s vrstvou separačního prostředku VG 262 AEROSOL, očištěn čistícím přípravkem B, zvětšení 30x ..... 64
- Obr. 24. Spektrum vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech) ..... 65
- Obr. 25. Fotografie vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD, zvětšení 30x..... 65
- Obr. 26. Spektrum vzorku z hliníkové destičky bez povrchové úpravy (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)..... 66
- Obr. 27. Fotografie vzorku z hliníkové destičky bez povrchové úpravy, zvětšení 30x..... 66
- Obr. 28. Spektrum vzorku z hliníkové destičky opatřené separační vrstvou VG 262 AEROSOL (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech) ..... 67
- Obr. 29. Fotografie vzorku z hliníkové destičky opatřené separační vrstvou VG 262 AEROSOL, zvětšení 30x ..... 67
- Obr. 30. Spektrum vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD a separačním prostředkem VG 262 AEROSOL (červená křivka po 75 zálisech, modrá po 150 zálisech)..... 68
- Obr. 31. Fotografie vzorku z hliníkové destičky s povrchovou úpravou PVD a separačním prostředkem VG 262 AEROSOL, zvětšení 30x..... 68

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Chemické složení oceli 1.2714 [29] .....	51
Tab. 2. Chemické složení oceli 1.2080 [29] .....	52
Tab. 3. Chemické složení AlMg3Si1 v % [35].....	53
Tab. 4. Chemické složení spékaného prášku .....	54
Tab. 5. Naměřené drsnosti před lisováním .....	55
Tab. 6. Naměřené drsnosti po lisování .....	55
Tab. 7. Fyzikálně mechanické hodnoty kaučukové směsi .....	57
Tab. 8. Technické údaje vulkanizačního lisu .....	59

## SEZNAM PŘÍLOH

P I: FTIR analýzy

FTIR analýzy všech vzorků jsou přiloženy na CD.



