

Hodnocení kvality spoje kov-pryž

Bc. Jindřich Škývara

Diplomová práce
2016

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Janěmch Škřivara**
Osobní číslo: **T14557**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Hodnocení kvality spoje kov-pryž**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerži na zadané téma
2. Připravte zkušební vzorky spojů kov-pryž a změřte jejich pevnost pomocí destruktivních metod
3. Vyhodnoťte a diskutujte získané výsledky

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tisková/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. WHITE, R. J., SADHAN, K D., NASKAR, K., Rubber technologist's handbook, iSmithers Rapra Publishing, Shrewsbury, 2009, 452 p., ISBN: 9781847351005
2. DUCHÁČEK, V., HRDLIČKA Z., Gumárenské suroviny a jejich zpracování, VŠCHT Praha, 2009, 199 p., ISBN: 978-80-7080-713-2
3. RAPRA TECHNOLOGY LIMITED, Rubber Bonding 2006: Düsseldorf, Germany, 21-22 February 2006, Rapra Technology, Shawbury, 2006, 200 p., ISBN 1859575552
4. www: Vyhledávání v databázi Web of Science: <http://apps.isiknowledge.com>

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

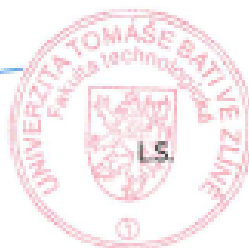
Datum zadání diplomové práce: 8. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 13. května 2016

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



doc. Ing. František Buřka, Ph.D.
děkan



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 neobhájení práce.

Ve Zlíně 25.4.2016



¹⁾ 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 vědeckých prací

(1) Vysoké školy nevydělávají zveřejňují disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, a kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledků obhajoby prostřednictvím databáze školních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

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

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

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

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

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo 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 výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na skladbu kaučukových směsí a vulkanizační podmínky, které mají vliv na kvalitu výsledného spoje kov – pryž. Experimentální část se zabývá vyhodnocením jednotlivých spojů mezi kovem a pryží při různých parametrech nástřiku pojícího prostředku formou destruktivní zkoušky podle normy ASTM D429 a také vyhodnocením typů vad selhání spojů vizuální metodou.

Klíčová slova: kaučuková směs, vulkanizační podmínky, pryž, kvalita spoje, pojení pryže s kovem, pojící prostředek

ABSTRACT

The theoretical part of master thesis is focused on the composition of rubber compound and curing conditions that affect the quality of the resulting metal to rubber bond. Experimental part deals with evaluating the individual joints between metal and rubber on various parameters of spraying a bonding agent in the form of destructive tests according to ASTM D429 and evaluation of defect fail types of joint using visual method.

Keywords: rubber compound, vulcanization conditions, rubber, bond quality, rubber to metal bonding, bonding agent

Děkuji Ing. Michalu Sedláčkovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, pomoc a cenné rady, které mi pomohly zkompletovat tuto práci.

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

Ve Zlíně 3.5.2016

.....

Jindřich Škývara

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KAUČUKY	13
1.1 PŘÍRODNÍ KAUČUK	13
1.2 SYNTETICKÝ KAUČUK	15
1.2.1 Butadien-styrénový kaučuk.....	15
1.2.2 Butadienový kaučuk.....	16
1.2.3 Chloroprenový kaučuk	17
2 GUMÁRENSKÉ SMĚSI	18
2.1 SLOŽKY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	18
3 VULKANIZACE	21
3.1 ZPŮSOBY VULKANIZACE	23
3.1.1 Lisování.....	23
3.1.2 Přetlačování.....	23
3.1.3 Vstřikování.....	24
4 EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE	25
5 POVRCHOVÁ ÚPRAVA KOVŮ	27
5.1 ZPŮSOBY OCHRANY	27
5.2 MECHANICKÉ ÚPRAVY POVRCHU	27
5.2.1 Broušení	28
5.2.2 Leštění	28
5.2.3 Kartáčování	28
5.2.4 Omílání.....	29
5.3 CHEMICKÉ ÚPRAVY POVRCHU	30
5.3.1 Odmašťování.....	30
5.3.2 Moření	30
5.3.3 Odrezování	30
5.3.4 Dekapování	31
6 ZPŮSOBY NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT	32
6.1 NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÉ BARVY.....	32
6.1.1 Elektrostatické nabíjení práškové hmoty	32
6.1.2 Tribostatické nabíjení práškové hmoty	33
6.1.3 Podmínky pro úspěšné nanesení a vytvoření povlaku	34
7 CHARAKTERISTIKA LEPENÍ	35
7.1 TEORIE DIFÚZE	35
7.2 TEORIE SMÁČENÍ	36
8 TEORIE ADHEZE	37
8.1 CHEMICKÁ ADHEZE	37
8.1.1 Kovaletní vazby	37
8.1.2 Iontové vazby	38
8.2 ADHEZE POMOCÍ FYZIKÁLNÍ ADSORPCE	38
8.2.1 Dipólové síly	38

8.2.2	Vodíkové můstky	39
8.2.3	Disperzní síly	39
9	CHARAKTERISTIKA VULKANIZACE PŘI TVORBĚ SPOJŮ	40
9.1	POST – VULKANIZACE	41
9.2	TYPY VAD PŘI POJENÍ	42
9.2.1	Doporučené tloušťky nátěru	43
10	ZKOUŠENÍ A HODNOCENÍ KVALITY SPOJE.....	44
10.1	METODA A	44
10.1.1	Příprava zkušebních vzorků	44
10.1.2	Testování zkušebních vzorků	45
10.2	METODA B – ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA 90°	45
10.2.1	Příprava zkušebních vzorků	45
10.2.2	Testování zkušebních vzorků	46
10.3	PŘÍKLAD HODNOCENÍ TYPU SELHÁNÍ SPOJE	46
11	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	47
II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
12	CÍL EXPERIMENTŮ	49
13	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	50
13.1	PŘÍPRAVA KOVOVÝCH DESTIČEK.....	50
13.2	ZKOUŠKY KOVOVÝCH DESTIČEK	50
13.2.1	Prvková analýza	50
13.2.2	Měření drsnosti kovových destiček.....	51
13.2.3	Test přilnavosti laku	53
13.3	PŘÍPRAVA PRYŽOVÝCH PÁSKŮ	54
13.3.1	Válcování	54
13.3.2	Vulkanizace.....	55
13.3.3	Vysekávání	56
13.4	ZKOUŠKY PRYŽÍ	56
13.4.1	Stanovení vulkanizační křivky	56
13.4.2	Tahová zkouška.....	59
13.5	POJÍCÍ PROSTŘEDEK.....	62
13.5.1	Měření viskozity pojící prostředku	62
13.6	POJENÍ PRYŽE S KOVEM	64
14	HODNOCENÍ KVALITY SPOJE KOV - PRYŽ	67
14.1	HODNOCENÍ KVALITY SPOJE ODLUPOVACÍ ZKOUŠKOU	67
14.1.1	Postup měření odlupovací zkoušky.....	68
14.1.2	Vyhodnocení adheze spoje.....	69
14.2	VYHODNOCENÍ VAD SPOJŮ	70
15	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	72
15.1	VYHODNOCENÍ SMĚSI U	73
15.1.1	Vyhodnocení vad	74
15.1.2	Vyhodnocení teploty ohřevu	79
15.1.3	Vyhodnocení viskozity.....	82
15.1.4	Vyhodnocení tloušťky nástřiku	82

15.2	VYHODNOCENÍ SMĚSI I.....	85
15.2.1	Vyhodnocení vad	86
15.2.2	Vyhodnocení teploty ohřevu	91
15.2.3	Vyhodnocení viskozit.....	92
15.2.4	Vyhodnocení tloušťky nástřiku.....	93
15.3	POROVNÁNÍ HODNOT SOUDRŽNOSTÍ U OBOU SMĚSÍ.....	95
	ZÁVĚR	96
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	99
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	102
	SEZNAM OBRÁZKŮ	103
	SEZNAM TABULEK.....	106

ÚVOD

Představit si spoj dvou rozdílných materiálů s různými vlastnostmi jako je pryž s kovem nemusí být jednoduché. Spojením těchto dvou rozdílných materiálů je dosaženo jedinečných vlastností, proto je nutno se zabývat kvalitou spoje pryž – kov, aby byla co nejlepší. Na kov může působit vzduch a voda a tím dojít k rozrušení povrchu v podobě koroze. Na druhé straně pryž zajišťuje odolnost vůči vodě i vzduchu. Budeme tedy eliminovat rozdíly mezi materiály a chtít dosáhnout co nejlepší soudržnosti.

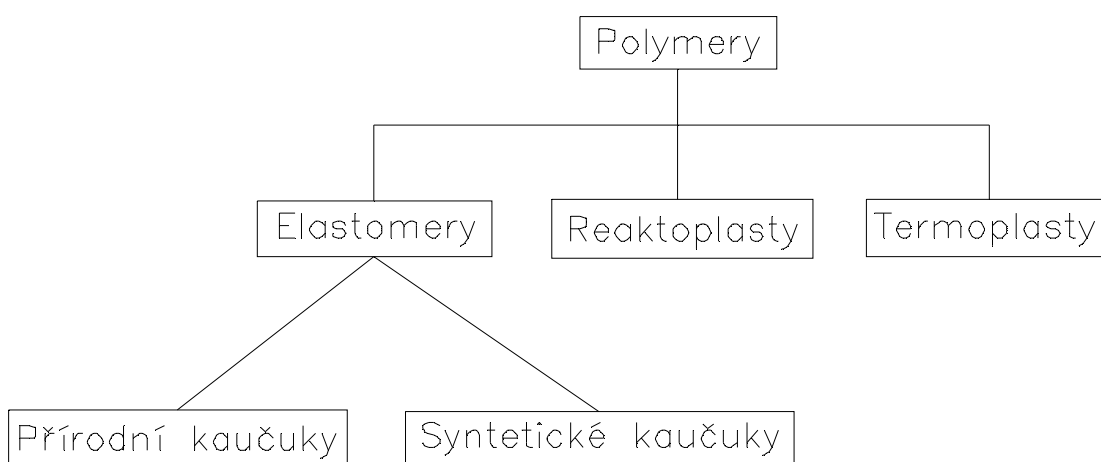
Pryžokovové výrobky nachází své uplatnění v průmyslu automobilovém, ocelářském, leteckém, strojírenském, dřevařském, papírenském a v mnoha dalších. Výrobky slouží k tlumení otřesů, odstranění vibrací, spojení součástí, těsnění apod. V automobilovém průmyslu se používá spoj pryže a kovu na uchycení motoru, hřídelové těsnění, uchycení ventilátoru a výfuku, rozvody chlazení, těsnění oken a další.

V dnešní době je používáno spojení síťovacím mechanismem. V minulosti bylo používáno fyzikální spojení lepidlem, kde se ale nedosahuje takové pevnosti spoje a odolnosti proti vlivům prostředí. Dalším důležitým aspektem kvality spoje je použitá technologie, zvolené materiály a tím nejdůležitějším jsou zkušenosti získané v praxi.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KAUČUKY

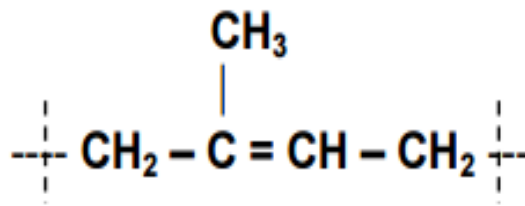
Kaučuk je elastomer schopný vulkanizace, tzn. polymer převeditelný chemickou reakcí z lineárního nebo z rozvětveného stavu do rovnoměrně zesíťovaného stavu. Je nejdůležitější složkou gumárenských směsí. Každý typ kaučuku má více druhů, které se navzájem odlišují jejich vlastnostmi, a ty ještě můžeme měnit pomocí různých druhů přísad. Vlastnosti a informace o daném typu kaučuku lze standardně získat od dodavatele. Na základě těchto informací je poté možné navrhovat širokou škálu výrobků a aplikací. Základní rozdělení kaučuků je na přírodní a syntetický [1,2].



Obr. 1 Rozdělení polymerů [3]

1.1 Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuk (NR) je asi ve 2000 různých rostlinách, kde ale pouze několik z nich má hospodářský význam. Především se jedná o strom dosahující výšky až 30 m a průměru kmene cca 50 cm, který se nazývá *Hevea brasiliensis*. Tento strom dříve rostl jenom v pralesích Jižní Ameriky a v povodí Amazonky. Dnes se pěstuje v pásmech tropických pralesů v Asii, Africe a Americe. Kaučuk je ze stromů čepován ve formě latexu, což je koloidní disperze cis-1,4-polyisoprenu ve vodném mediu. Přírodní latex je bílá kapalina, která má vzhled a konzistenci připomínající mléko nebo smetanu. Vyznačuje se obsahem různých nekaučukových látek jako bílkoviny, alkoholy, cukry, mastné kyseliny a malé množství minerálních látek [1,4,5].



Obr. 2 Vzorec polyisoprenu [1]

Přírodní kaučuk se dodává ve velkém množství druhů. Starší způsob výroby spočívá v koagulaci kyselinou mravenčí nebo octovou na velké bloky a dalšími operacemi jako uzení nebo praní a sušení, kdy se zpracovává hlavně na listy uzeneho tmavého kaučuku (Ribbed Smoked Sheets – RSS). Novější světlé typy jsou dnes sušeny na vzduchu (Air Dried Sheets – ADS), nebo jsou neuzené (UnSmoked Sheets – USS) [1,4].



Obr. 3 Čepování latexu [5]

U novějšího procesu výroby se postupuje tak, že kaučuk, který je koagulovaný, se převede na malé částice, které se následně perou, rychle suší proudem horkého vzduchu, slisují a poté balí do polyethylenových obalů. Velká část dodávaných směsí s obsahem přírodních kaučuků má vysokou hodnotu molekulové hmotnosti a vysokou viskozitu a proto musí být upraveny plastikací před samotným zpracováním. Po této plastikaci mají zpravidla velmi dobré zpracovatelské vlastnosti, dobrou pevnost před vulkanizací (tzv. green strenght), vysokou konfekční lepivost a vysokou rychlost vulkanizace. Vulkanizáty

z přírodního kaučuku vykazují vysokou mechanickou pevnost, elasticitu a velice dobrou odolnost proti oděru. Mají také dobré dynamické vlastnosti, a proto jsou častokrát využívány v pneumatikách, vibračních uloženích a pružinách. Elektroizolační vlastnosti jsou velice příznivé u vhodně zvolených směsí. Dobrou odolnost vykazují také proti zředěným kyselinám a zásadám. Odolnost proti rozpouštědlům ovlivňuje jejich polarita. Tím, že přírodní kaučuk je nepolární, odolnost např. proti naftě a benzínu je špatná, oproti odolnosti vůči alkoholům a ketonům, která je mnohem lepší. Dlouhodobě lze vulkanizát používat přibližně od -57 do +75 °C [1,4].

1.2 Syntetický kaučuk

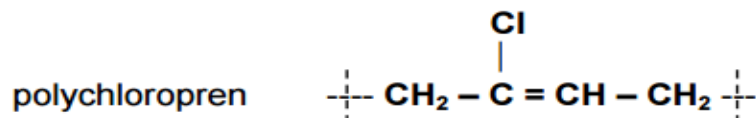
Syntetické kaučuky se vyznačují velkým objemem spotřeby za poměrně nízkou cenu. Tyto kaučuky se při zpracování chovají podobně jako přírodní kaučuk. Vulkanizátu dávají syntetické kaučuky vysokou pevnost, dobrou odolnost proti oděru a vysokou odrazovou pružnost. Na druhou stranu mají relativně špatnou odolnost proti stárnutí za tepla a slabou odolnost proti ozonu, a proto je výhodné použít antidegradanty. Mezi nejčastěji používané syntetické kaučuky patří butadien-styrenový kaučuk (SBR), butadienový kaučuk (BR) a isoprenový kaučuk (IR). Tyto 3 kaučuky se řadí do skupiny pro všeobecné použití. Další skupinou jsou speciální syntetické kaučuky, které se používají v inženýrských aplikacích, kde se požadují vlastnosti, které předešlé kaučuky dostatečně nezaručí. Mezi tyto vlastnosti patří dlouhodobá odolnost proti bobtnání, teplotě, povětrnostním podmínkám nebo ozonu. Do této skupiny patří: etylen-propylenový kaučuk (EPM), ethylen-propylenový-dienový kaučuk (EPDM), chloroprenový kaučuk (CR) a butadien-akrylonitrilový kaučuk (NBR) [1,6].

1.2.1 Butadien-styrénový kaučuk

Hlavní složkou pro výrobu SBR je ropa. To obecně platí pro všechny kaučuky kromě NR. Butadien-styrenový kaučuk reprezentuje polovinu produkce syntetických kaučuků a je hojně využíván v pneumatikách, kde se vhodně doplňuje s NR. Existuje mnoho podskupin, kde záleží na metodě syntézy polymeru nebo zda je ve formě emulze nebo roztoku a také na poměru dvou základních stavebních skupin, kterými jsou styren a butadien. V porovnání s NR mají vulkanizované SBR pryže špatné mechanické vlastnosti, kvůli tomu se musí přidávat aditiva v podobě sazí, kterými se dosáhne dobrých

1.2.3 Chloroprenový kaučuk

Chloropren je základní součástí chloroprenového kaučuku, více známého jako neopren. Stejně jako všechny syntetické kaučuky, tak i chloropren lze použít do různých směsí, které se vyznačují určitými vlastnostmi, jako je rychlost krystalizace ve vulkanizátu. Odolnost proti oleji má pouze průměrnou. Chloroprenový kaučuk má téměř stejné mechanické vlastnosti jako NR včetně dobré mechanické pevnosti. Má dobrou odolnost proti hoření, což znamená, že když je odstraněn zdroj hoření, CR již dále sám nehoří [1,6].



Obr. 6 Chemický vzorec chloroprenového kaučuku

2 GUMÁRENSKÉ SMĚSI

První zmínky o gumárenských směsích jsou spojeny hlavně se jmény Hancock a Goodyear. Gumárenské směsi jsou tvořeny kaučukem a dalšími gumárenskými surovinami. Základní vlastnosti gumárenských směsí jsou vysoce závislé na kaučucích a aditivech, které jsou na samotnou směs použity. Tyto vlastnosti mohou být modifikovány vhodným množstvím aditiv. Některé z nich mohou být přidány k urychlení síťování, jiné ke zlepšení zpracovatelnosti a některé zlepšují vlastnosti hotového výrobku. Některé směsi jsou vyvinuty pro nejvyšší kvalitu výrobku, kde nezáleží na ceně. Oproti jiným, kde je nízká cena hlavním požadavkem, se zde přidávají do směsí takové materiály, aby se cena výrazně snížila. Dalšími důležitými faktory, které ovlivní kvalitu výsledné, pryže jsou kvalita jednotlivých surovin, styl míchání kaučukové směsi a také výsledné zpracování do samotného výrobku [8,9].

V gumárenských směsích se obvykle koncentrace přísad označuje dsk (díly na sto dílů kaučuku) nebo phr (z anglického parts per hundred rubber). Základ směsi tvoří 100 dílů kaučuku a to buď jednoho, nebo více typů. Tato označení koncentrace přísad usnadňuje dávkování nekaučukových přísad, protože vyjádření jejich koncentrace stejnou hodnotou dsk zajišťuje stejný poměr kaučuk/přísada pro různé kaučukové směsi [7,9].

2.1 Složky kaučukových směsí

- **Kaučuk**

Gumárenská směsi mohou obsahovat např. jenom přírodní kaučuk, který může být buď jednoho druhu, nebo více druhů. Směsi mohou být složeny i z více druhů kaučuků přírodních a syntetických, kdy ovšem tyto kaučuky nelze kombinovat libovolně [8,9].

- **Plniva**

Plniva jsou primárně přidávána k vyztužení a sekundárně ke snížení nákladů. Dělíme je na aktivní (ztužující) a pasivní (neztužující). Nejpopulárnějšími ztužujícími plnivy jsou saze, které se dělí to kategorií podle jejich velikosti. Saze vyztužují směs tím víc, čím je jejich velikost menší. Vysoce ztužující plniva mohou vytvořit velice tvrdou směs, což má ovšem za následek špatné tokové vlastnosti. Neztužující plniva mají velkou velikost částic a jsou přidávána do směsí především z důvodu snížení nákladů. Mezi neztužující plniva patří kaolín, křída a saze s velkou velikostí částic [8,9].

- **Vulkanizační činidla**

Vulkanizační činidla jsou látky, které mají schopnost vytvářet chemickou reakcí příčné vazby mezi molekulami kaučuku. Hlavními vulkanizačními činidly jsou síra, donory síry, peroxidy a reaktivní pryskyřice [8,9].

- **Urychlovače vulkanizace**

Jsou to látky, které upravují průběh vulkanizace. Primárně zkracují dobu vulkanizace, ale snižují i teplotu vulkanizace a do určité míry upravují i vlastnosti vulkanizátu. Snižují také potřebné dávkování síry. Všeobecně platí, že čím aktivnější je urychlovač, tím menší množství se ho přidává. Urychlovače lze rozdělit podle rychlosti vulkanizace na pomalé, rychlé, velmi rychlé a ultrarychlé [8,9].

- **Aktivátory**

Aktivátory jsou látky, které zlepšují účinky vulkanizačních činidel a urychlovačů. Podstata aktivace při vulkanizaci je založena na zvýšení účinnosti vulkanizačního systému. Mezi aktivátory patří oxid zinečnatý, kyselina stearová, oxid vápenatý, oxid hořečnatý a další [8,9].

- **Nadouvadla**

Nadouvadla se používají při výrobě lehčené pryže. Jsou to látky, které při vyšších teplotách reagují za vzniku většího množství plynu. Objem plynů a teplota rozkladu závisí na druhu použitého nadouvadla [8,9].

- **Retardéry vulkanizace**

Retardéry jsou používány, aby se zabránilo předčasnému navulkanizování. K předčasnému navulkanizování může dojít při zpracování, kdy se dosahuje zvýšené teploty. Retardéry vulkanizace se dělí na organické a anorganické. Mezi organické se řadí octan sodný, kalafunu a kyselinu sebakovou a mezi anorganické např. oxid olovnatý a oxid hořečnatý [8,9].

- **Změkčovadla a plastikátory**

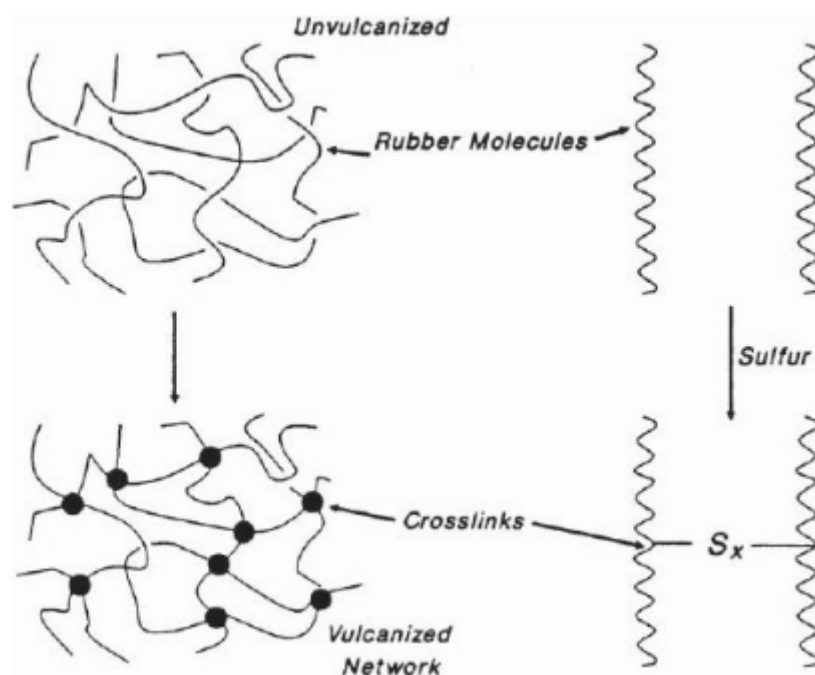
Jsou to látky, které snižují plasticitu a tím zlepšují zpracovatelnost. Přidáním těchto látek lze vulkanizát deformovat menší silou, jsou méně tuhé a snižuje se teplota křehnutí. Při vyšším dávkování plniv do směsi dochází k velkému ztužení a tím je zpracovatelnost velmi špatná, proto se přidávají do směsí změkčovadla. Nevýhodou je, že se přidání změkčovadel a plastikátorů zhoršuje mechanické vlastnosti pryže. Používají se různé minerální oleje [8,9].

- **Antioxidanty a antiozonanty**

Látky, které chrání vulkanizát proti stárnutí, které nastává nejčastěji vlivem tepla, světla a dynamického namáhání. Odolnost vulkanizátů proti degradaci je dána hlavně chemickou strukturou samotného kaučuku [8,9].

3 VULKANIZACE

Vulkanizace je proces obvykle používaný pro pryže nebo elastomerní materiály. Je to děj, při kterém vznikají pevné chemické vazby mezi jednotlivými molekulami za pomoci vulkanizačních činidel (Obr. 7). Vytváří se prostorová struktura, jejíž organizace je závislá na teplotě a čase, po který na elastomerní směs dané parametry působí. Vzájemný vztah teploty a doby vulkanizace popisuje teplotní koeficient vulkanizace. Teplotní koeficient vulkanizace udává vzrůst rychlosti vulkanizace při zvýšení teploty o 10 °C [8,10].

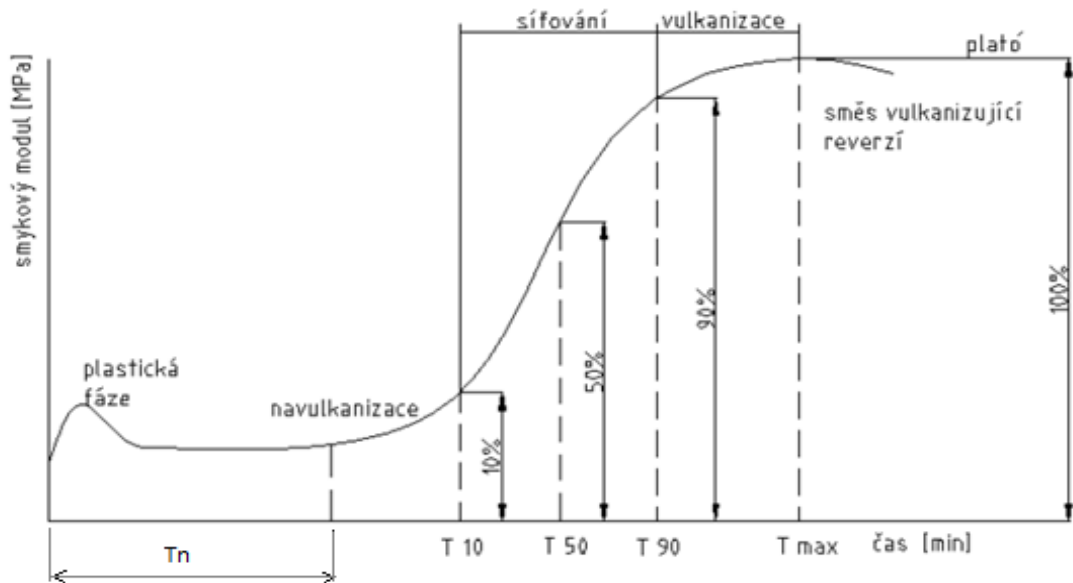


Obr. 7 Tvorba prostorové sítě při vulkanizaci [10]

Provozní způsoby vulkanizace:

- Kontinuální – provádí se ve vulkanizačních tunelech a bubnových lisech
- Diskontinuální – vulkanizuje se ve formách, horké vodě, páře, bubnových lisech

Postup při vulkanizaci je takový, že v prvním kroku se elastomerní směs vytvaruje do požadovaného tvaru výrobku a to buď za tepla, nebo za studena. Poté probíhá ohřev na vulkanizační teplotu. Následuje výdrž na vulkanizační teplotě, kdy je uskutečňován samotný proces vulkanizace při zadaných parametrech (čas, teplota, tlak). Na závěr se výrobek vyjme z formy [8,10].



Obr. 8 Vulkanizační křivka [8]

Legenda:

- T_n – bezpečnost, materiál zatím není navulkanizovaný
- T_{10} – materiál je z 10 % navulkanizován, množství vytvořených příčných vazeb nedovolí vratný děj
- T_{50} – materiál je z 50 % navulkanizován
- T_{90} – materiál je z 90 % navulkanizován, dosaženo optimální vulkanizace, výrobek se vydělává z formy

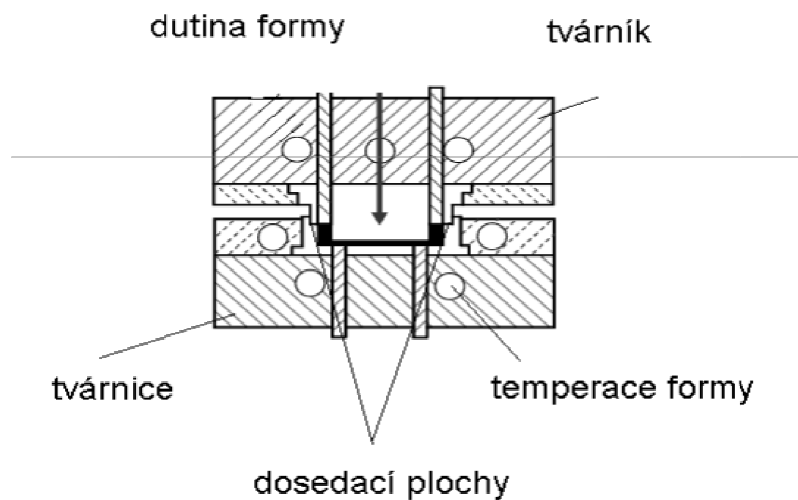
Při pohledu na obr. 8 začíná vulkanizační křivka plastickou fází. Je to fáze, při které kaučuková směs pod vlivem tlaku začíná proudit do formy. Poté následuje navulkanizace, kdy probíhají první síťovací reakce. Při procesu síťování dochází k vytvoření prostorové sítě, ale stále ještě není dosaženo optimum vulkanizace. Následně se při vulkanizaci chemicky propojí větší podíl vulkanizačního činidla s kaučukem a je dosaženo optimální vulkanizace, tj. 90 %. Prodloužením vulkanizační doby může nastat tzv. reverze, která je nežádoucí, protože při ní dochází k rozpadu prostorových sítí a to vede ke zhoršení kvality výrobku [17].

3.1 Způsoby vulkanizace

V této kapitole budou uvedeny nejčastější způsoby vulkanizace a to lisování, přetlačování a vstřikování.

3.1.1 Lisování

Patří mezi diskontinuální procesy, při kterém vulkanizuje kaučuková směs za pomoci tepla a tlaku ve formě. Při vulkanizaci ve formě dostává výrobek svůj finální tvar. Při lisování je délka cyklu závislá na kinetice vulkanizace a průběhu ohřevu směsi. Tlak ve formě je vyvozen lisem nebo membránou [11,12].



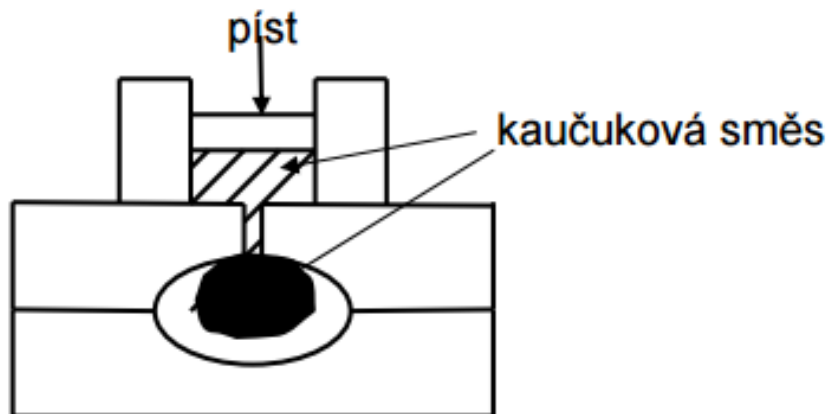
Obr. 9 Forma pro lisování [6]

Po otevření se do formy umístí nenavulkanizovaná směs (předlisek). Směs po uzavření formy vyplní celou dutinu, kdy přebytek materiálu odchází přetokovými kanálky. Při špatném vyplňování formy může pomoci změna tvaru předlisku, hmotnost předlisku nebo změna viskozity [11,12].

3.1.2 Přetlačování

U přetlačování se kaučuková směs přetlačuje pomocí pístu do uzavřené dutiny formy pomocí kanálků. Tím jsou ve formě lépe definovány tokové poměry směsi. Forma je při procesu uzavřená, a proto je možné přesněji nastavit množství materiálu k přetlačení. Při přetlačování se směs v kanálcích pomocí smyku ohřívá, což napomáhá zatečení směsi a

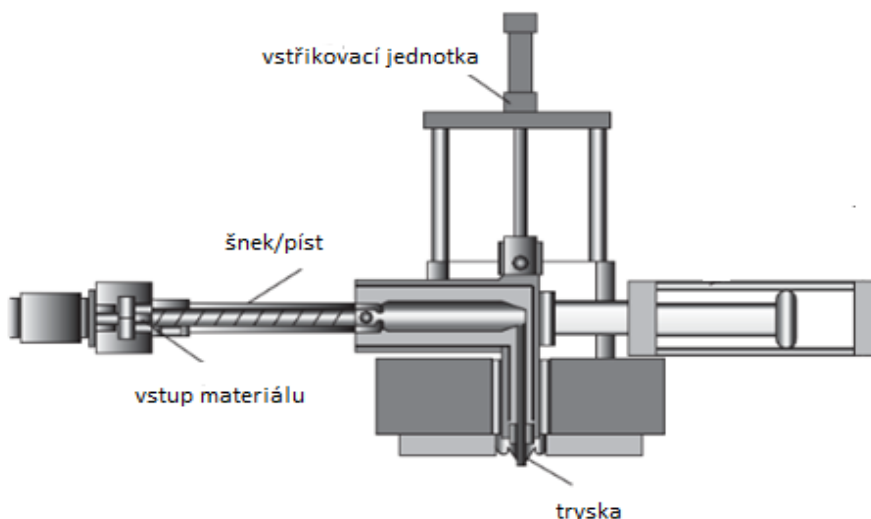
také k urychlení procesu vulkanizace. U tohoto procesu odpadáá vkládání předlisků do dutiny formy [11].



Obr. 10 Princip přetlačování [11]

3.1.3 Vstřikování

Kaučuková směs je plastikována šnekovým vytlačovacím strojem a poté vstřikována do dutiny formy pomocí dopředného pohybu šneku nebo pomocí pístu. Při vstřikování gumárenských směsí se používají krátký šnek a zásobování v podobě pásků. Z důvodu požadovaných nízkých teplot na konci šneku jsou šneky většinou temperovány vodou. Vysoká vstřikovací rychlost působí velký disipační ohřev směsi ve vstřikovacích kanálcích, čímž se sníží viskozita a zkrátí vulkanizační doba. Teplota formy je oproti lisování a přetlačování vyšší a je také výrazně vyšší než teplota šneku. U vstřikování se lépe odvádí vzduch z dutiny formy a vznikají menší přetoky. Nevýhodou je velká cena vstřikovací formy [11,13].



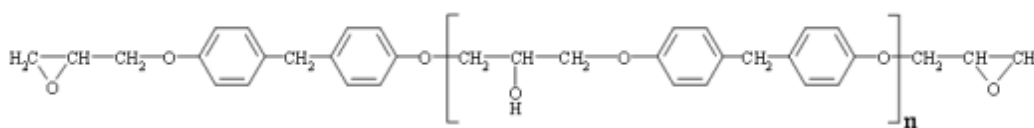
Obr. 11 Vstřikovací jednotka pro gumárenské směsi [13]

4 EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

Epoxidové pryskyřice jsou nízkomolekulární, oligomerní nebo polymerní sloučeniny, které se skládají z více než jedné epoxidové skupiny. Jsou to kapaliny s vysokou viskozitou, které se síťováním vytvrdí. Mohou být vytvrzovány při vysokých nebo nízkých teplotách za použití tvrdidel. Vytvrzené epoxidové pryskyřice se vyznačují vysokou chemickou odolností, odolností proti korozi, dobrými mechanickými vlastnostmi a příznivou teplotní stabilitou. Vykazují také výhodnou přilnavost ke kovům a jiným materiálům. Nicméně, kvůli vysoké hustotě síťování jsou křehké a vykazují nízkou rázovou pevnost s malým prodloužením při přetržení. První epoxidová pryskyřice byla syntetizována v roce 1936 z reakce 2,2-bis (4-hydroxyphenyl) propan (bisfenol A) s epichlorhydrinem v alkalickém prostředí [14,15].

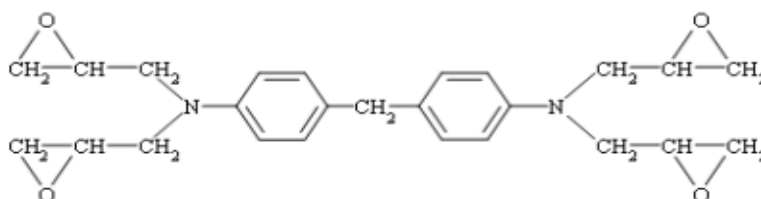
Existují čtyři hlavní typy epoxidové pryskyřice:

- a) Nejstarší a stále velmi často používaná je bifunkční epoxidová pryskyřice - dyglycidyl ether bisfenolu A (DGEBA) s následující strukturou [14]:



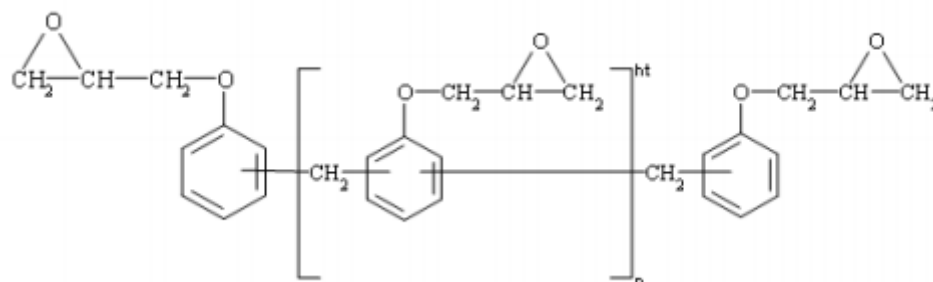
Obr. 12 Chemická struktura dyglycidyl ether bisfenolu A [14]

- b) Multifunkční epoxidové pryskyřice obsahují tři, čtyři nebo více epoxidových skupin. Vyznačují se velmi vysokou teplotou skelného přechodu (až 300 °C), vynikajícími mechanickými vlastnostmi, adhezí a také tepelnou odolností. Pro tyto důvody našly více aplikací hlavně v leteckém průmyslu jako matrice pro uhlíkové kompozity. Jedna z nejčastěji používaných pryskyřic pro takové aplikace je N,N' - tetraglycidyl 4,4'- diaminodifenylmethan, který se obvykle vytvrdí 4,4'- diaminodiphenylsulphonem [14].



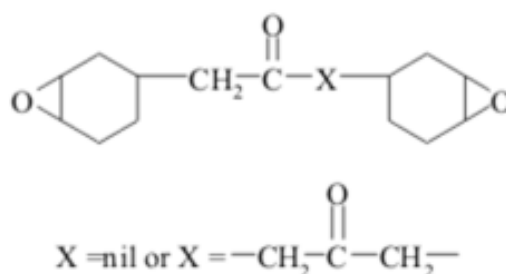
Obr. 13 Chemická struktura N,N' - tetraglycidyl 4,4'- diaminodifenylmethanu [14]

- c) Novolakové epoxidové pryskyřice mohou obsahovat od dvou do více než pěti epoxidových skupin. Mnohonásobné epoxidové skupiny dovolují dosažení vysoké hustoty síťování, což má za následek vynikající tepelnou a chemickou odolnost. Typická tvrdidla pro novolaké epoxidové pryskyřice jsou anhydridy, aminy a také diamino bifenyl sulfon. Navíc, vzhledem k jejich vynikajícím vlastnostem při zvýšené teplotě a velmi dobrých elektrických vlastnostech jsou novolaké epoxidové pryskyřice široce používány v mikroelektronice a pro nátěry [14]



Obr. 14 Chemická struktura novolaké epoxidové pryskyřice [14]

- d) Cykloalifatické epoxidové pryskyřice jsou nejpoužívanější v elektrotechnickém průmyslu. Absence aromatických skupin uděluje těmto epoxidovým pryskyřicím vynikající elektrické vlastnosti. Pro cykloalifatické epoxidové pryskyřice se používají jako vytvrzovací činidla polyamidy a anhydridy. Aplikace jsou rozsáhlé a jsou používány například na nátěry, matrice pro vysoce výkonné kompozitní materiály obsahující uhlíková a skelná vlákna. Nicméně jejich oblast použití je omezena z důvodu jejich špatné odolnosti vůči šíření trhlin a křehkosti [14].



Obr. 15 Chemická struktura cykloalifatické epoxidové pryskyřice [14]

5 POVRCHOVÁ ÚPRAVA KOVŮ

5.1 Způsoby ochrany

Použitím znalostí o mechanismech a kinetice poškozování povrchů je možno vyhovujícími způsoby předejít dílčím formám poškození povrchů nebo je částečně omezit na uspokojivou mez. Vzhledem k různým podmínkám, kterým materiály podléhají, nelze využít univerzálního systému ochrany. Je vhodné volit ochranu pro každý případ jednotlivě podle charakteru materiálu a podmínek, kterým je vystaven.

Požadované ochrany lze dosáhnout dvěma způsoby. Prvním způsobem je uspořádání soustavy tj. prostředí a předmětu, které je založeno na zmenšení termodynamické nestability soustavy. Princip u tohoto způsobu spočívá ve volbě termodynamicky stabilnějšího materiálu, povlaku nebo prostředí s menšími degradačními účinky. Druhým způsobem je ovlivnění rychlosti průběhu reakcí použitím materiálů a povlaků s pomalejším průběhem reakcí, korekcí prostředí přidávkem látek, které vytvářejí bariéry brzdící korozi a opotřebení, kdy se převede materiál do oblasti pasivity [18].

Požadované ochrany lze prakticky dosáhnout následujícími způsoby:

- Úpravou prostředí
- Volbou patřičného materiálu a povrchových úprav
- Přijatelným konstrukčním řešením a optimální technologií výroby
- Elektrochemickými a dočasnými ochranami

5.2 Mechanické úpravy povrchu

Při mechanických úpravách povrchu se nedodává výrobku přesný stanovený rozměr a tvar daný výkresem, ale vytváří se požadovaná jakost a kvalita povrchu. Význam mechanických úprav povrchu je především:

- Očištění povrchu od nečistot
- Zajištění podmínky pro přilnavost následujících vrstev
- Vytvoření požadovaného vzhled povrchu
- Zdokonalení mechanických vlastností povrchu

Nejpoužívanějšími způsoby mechanických úprav jsou broušení, kartáčování, leštění a omílání. Před vytvořením povlaku se používají tyto technologie jako úprava povrchu. Technologie mají jiný charakter při povrchových úpravách než při přesném obrábění, kdy při úpravách jde hlavně o odstranění nerovností a sjednocení kvality povrchu [18].

5.2.1 Broušení

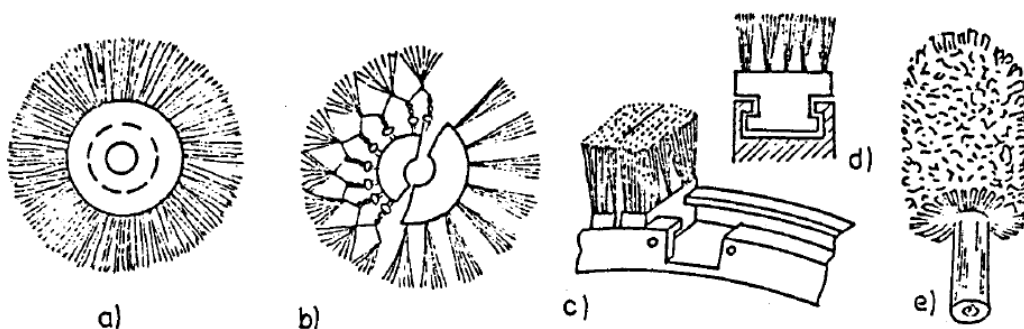
Broušení a leštění patří k nejnákladnějším operacím a používají se tam, kde jsou maximální nároky na jakost povrchu. Hlavním účelem broušení je odstranění hrubých nerovností povrchů. Hrubé broušení neboli hrubování se provádí za sucha s brusivem o zrnitosti 24 – 100 μm . U jemného broušení neboli vyhlazování se provádí brusivem o zrnitosti 120 – 240 [18].

5.2.2 Leštění

Leštění je operace, při níž dochází k menšímu úběru materiálu a navíc dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy. Jedná se o odstranění nejjemnějších stop po předchozích operacích pro dosažení velmi nízké drsnosti a vysokého lesku. Na výsledný lesk má vliv nejen leštící nástroj, ale také leštící pasta [18].

5.2.3 Kartáčování

Kartáčováním jsou dělány dva druhy úprav povrchu. Prvním z nich je odstraňování hrubých nečistot (rzi, starých nátěrů) a druhým operace, které jsou zařazovány po broušení nebo před leštěním pro zjemnění a sjednocení povrchu. To znamená, že se odstraní oxidované vrstvy, které vznikly předchozím broušením. První případ úpravy povrchu je používán k čištění a matování ocelových povrchů za pomoci kartáčů z ocelového rovného nebo vlnitého drátu. Pro úpravu neželezných kovů je používáno drátů z jiných materiálů jako mosazi a fosforového bronzu [18].



Obr. 16 Druhy kartáčů: a) fibrový, b) drátěný s polétavými svazečky, c) s dlouhými svazečky, d) s vyměnitelnými svazečky, e) drátěné štětky [18]

5.2.4 Omílání

Dalším způsobem mechanické úpravy je omílání, které je založeno na vyhlazování účinkem omílaných výrobků a omílajících prostředků neboli kapaliny s chemickými prostředky. Tuto technologii je vhodné používat pro zpracování velkých sérií drobných, tvarově složitých součástí. Součásti větší než 1 kg je nutno upevnit v omílacím zařízení.

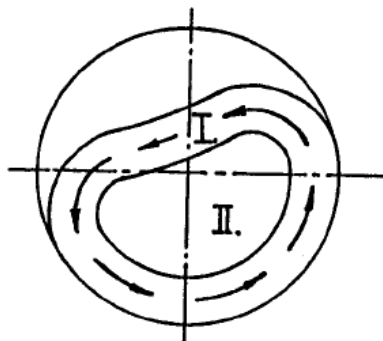
Výhody této technologie:

- Odstranění namáhavého ručního broušení a leštění
- Snížení výrobních nákladů
- Zvýšení výrobnosti
- Snížení zmetkovitosti
- Zpevnění povrchu a zvýšení korozní odolnosti

Nevýhody této technologie:

- Nerovnoměrnost úběru z povrchu materiálu
- Možnost poškození členitých výrobků

Typický případ procesu omílání je zobrazen na Obr. 17. Vrstva v oblasti I, ve které je sledováno stoupání stěny bubnu se v určitém okamžiku odtrhne od stěny a klouže jako aktivní vrstva, nebo padá na převalující se směs předmětů a brusiva. Jádru v oblasti II se převaluje jen mírně a není přesně odděleno od oblasti I, ve které probíhá 90 % omílání [18].



Obr. 17 Schéma rozvrstvení materiálu v bubnu [18]

5.3 Chemické úpravy povrchu

Chemické úpravy povrchu jsou založeny na chemické reakci činidla s nečistotami na povrchu materiálu.

5.3.1 Odmašťování

Odmašťování je odstraňování všech druhů zachycených nečistot z povrchu, které jsou vázány buď fyzikální absorpcí (látky tukové povahy) anebo adhezivními silami (prach, anorganické nečistoty, kovové třísky). Cílem je uvolnění nečistot z povrchu a převedení do roztoku nebo emulze. Odmašťování lze rozdělit na tři základní typy [18]:

- Odmašťování v organických rozpouštědlech
- Odmašťování ve vodných alkalických roztocích
- Odmašťování emulzní

5.3.2 Moření

Mořením je nazýváno odstraňování korozních produktů z povrchu kovu buďto chemickým nebo elektrochemickým způsobem. K moření je nejčastěji používáno kyselin, kyselých solí nebo alkalických činidel. Nejvíce je používáno moření u ocelí a litin, kde jde o odstraňování okují a rzi [18].

5.3.3 Odrezování

Pod pojmem odrezování se rozumí technologie, při které se z povrchu předmětů, které jsou pokryty rzí, odstraňují korozní produkty. Rez se z povrchu oceli odstraňuje pomocí kyselin a to hlavně kyseliny fosforečné. Nejčastěji je použito odrezovačů, které obsahují mimo kyseliny fosforečné taky inhibitory koroze, smáčedla a odmašťovadla. Podstata chemického odrezování je založena na dvou způsobech [18]:

- Na odstranění rzi minerální kyselinou, ve které jsou obsaženy inhibitory a látky ulehčující penetraci
- Na převedení korozní vrstvy na soubory s vysokou adhezí k povrchu kovu, tvořící anodickou kovovou ochranu

5.3.4 Dekapování

Dekapování je zvláštním druhem moření, které je použito při galvanickém pokovování pro odstranění lidických vrstev, které vzniknou při působení kyslíku při anodickém odmašťování [18].

6 ZPŮSOBY NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT

Nátěrové hmoty se zpravidla nanášejí štětcem, máčením nebo stříkáním, kdy je od výrobce dodáván koncentrát hotového nanášecího prostředku, kde je upravována viskozita dle druhu nanášení [27,28].

- **Nanášení štětcem (ručně)**

Nejrozšířenější a velice univerzální forma zhotovení nátěru. Provádí se tahem pomocí štětce nebo válečku.

- **Máčení**

Máčení je nejehospodárnější technologie, kde je výrobek ponořen do vany s nátěrovou hmotou a poté vytažen.

- **Stříkání**

Stříkání nátěrových hmot je nejčastěji prováděna vzduchovou pistolí, kdy je nátěrová hmota rozdělena do malých částecí a ty jsou unášeny stlačeným vzduchem na stříkanou plochu.

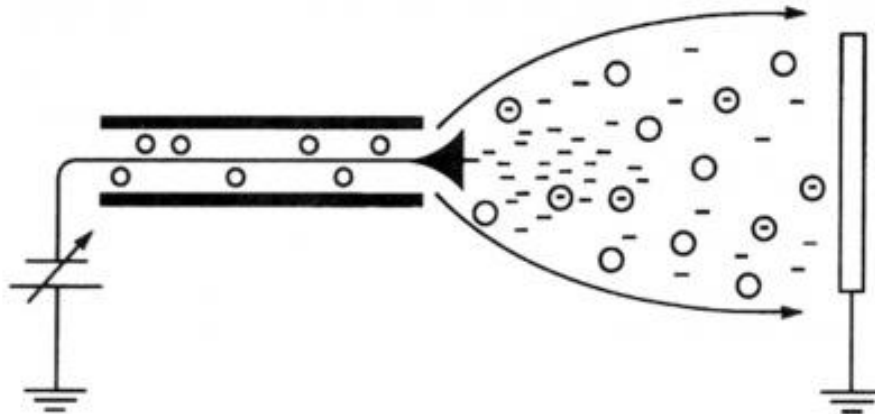
6.1 Nanášení práškové barvy

Práškové barvy jsou v podstatě všechny nanášeny metodou stříkání. Základním principem jsou částice prášku, které jsou elektricky nabíjeny, přičemž je lakovaný předmět uzemněn. Konečná přitažlivá síla je nutná k vytvoření dostatečné vrstvy prášku na předmětu i k jeho samotnému udržení se na povrchu, než následně dojde k tepelnému zpracování [23].

6.1.1 Elektrostatické nabíjení práškové hmoty

Na základě vysokého napětí (30 – 90 kV), které je soustředěno na trysce stříkací pistole se ionizuje vzduch procházející pistolí. Po průchodu prášku ionizovaným vzduchem jsou následně volné ionty přichyceny na určitém počtu částic prášku a tím je dosaženo vytvoření záporného náboje na částicích. Cílem je dosažení co nejvíce nabitých částic prášku. Volné ionty jsou mnohem pohyblivější a menší než částice prášku. Nadbytečné množství volných iontů se pohybuje rychle směrem k předmětu a tím je na něj přenášeno velké množství záporných nábojů. Množství těchto volných iontů je závislé na napětí.

Příliš vysokým napětím je způsoben nadbytečný příšun volných iontů, čímž je dosaženo špatné povrchové úpravy.

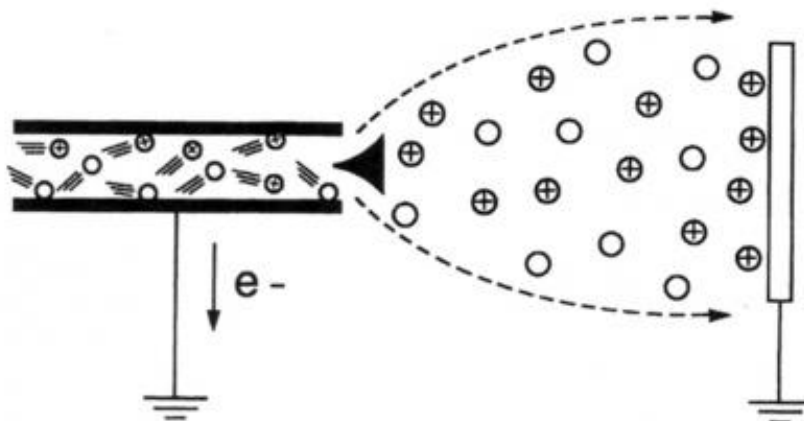


Obr. 18 Schéma principu elektrostatického práškového nabíjení [23]

Vysoké hodnoty napětí mají za následek také vznik elektrostatických polí mezi předmětem a tryskací pistolí. Tento jev je nazýván jako Faradayovy klece a důsledkem tohoto jevu je obtížné nanesení prášku na místech s nejnižší hustotou pole [23].

6.1.2 Tribostatické nabíjení práškové hmoty

Částice prášku jsou tribostatickým efektem (frikčně, elektrokineticky) nabíjeny při rychlém pohybu, kdy se otírají o speciální druh izolantu, kterým je vyložen vnitřní prostor stříkací pistole. Optimálního výkonu je dosaženo regulací průtoku vzduchu pistolí neboli poměru množství prášku a vzduchu.



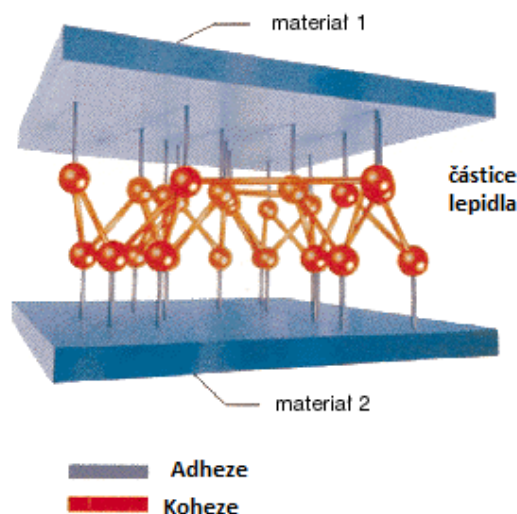
Obr. 19 Schéma principu tribostatického práškového nabíjení [23]

6.1.3 Podmínky pro úspěšné nanesení a vytvoření povlaku

- Kvalita stlačeného vzduchu
- Kvalita vzduchu v lakovně
- Kvalita práškové hmoty
- Dobré uzemnění předmětu
- Tepelné zpracování práškových hmot

7 CHARAKTERISTIKA LEPENÍ

Lepení je technologický postup, při kterém se dosahuje trvalého spoje a to buď stejných, nebo rozdílných materiálů pomocí lepidla. Lepidlo je látka, která je u vytváření spojů charakterizována svou adhezí a kohezí. Adhezí je nazývána přilnavost lepidla k lepenému předmětu a kohezí je označována vzájemná soudržnost částic lepidla. Výsledná koheze závisí na složení lepidla a konečné fázi lepení. Adheze i koheze je využito při lepení současně. Jestliže je adheze výsledného spoje větší než koheze spojovaných materiálů, projeví se to při mechanickém namáhání porušením mimo lepený spoj. Naopak je-li koheze lepeného materiálu větší než adheze lepeného spoje, projeví se to při mechanickém namáhání destrukcí lepeného spoje [24].



Obr. 20 Adheze a koheze v lepeném spoji [25]

7.1 Teorie difúze

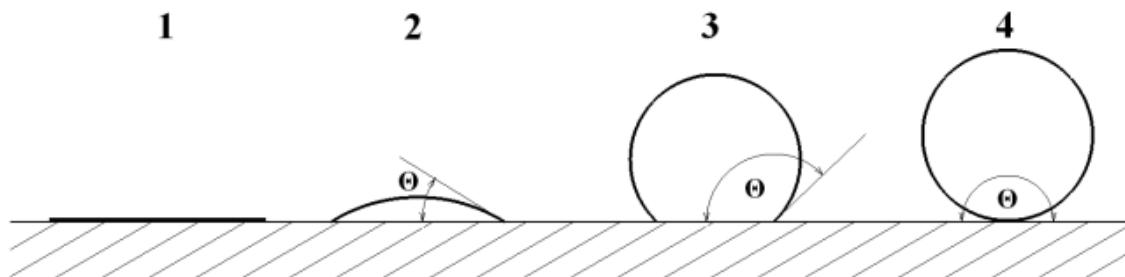
Teorii difúze je vysvětlována adheze mezi materiály na základě mikro – Brownova pohybu molekul. Tento pohyb umožňuje přechod molekul lepidla do lepeného materiálu a naopak. Difúze byla prokázána mikroskopicky pomocí fluoreskujících materiálů. Ze vztahu mezi adhezní účinností a podmínkami, kterými došlo k vlastnímu kontaktu, byly zjištěny tyto závěry:

- Adhezní účinnost se zvyšuje s rostoucí dobou kontaktu adherendů a lepidla.
- S rostoucím tlakem se zvyšuje kontaktní plocha a tím množství difundujících molekul.

- Se zvýšenou teplotou roste rychlost difúze molekul.
- Molekuly s menšími rozměry difundují rychleji, ale naopak vytvářejí méně pevné spoje.
- Rozvětvené molekuly a kopolymery s krystalickou strukturou ztěžují difúzi a snižují adhezi lepidel [24].

7.2 Teorie smáčení

V místech styku dvou fází vzniká mezifázové rozhraní, ve kterém se vyskytuje volná energie. Volná energie je výsledkem přitažlivé síly mezi molekulami na povrchu hmoty, která není vzájemně kompenzována jako uvnitř hmoty. Molekuly kapalin v povrchové vrstvě podléhají z velké části jednostrannému působení mezimolekulárních sil a zevnitř hmoty se vytváří na povrchu "blanka", která se snaží zabalit kapalinu do takového objemu, který má co nejmenší povrch, a to je tvar koule. Pevné látky se nemohou deformovat, a proto ovlivňuje roztečení kapaliny nebo lepidla po povrchu povrchová volná energie a tím dochází k různému stupni smáčení. Když síly povrchové energie podkladu jsou vyšší, jak součet sil sbalujících kapku kapaliny, tak dojde k porušení její stability a kapalina se rozprostře po povrchu a hovoříme o úplném smáčení povrchu. Síla působící v povrchové vrstvě na jednotku délky směrem do styčné plochy se vyjadřuje pomocí povrchového



Obr. 21 Smáčení povrchu [24]

- 1 – Úplné smáčení povrchu ($\Theta = 0$), 2 – částečné smáčení povrchu ($0 < \Theta < \pi/2$),
3 – málo smáčený povrch ($\pi/2 < \Theta < \pi$), 4 – zcela nesmáčený povrch ($\Theta = \pi$)

Jestliže má kapalina pevnou látku smáčet, což je základní podmínkou adheze, musí být povrchové napětí kapaliny menší než povrchové napětí podkladu [24].

8 TEORIE ADHEZE

Při aplikaci lepidla na povrchy, které mají být spojeny se musí stát dvě věci. Zaprvé se musí smáčet povrchy, což se projevuje šířením a tvorbou úhlu smáčení blížícímu se nule. Poté následuje vytvrzení na kompaktní pevnou látku. Smáčení zahrnuje vytvoření těsného kontaktu mezi molekulami lepidla a atomů a molekul povrchu. Vytvrzování může být chemickou reakcí, ztrátou rozpouštědla nebo vody, anebo ochlazením. Když je vytvořen kontakt mezi lepenými součástmi začnou se tvořit van der Waalsovy síly a další mezimolekulární síly. Mohou to být například chemické vazby, které se začnou tvořit v bodě styku povrchů během vytvrzování. To však bude záviset na druhu lepidla a spojovaného materiálu. V takovém případě, kdy může lepidlo proniknout do spojovaného materiálu před vytvrzením, může mechanické proplétání přispět ke zvýšení lepeného spoje. Proplétání polymerních molekul v lepidle s těmi ve spojovaném materiálu může mít za výsledek vzájemnou molekulární difuzi přes rozhraní. V dalších podkapitolách budou popsány teorie chemické a fyzikální adheze [26].

8.1 Chemická adheze

Chemické reakce v modelu adheze vyvolávají tvorbu vazeb kovalentních, iontových nebo vodíkových můstků. Nejsilnější energií disponují iontové vazby, druhou nejvyšší energii mají kovalentní vazby, další v pořadí jsou vodíkové můstky. Všemi těmito vazbami je dosaženo výrazně vyšší energie než-li je u van der Waalsových sil, které jsou zdrojem fyzikální adsorpce [26].

8.1.1 Kovalentní vazby

Elektrony jsou sdíleny v párech mezi vázanými atomy za účelem naplnění svých orbitalů. Je mnoho důkazů, že kovalentní vazby jsou vytvořeny se silanovými vazebnými činidly. Silanové vazební činidla mohou chemicky reagovat jak s podkladem, tak i s lepidlem a to následně tvoří systém kovalentních vazeb přes rozhraní, které je pevné a trvanlivé. Poprvé byli použity k úpravě skelných vláken před jejich začleněním do matric polyesteru nebo epoxidové pryskyřice a následného vytvoření kompozitu. Bez vhodné úpravy může do rozhraní skleněné vlákno – matrice vniknout voda což může způsobit katastrofální výsledky [26].

8.1.2 Iontové vazby

Iontové vazby vznikají, když jeden nebo více elektronů valenční vrstvy přejde do valenční vrstvy atomu jiného a to tak, že u obou bude dosaženo konfigurace inertního plynu. Jeden z nejvýraznějších důkazů mezifázových iotových párů, je skutečnost, že karboxylové kyseliny zvyšují adhezi ke kovům. Hlavním problémem je zde citlivost na vodu [26].

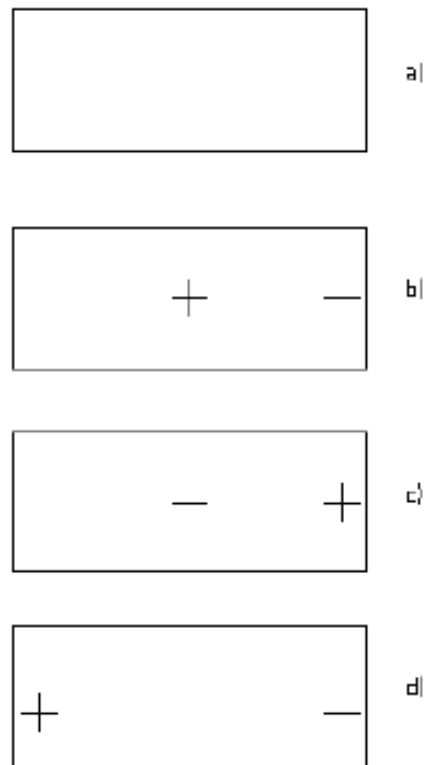
8.2 Adheze pomocí fyzikální adsorpce

Fyzikální adsorpce se podílí na všech spojujících vazbách a tak má velmi široké uplatnění v teorii adheze. Základem adsorpce jsou van der Waalsovy síly, které se vyskytují ve všech atomech a molekulách, které jsou dostatečně blízko u sebe. Jedná se o nejslabší ze všech mezimolekulárních sil, ale jsou dostatečně silnými pro vytvoření pevného spoje. Van der Waalsovy síly lze rozdělit na tři typy: dipólové, vodíkové můstky a disperzní [26].

8.2.1 Dipólové síly

Ke vzniku sil dochází tak, že při vazbě různých dvou atomů není společný elektronový pár pokaždé ve stejné vzdálenosti ke každému z obou atomů, ale bývá posunut k atomu, kterým je víc přitahován. Tento atom získá záporný náboj a druhý získá kladný náboj a vazba mezi nimi nabyde polárního charakteru. Dle polohy elektricky aktivních míst je možno molekuly rozlišit jako [24]:

- a) Molekuly bez aktivních míst – nepolární (Obr. 22a)
- b) Molekuly s aktivně negativními místy – negativně polární (Obr. 22b)
- c) Molekuly s aktivně pozitivními místy – pozitivně polární (Obr. 22c)
- d) Molekuly s aktivně pozitivními a aktivně negativními místy – pozitivně a negativně polární (Obr. 22d)



Obr. 22 Polarita látek [24]

8.2.2 Vodíkové můstky

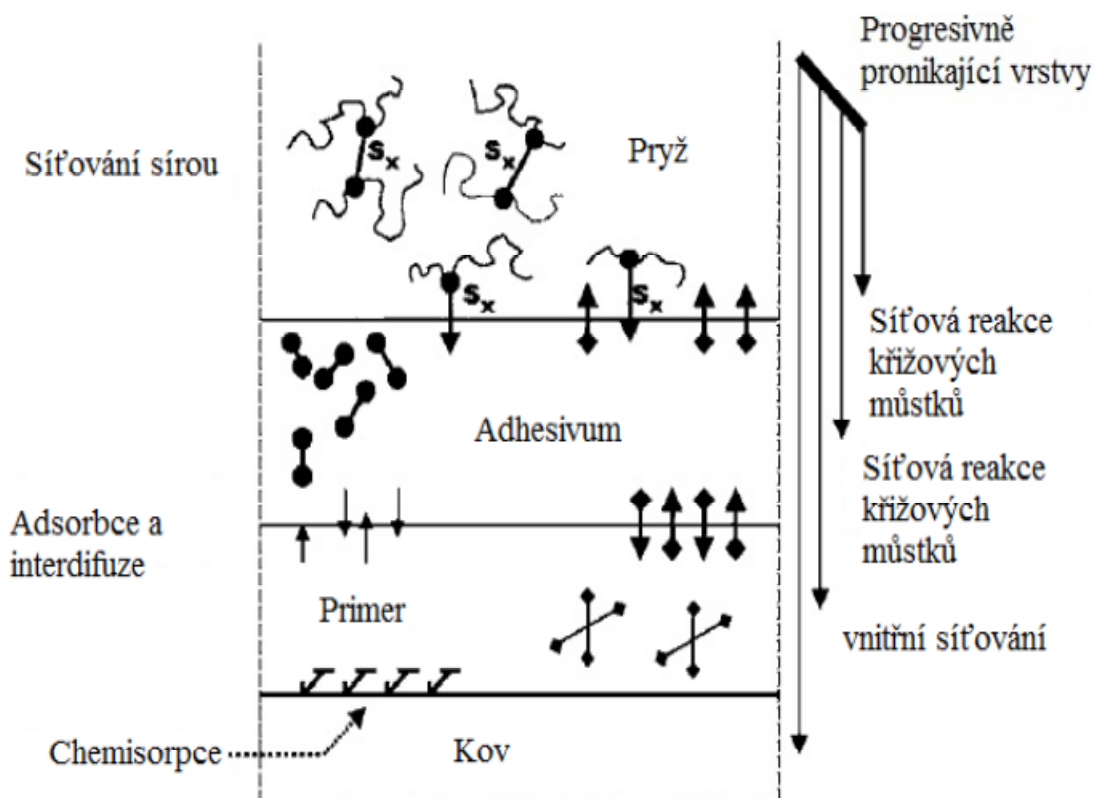
Vodíkové vazby jsou slabé a snadno se zlomí, ale i vytvoří. Vazba je utvořena z atomu vodíku, který je vázán na dva jiné atomy vodíku a je vytvořeno přemostění. Vodíkové můstky lze vytvořit pouze mezi atomy, které jsou elektronegativní (O, N, F, S), přičemž nejsilnější vazby mohou být vytvořeny s fluorem, protože má nejvyšší elektronegativitu. Energie vodíkových můstků je deseti násobně menší než u vazby kovalentní [26].

8.2.3 Disperzní síly

Nejslabšími van der Waalsovými silami jsou disperzní síly a vytvářejí se mezi nepolárními molekulami. Jejich podstatou je stále měnící se rozložení elektronů v atomu nebo malé molekule. Krátkodobě může nastat jev, kdy na jedné straně atomu je více elektronů než na druhé [26].

9 CHRAKTERISTIKA VULKANIZACE PŘI TVORBĚ SPOJŮ

Nátěrové hmoty označované jako primer obsahují pro pojení pryže s kovem organické pryskyřice, které reagují během vulkanizace s většinou kovových povrchů a tím dochází k vytvoření chemických vazeb. Tyto nátěrové hmoty také obsahují polymery, kterými je umožněno vytvoření lepšího pojivového filmu a tím tvoří podpůrnou roli pro aplikaci vrstvy adheziva. Polymerní materiály obsažené ve spojovacím prostředku jsou mísitelné s přísadami obsaženými v nátěru a stejně tak i v kaučukové směsi a tím slouží ke spojení odlišných částí. Velká část z nich jsou založené na halogenových polymerech, které jsou efektivní při smáčení povrchů a ochraně před chemikáliemi. Adhesivum obsahuje také silná reakční činidla, která reagují s polymery. Difunkční a polyfunkční chemické sloučeniny umožňují tepelné zpracování a reakci po celé vrstvě nátěrové hmoty. Vulkanizační proces je velice komplexní a objevuje se při něm několik chemických reakcí, které probíhají ve velice krátkém čase. Chemické reakce jsou znázorněny na Obr. 23 [21].



Obr. 23 Schéma reakcí při vulkanizačním procesu [21]

Všechny tři organické složky systému spoje (primer, adhesivum, pryž) během tvarování vulkanizují nebo prostupují do sousední vrstvy. Je to způsobeno přítomností

pryskyřic nebo dalších přidaných reakčních činidel. Síťovací reakce zvyšuje molární hmotnost a celkovou kohezní pevnost vrstev.

Prvním článkem systému je primer na kovovém povrchu. Kromě inertních reakcí také reagují v primeru pryskyřice s oxidy kovů na povrchu kovu a jsou vytvářeny kovaletní vazby. Tato reakce se nazývá chemisorpce a je oproti fyzikální adsorpci mnohem odolnější. Druhým článkem systému je reakce mezi primerem a adhesivem. Reakční činidlo obsažené v adhesivu migruje nebo vzlíná v průběhu vulkanizace do primeru a tvoří mezi nimi chemickou vazbu. Polymerní film primeru reaguje s vrstvou adhesiva a zesiluje vazby mezi vrstvami. Třetí rozhraní je mezi adhesivem a pryží. Reakční činidlo v adhesivu reaguje při vulkanizaci s pryží a vytváří chemickou vazbu mezi adhesivem a pryží. Tyto vazby jsou nazývané jako příčné můstky. Dále se z pryže dostává nezreagovaná síra do vrstvy adhesiva, která pomáhá vytvořit další příčné můstky mezi těmito vrstvami.

Spojovací systémy pryž – kov můžeme rozdělit do dvou kategorií a to do dvouvrstvých (primer/cover) a jednovrstvých. U dvouvrstvých obsahuje primer látky, které především vytváří trvanlivou vazbu s kovem. Cover především obsahuje látky vytvářející vazby s pryží. Oba systémy mají své výhody i nevýhody. Dvouvrstvý systém je odolnější, ale zároveň dražší než jednovrstvý systém. Jednovrstvý systém je levnější, ale na druhou stranu není tak účinný jako dvouvrstvý systém [21].

9.1 Post – vulkanizace

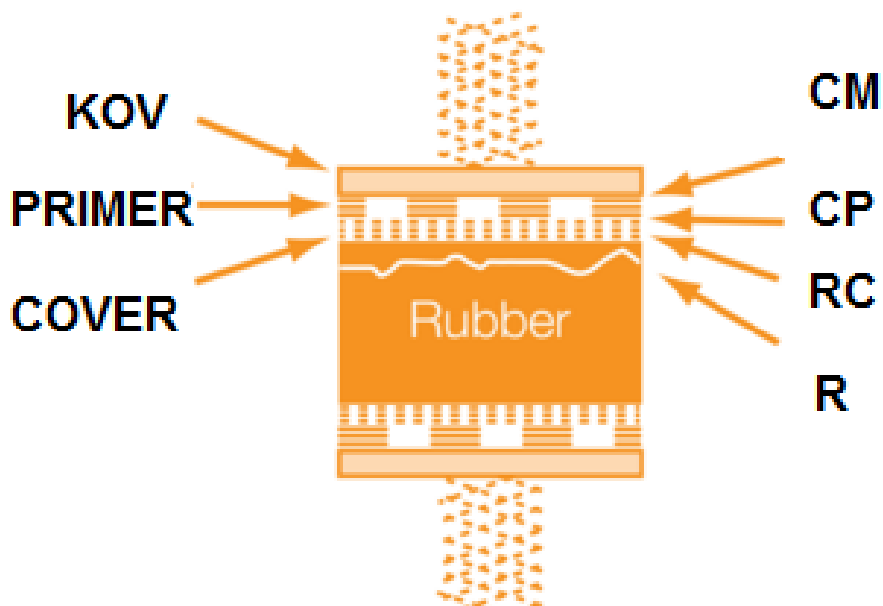
Post – vulkanizace je speciální proces, u kterého probíhá pojení pryže s kovem. Při tomto procesu se nanáší adhezivum na kov stejně jako při vulkanizačním pojení, ale pryž má již svůj výsledný tvar a je částečně zvulkanizovaná. Pro post – vulkanizaci nejsou vhodná všechna adhesiva a jejich výběr je omezený. Vulkanizovaná pryž, která se bude pojít, musí mít očištěný povrch od nežádoucích látek, které by mohly narušit spojení. Pro očištění může být použit buď mechanický nebo chemický způsob. Mechanický způsob je např. leštění smirkovým papírem. Mezi chemické způsoby lze zahrnout chlorování, což vytvoří reaktivní prostředí, kde pojivo může působit, a změnit také povrchovou energii pryže a je poté jednodušší pro adhezivum smáčet povrch pryže. Upravená pryž, která je pokryta spojovacím prostředkem se pojí s kovem pomocí přípravků nebo forem za pomoci zvýšené teploty a tlaku. Post – vulkanizace má své výhody i nevýhody. Výhodou je nepotřebnost drahých forem pro výrobu komponentu a lze požadované části spojit za nižších teplot. Na druhou stranu mezi nevýhody patří nutnost dalších technologických

kroků, kdy se napřed zhotoví pryžový výrobek, poté se nanese adhesivum a následně se až vytváří daný spoj mezi součástmi. Jako příklady vytváření spoje pomocí post – vulkanizace lze uvést silentbloky na automobilech a úchyty motoru v automobilech [21].

9.2 Typy vad při pojení

Spoj pryže s kovem je zajištěn pomocí příčných vazeb a z toho vyplývá, že každý spoj je tak silný jako nejslabší místo. Když se vyskytne ve spoji vada, se stává toto místo nejslabším. Většina nedostatků vzniklých při pojení je přisuzováno jedné vadě, případně jejich kombinacím. Pro testování soudržnosti mezi kovem a pryží existuje norma, která se označuje ASTM D429. Tato norma popisuje jednotlivé vady [21]:

- CM – vada mezi primerem a kovem
- CP – vada mezi adhezivem a primerem
- RC – vada mezi pryží a adhezivem
- R – vada pryže



Obr. 24 Typy vad spojů [29]

Vada mezi primerem a kovem (CM) ukazuje problém při přípravě kovu. Nebo při nanášení primeru. Tento typ vady je charakterizován výskytem čistých ploch na kovovém povrchu, bez vrstvy spojovacího systému. Příčinou také může být znečištění vrstvy

primeru, nedostatečné zaschnutí, nedostatečné rozmíchání primeru nebo vliv okolního prostředí.

Vada mezi adhesivem a primerem (CP) je charakterizována výskytem primeru na spojovaném dílu a adhesivem na povrchu pryže. Primer a adhesivum mají pro lepší identifikaci odlišné barvy. Selhání spoje je způsobeno znečištěním povrchu primeru před nanesením adhesiva, nedostatečným zaschnutím primeru před nanesením adhesiva, přestupem změkčovadel z pryže do rozhraní adhesivum – primer nebo vzájemnou neslučitelností adhesiva s primerem [21].

Poškození mezi pryží a adhesivem (RC) je charakterizováno hladkým povrchem s malým výskytem pryže anebo bez ní. K selhání může dojít nesprávnou volbou spojovacího systému, nedostatečným zaschnutím spojovacího systému, nedostatečným rozmícháním, navulkanizováním spojovacího systému před samotným pojením s pryží, nízkým tlakem ve formě, přestupem změkčovadla do rozhraní spoje nebo znečištěním povrchu.

Vada pryže (R) není vada spoje, ale selhání vzájemné soudržnosti pryže. To znamená, že spojení mezi vrstvou spojovacího systému a pryží je silnější, než odolnost samotné pryže proti porušení [21].

9.2.1 Doporučené tloušťky nátěru

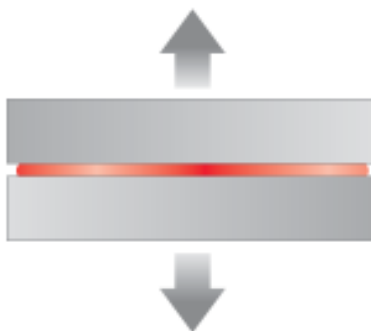
Některé povrchy, na které se má nanášet nátěr, mají nepravidelnou strukturu, a proto by se mělo dbát na to, aby se nepřesáhla maximální hodnota pro tloušťku nátěru. Měla by být vybrána vhodná tloušťka vrstvy, protože vrstvy, které mají méně jak 10 μm , mohou způsobit vady spoje a naopak příliš tlustá místa mohou způsobit separaci jednotlivých vrstev nebo praskání při plnění formy. Odolnost spojovacích prostředků je před spojováním obecně silnější ve vyšších vrstvách. Tloušťky spojovacího nátěru by se tedy měly pohybovat od 10 μm po 30 μm [21].

10 ZKOUŠENÍ A HODNOCENÍ KVALITY SPOJE

Hodnocení kvality spoje kov – pryž se provádí za pomoci normy ASTM 429, kterou je zkoušena přilnavost gumy a tuhého kovového podkladu. Tento test je rozdělen do metod A až H přičemž nepoužívanějšími jsou A a B, které budou níže také popsány. Pro úspěšné testování je základem dodržení stanovených požadavků daných normou, aby bylo minimalizováno zkreslení výsledků [19].

10.1 Metoda A

Metoda A je používána pro hodnocení statické pevnosti adheze pryže s kovem pomocí tahové zkoušky. Vzorky pro tuto metodu jsou cylindrické. Pryžový vzorek je umístěn mezi dvěma kovovými podklady [19].



Obr. 25 Metoda A

10.1.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro laboratorní testování se připravují vzorky následujícím způsobem:

- Nařezání nevulkanizovaných částí pryže na požadované rozměry
- Sestavení pryže - kovového dílu pro vulkanizaci ve formě
- Vulkanizace samotného dílu ve formě při dané teplotě a po daný čas, který se mění v závislosti na použité kaučukové směsi
- Po vulkanizaci se nechají vzorky minimálně 16 hodin odležet

10.1.2 Testování zkušebních vzorků

Vzorek připraven k testování se připevní do zkušebního stroje, kde se dbá na vycentrování a nastavení aby bylo napětí rovnoměrně rozděleno. Aplikuje se stabilní tahové zatížení při konstantní rychlosti stroje, dokud se neoddělí pryž od kovu, nebo nepraskne. Když dojde k prasknutí pryže tak se pevnost spoje neměří, protože pevnost spoje je větší než pevnost samotné pryže. Hodnota adheze (R_A) se vypočítá dle vzorce:

$$R_A = \frac{F_A}{A_A} \quad [N/mm^2] \quad (1)$$

Kde F_A je maximální síla při přetržení zkušebního vzorku a A_A je plocha zkušebního vzorku [19,20].

10.2 Metoda B – odlupovací zkouška 90°

Metoda B je určena ke stanovení adhezivní pevnosti použitých při spojování pryže s kovem. Pryžová část je připevněna na jednom kovovém dílu. Výsledky jsou získány změřením síly potřebné k oddělení pryže z povrchu kovu. Dosažené údaje ukazují sílu adheze podél čáry přes šířku pryžového pásu při oddělení od kovové destičky v úhlu 90° [19,20].



Obr. 26 Metoda B

10.2.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro laboratorní testování se připravují vzorky následujícím způsobem:

- Nařezání nevulkanizovaných částí pryže na požadované rozměry
- Sestavení pryže - kovového dílu pro vulkanizaci ve formě
- Vulkanizace samotného dílu ve formě při dané teplotě a po daný čas, který se mění v závislosti na použité kaučukové směsi
- V rámci testování jsou vzorky od sebe částečně odděleny [19,20]

10.2.2 Testování zkušebních vzorků

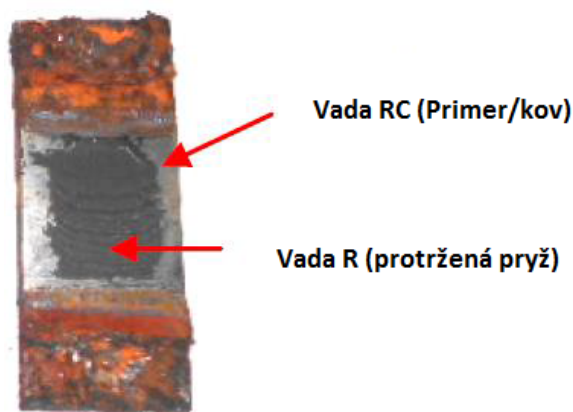
Vzorek připraven k testování se připevní do zkušebního stroje, kde se dbá na vycentrování. Před nastavením zatížení se pryžový pásek z kovové destičky ve vzdálenosti přibližně 2 mm ohne a s pomocí ostrého nože odřízne od kovové destičky. U zkoušení je polovina pryže spojená s kovem a druhá polovina je bez spoje. Polovina bez spoje je uchycena do čelisti a je nastaveno tahové zatížení a konstantní odlupovací rychlost pod úhlem 90°. Měřením je získána maximální odlupovací síla a vyhodnocení povrchu. Velikost adhezní síly (R_B) se vypočítá ze vzorce:

$$R_B = \frac{F_B}{b} \quad [N/mm] \quad (2)$$

kde F_B [N] je maximální síla při odlupování a b [mm] je šířka zkušebního tělíska [19,20].

10.3 Příklad hodnocení typu selhání spoje

U příkladu je ukázán postup vyhodnocení selhání spoje (Obr. 20). Daný typ vady je uváděn v procentech, pro náš příklad např. 60R, 40RC kde nám říká, že se vyskytují dva typy selhání, přičemž 60% poškození pryže a 40% vykazuje poškození pryže na povlaku. Stejným způsobem se postupuje u vyhodnocování u vzorků, kde se nachází více typů selhání spoje [21,22].



Obr. 27 Příklady typů selhání

11 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části diplomové práce byly sepsány kapitoly týkající se tvorby spoje pryž – kov. První kapitola pojednávala o typech kaučuků, jejich rozdělení a základní charakteristice. Druhá kapitola se zabírala složením kaučukové směsi, jejími přísadami jako jsou plniva, aktivátory vulkanizace, urychlovače vulkanizace, antidegradanty a funkcemi jednotlivých přísad. V další kapitole byla popsána vulkanizace a její způsoby. Následoval stručný popis epoxidových pryskyřic. Následující kapitoly pojednávaly o přípravě povrchu před samotným vytvářením spoje a to jak mechanické tak i chemické, a o metodách nanášení nátěrových hmot, mezi které patří hlavně stříkaní. Mezi další okruh byla zařazena také charakteristika lepení, ve které byla zahrnuta teorie difúze a teorie smáčení povrchu. V kapitole adheze se pojednávalo o teorii chemické adheze a o adhezi pomocí fyzikální adsorpce, kde byly sepsány druhy vznikajících vazeb. V další části, která nesla název „*Charakteristika vulkanizace při tvorbě spojů*“ byly popsány chemické reakce, princip a použití post – vulkanizace, výběr spojovacího prostředku a typy vad, které mohou nastat při selhání spoje pryž – kov. Poslední část teoretické části diplomové práce se zaměřila na hodnocení kvality spoje pomocí destruktivní zkoušky podle normy ASTM D429.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

12 CÍL EXPERIMENTŮ

V první části experimentální práce budou vyválnčovány dvě gumárenské směsi na požadovanou tloušťku danou normou. Následně budou stanoveny vulkanizační křivky gumárenských směsí pro stanovení základních vlastností a poté bude prováděna vulkanizace směsí na optimum vulkanizace, tj. 90%, a nasekaní vzorků na rozměry dané normou. V první části se ještě budou vyšetřovat viskozity jednotlivých nástřiků a drsnosti destiček s jinými úpravami povrchu.

Hlavním cílem experimentu je měření a vyhodnocení zkušebních tělísek s různým složením a rozdílnými charakteristikami spojovacího prostředku pro spoj mezi kovem a pryží. Zkušební tělíška budou ze dvou gumárenských směsí. Charakteristiky spojovacího prostředku, které se mění při samotném nanášení jsou viskozita, tloušťka nástřiku spojovacího prostředku a ohřev pryžových vzorků před samotným nástřikem.

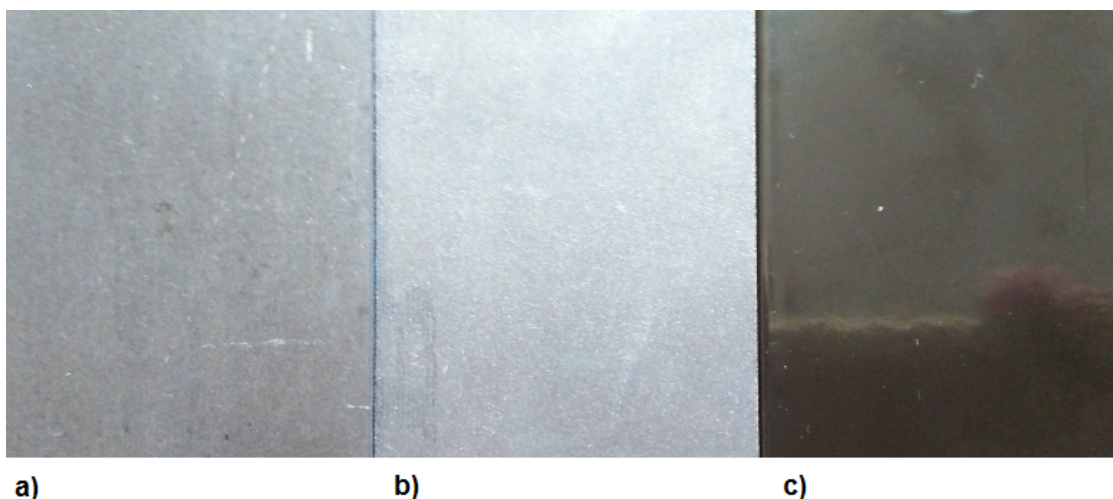
Jednotlivé kombinace charakteristik nástřiků a druhů pryže se budou porovnávat mechanickou zkouškou odlupování podle normy ASTM D429-B, kdy se budou následně také vyhodnocovat jednotlivé typy vad selhání spoju, které ovlivňují kvalitu spoje kov – pryž. Pro vyhodnocování jednotlivých vad bude použito vizuální hodnocení s jehož pomocí budou procentuálně zaznamenány jednotlivé typy vad. Získaná data s různými charakteristikami nástřiku poté budou statisticky porovnávána. Cílem experimentální části bude nalezení závislosti parametrů nástřiku na dosažené pevnosti spoje.

13 PŘÍPRAVA VZORKŮ

13.1 Příprava kovových destiček

Pro experiment byly použity kovové destičky hardox pálené plazmou o rozměrech 100x50x3. Výrobce uvedl tvrdost 450 HBW a pevnost v tahu 1400 MPa. Destičky byly opracovány metodou brokování pro odstranění koroze a lepší přilnavosti epoxidové barvy. Po brokování se přistoupilo k nalakování epoxidovou barvou. Před samotným pojením pryže s kovem byly kovové destičky vždy zdrsňeny smirkovým papírem pro vytvoření kvalitnějšího spoje.

Na následujícím Obr. jsou uvedeny kovové destičky s různými úpravami povrchu.



Obr. 28 Kovové destičky s různými úpravami povrchu a) destička bez úpravy, b) brokovaná destička, c) lakovaná destička

13.2 Zkoušky kovových destiček

U kovových destiček bylo provedeno několik zkoušek:

- Prvková analýza
- Měření drsnosti
- Test přilnavosti

13.2.1 Prvková analýza

Prvková analýza kovových destiček byla provedena na Energiově Disperzním rentgenovém spektrometru (ED-XRF). Metoda je nedestruktivní, spolehlivá a bez namáhavé přípravy vzorků. Je také vhodná pro pevné, kapalné i sypké skupenství vzorků.

Může být použita pro široký rozsah prvků. Konkrétně použitý přístroj byl od společnosti Thermo Scientific [30].



Obr. 29 Energiově Disperzní rentgenový spektrometr [30]

Prvková analýza byla prováděna na kovové destičce, u které byl upraven povrch metodou brokování. Destičku s úpravou povrchu metodou brokování můžeme vidět na Obr. 28. Prvkové složení je uvedeno v tab. 1. V tabulce není uvedena procentuální zastoupení uhlíku, který nejde touto metodou detekovat.

Tab. 1 Prvkové složení brokované destičky

Fe [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ca [%]	Ti [%]	Ni [%]	P [%]	Mo [%]
96,930	1,260	1,000	0,308	0,140	0,101	0,093	0,068	0,038

13.2.2 Měření drsnosti kovových destiček

Měření drsnosti se provádělo na přístroji Form Talysurf od společnosti Taylor Hobson. Tento přístroj je určen pro měření povrchů dotykovou metodou s širokým výběrem vyměnitelných doteků a patentovanou kalibrací. Systém měřidla zahrnuje vše důležité pro měření povrchů a jejich drsností, kde jsou zahrnuty i parametry vlnitosti a analýza chyb [31].



Obr. 30 Přístroj Form Talysurf Intra [31]

Drsnost byla měřena na kovových destičkách s různými úpravami povrchu jako jsou brokování, lakování, lakování s následným zdrsňením povrchu smirkovým papírem a na destičce bez úpravy. Drsnost byla také měřena na reálných vzorcích, které byli nalakované a zdrsňeny laserem a smirkovým papírem. Protože na experimentální část je použito metody zdrsňení povrchu smirkovým papírem, byly poté porovnány naměřené hodnoty u kovových destiček a reálných vzorků zdrsňených smirkovým papírem. Výsledné hodnoty jsou ukázány v tab. 2. a 3.

Tab. 2 Naměřené hodnoty drsností kovových destiček

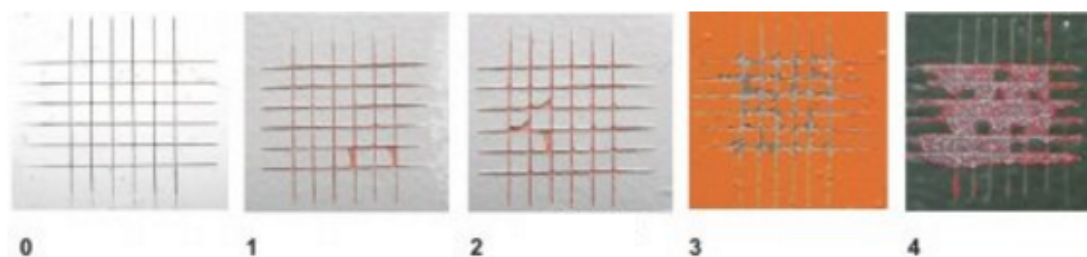
	Typ úpravy povrchu kovové destičky			
	Bez úpravy	Brokováná	Lakovaná	Lakovaná - zdrsňená smirk. papírem
měření č.	Hodnoty drsností R_a v [μm]			
1	1,76	1,96	0,11	0,70
2	1,51	2,72	0,11	0,65
3	1,83	2,11	0,11	0,69
Průměr	1,70	2,26	0,11	0,68
Směr. odch.	0,14	0,33	0,00	0,02

Tab. 3 Naměřené hodnoty drsností reálných vzorků

	Typ zdrsňení reálných vzorků	
	Laser	Smirk. papír
měření č.	Hodnoty drsností v Ra [μm]	
1	0,79	0,76
2	0,89	0,82
3	0,81	0,79
Průměr	0,83	0,79
Směr. odch.	0,04	0,02

13.2.3 Test přilnavosti laku

Zkouška přilnavosti laku na lakované kovové destičce se prováděla pomocí mřížkového testu podle normy ČSN EN ISO 2409. Podstata metody je vyhotovení šesti rovnoběžných řezů a šesti dalších řezů, které jsou na ty první kolmé. Řezy jsou vyhotoveny pomocí řezacího nože a řezy musí proniknout až na podkladový materiál. Zkouška je využitelná pro nátěry do tloušťky 250 μm . Hodnocení mřížky se provádí odtržením nspecifikované samolepící pásky z vyhotovené mřížky. Norma rozlišuje šest klasifikačních stupňů přilnavosti, viz. Obr. 31 [32].



Obr. 31 Klasifikační stupnice hodnocení přilnavosti laku [32]

Po provedení testu přilnavosti na lakované destičce nevykazovala mřížka žádné známky odloupení laku a tudíž lze hodnotit stupněm 0 – řezy bez poškození.

13.3 Příprava pryžových pásků

Pro účely experimentální části byly použity dvě gumárenské směsi v nenavulkanizovaném stavu ve formě pásků. Jejich přesné složení není známo z důvodu chráněné receptury. Základní informace jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Základní parametry gumárenských směsí

Označení směsi	Základní elastomer	Specifikace směsi
U	NR/BR	Pevnost v tahu 14,2 MPa
		Tvrdost 55 Sh A
		Hustota 1,14 g/cm ³
I	NR	Obsah sazí 30 dsk
		Obsah siliky 15dsk bez silanizačního činidla
		Tvrdost 55 Sh A
		Pevnost v tahu 16 MPa

13.3.1 Válcování

Gumárenské směsi od dodavatelů byly dodány ve formě úzkých pásků, proto bylo nutné vyválcovat směsi do pásů a na požadovanou tloušťku danou normou pro testování ASTM 429 – B. Válcování bylo prováděno na dvouválci značky Scientific. Tento konkrétní dvouválec byl od společnosti Labtech Engineering.



Obr. 32 Dvouválec Scientific

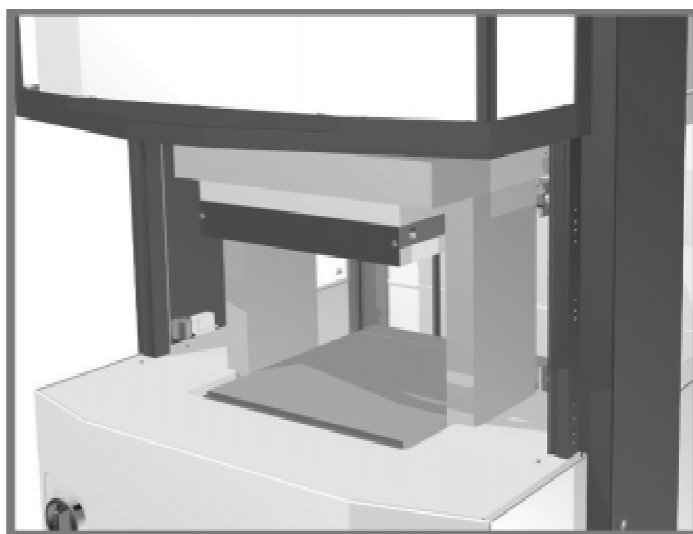
13.3.2 Vulkanizace

Po vyvácování obou směsí se přistoupilo k jejich vulkanizování na jejich optimum, tedy 90 %. Vulkanizace probíhala v lisovací formě o rozměrech 150 x 150 x 5,5 mm, do které bylo naváženo takové množství směsi, aby byla po vulkanizaci zcela vyplněna pryží. Tato forma byla umístěna mezi dvě vyhřáté lisovací desky, vložena do hydraulického lisu a následně stlačena pohyblivou deskou lisu. Vulkanizační časy na optimum, tedy 90 % byli zjištěny z vulkanizačních křivek jednotlivých směsí. Parametry vulkanizace jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Parametry vulkanizace

Označení směsi	Parametry vulkanizace		
	Teplota [°C]	Tlak [kN]	Čas [min]
U	160	200	5,28
I	160	200	4,71

Vulkanizace se prováděla na hydraulickém lisu LabEcon 300. Tento přístroj je určen pro základní lisovací operace s polymery, pryží a kompozity. Maximální nastavitelná teplota je 300°C a uzavírací síla 300 kN. Pracovní plocha lisu je 320 x 320 mm. Konkrétní přístroj byl od firmy FONTIJNE PRESSES [33].



Obr. 33 Hydraulický lis FONTIJNE LabEcon 300[33]

13.3.3 Vysekávání

Po vulkanizaci směsí na optimum, tj. 90 % následovalo vysekávání pryžových vzorků z pryžových destiček na rozměry 125 x 25 x 5,5 mm. Z každé destičky o rozměrech 150 x 150 x 5,5 mm bylo zhotoveno 5 vzorků. Vysekávání bylo prováděno pomocí vysekávacího nože.



Obr. 34 Hydraulický vysekávací stroj a vysekávací nůž

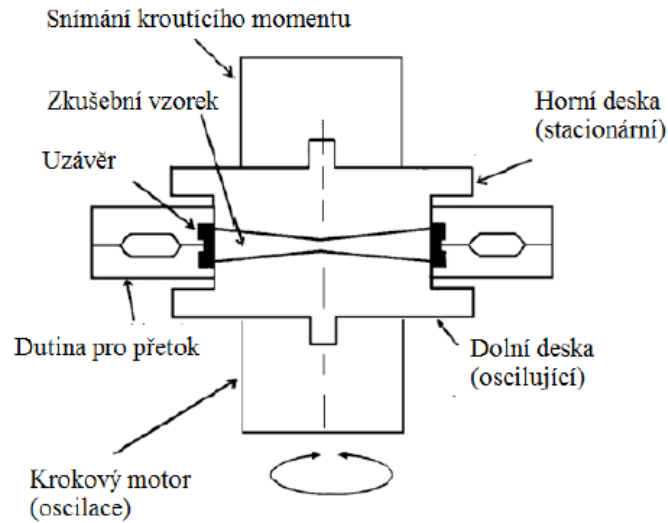
13.4 Zkoušky pryží

U pryžových směsí byly provedeny tyto zkoušky

- Stanovení vulkanizační křivky
- Tahová zkouška

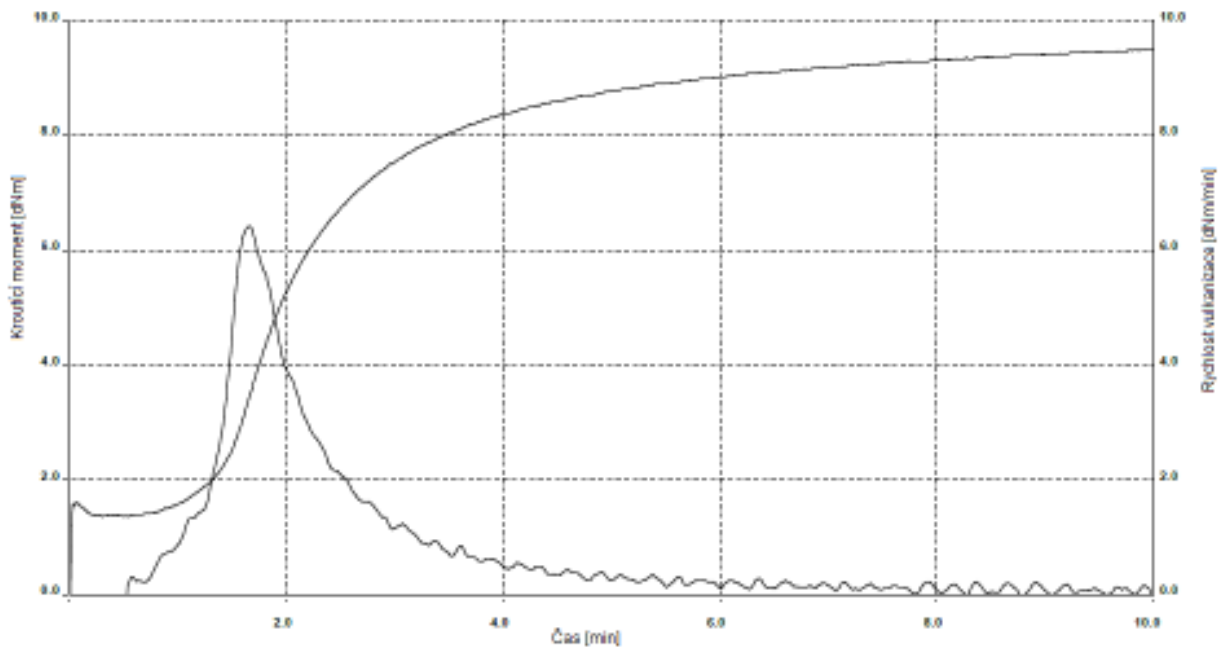
13.4.1 Stanovení vulkanizační křivky

Stanovení vulkanizačních křivek bylo prováděno na dvou nezvulkanizovaných směsích na přístroji MDR 3000. Tento přístroj je určen pro měření viskoelastických vlastností elastomerních a pryžových směsí před, během a po vulkanizování. Přístroj je tvořen dvěma bikonickými deskami, kdy spodní deska je poháněna krokovým motorem, kterým je vyvozena oscilace působící na zkoušený vzorek pod frekvencí oscilace a dochází ke smykové deformaci. Snímač umístěn na horní desce indikuje kroutící moment, který je úměrný síle přenášené vzorkem. Frekvence oscilace je standartně nastavená na hodnotu 1,667 Hz [34].

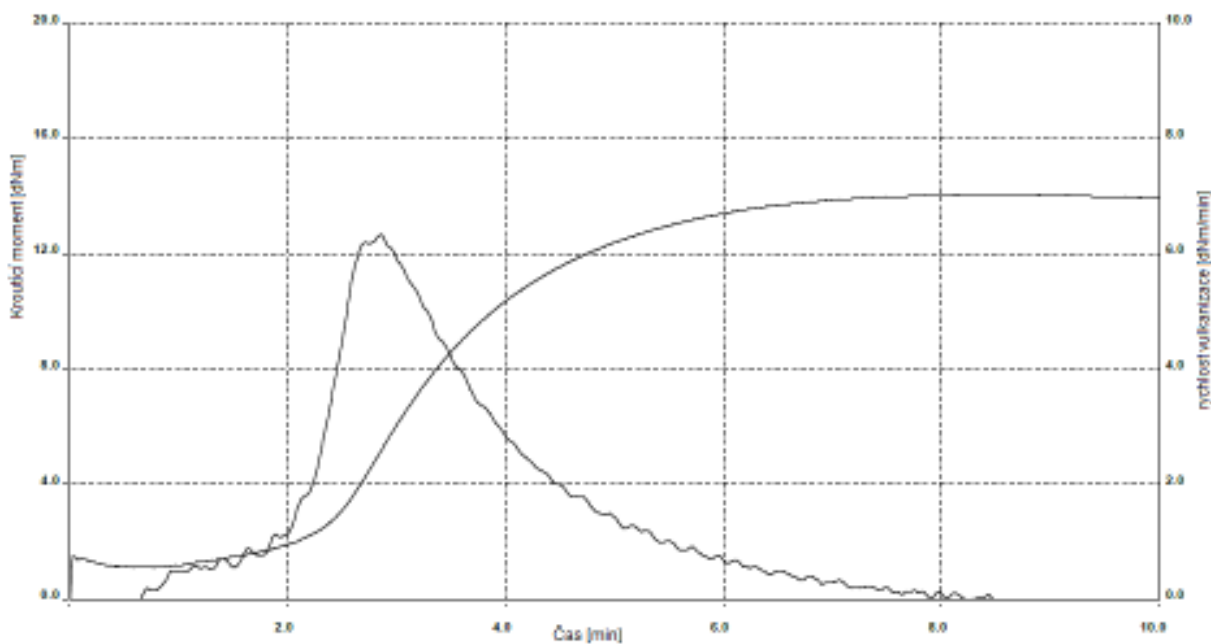


Obr. 35 Schéma reometru [34]

Před samotným měřením se z obou nezvulkanizovaných směsí vysekaló testovací tělíčko ve tvaru kolečka na přístroji R – VS 3000, který je určen pro přípravu tělísek pro měření na reometru. Měření vulkanizační charakteristiky se provádělo při teplotě 160 °C s frekvencí oscilace 1,667 Hz po dobu 10 minut.



Obr. 36 Vulkanizační křivka a křivka rychlosti vulkanizace směsi U



Obr. 37 Vulkanizační křivka a křivka rychlosti vulkanizace směsi I

Z obr. 36. je patrné, že vulkanizační křivka stoupá a vzniká kráčejší modul, což může mít za příčinu větší množství syntetického kaučuku nebo vyšší dávkování aktivátorů. Na druhé straně na obr. 37. je viditelný pokles vulkanizační křivky tzv. reverze. Pokles vulkanizační křivky u této směsi byl zaviněn vyšším podílem přírodního kaučuku. U této křivky je také patrná nižší rychlost vulkanizace, která je zapříčiněna obsahem siliky ve směsi.

Tab. 6 Hodnoty vulkanizačních charakteristik zkoušených směsí

Označení směsi	M_H [dNm]	M_L [dNm]	t_{70} [min]	t_{90} [min]	t_{s2} [min]
U	9,50	1,36	2,66	4,71	1,65
I	14,06	1,09	3,93	5,28	2,50

Parametry z vulkanizační křivky:

M_H Nejvyšší krouticí moment [dNm]

M_L Nejmenší krouticí moment [dNm]

t_{70} Materiál je ze 70 % navulkanizován [min]

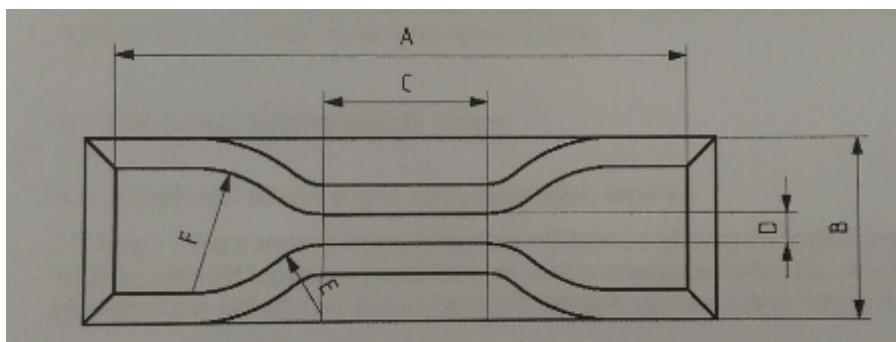
t_{90} Optimum vulkanizace, doba odpovídající dosažení 90 % změny krouticího momentu mezi nejmenší a nejvyšší hodnotou [min]

t_{s2} Bezpečnostní doba vulkanizace [min]

Jak můžeme vidět v tab. 6. směs U dosahuje menších hodnot M_H než směs s označením I, což mohlo být způsobeno odlišným složením jednotlivých směsí. Hodnota času bezpečnosti vulkanizace t_{s2} je také u směsi U nižší než u směsi I, což má za následek kratší vulkanizační cyklus. Čas k dosažení vulkanizačního optima t_{90} je tedy u směsi U 4,71 min a u směsi I 5,28 min.

13.4.2 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla prováděna na univerzálním trhacím přístroji Testometric M350, který je řízený počítačem. Přístroj používá komplexní software WinTest Analysis a byl využit pro měření pevnosti v tahu a tažnosti. Měření se provádělo podle normy s názvem *Stanovení tahových vlastností u pryže z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků s označením ČSN ISO 37 (62 1436)*. Pro zkoušku se zvolilo testovací tělísko ve tvaru oboustranných lopatek typ 2. Z každé směsi byly před začátkem zkoušky vysekuty tři testovací tělíska na vysekávacím zařízení.

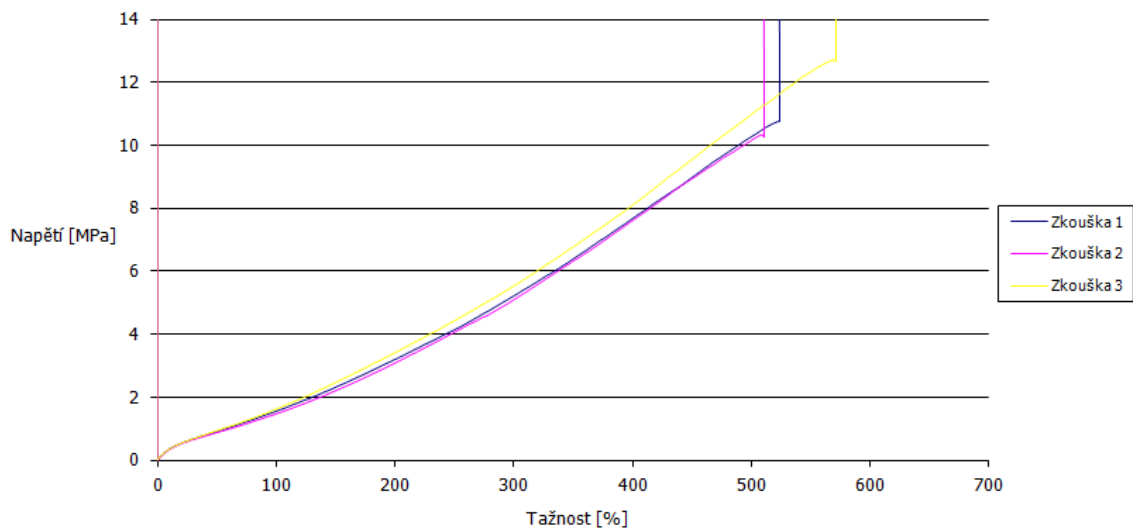


Obr. 38 Rozměry vysekávacího nože typu 2

Tab. 7 Rozměry vysekávacího nože typu 2

	Rozměr [mm]
A - Celková délka	75
B - Šířka lopatek	12,5 ± 1,0
C - Délka zúžené části	25 ± 1
D - Šířka zúžené části	4 ± 0,1
E - Přejíždový poloměr vnější	8 ± 0,5
F - Přejíždový poloměr vnitřní	12,5 ± 1

Před samotným zahájením zkoušky byl vzorek upnut do vertikálních čelistí. Dolní čelist byla statická a horní čelist byla posuvná s nastavenou rychlostí posuvu 500 mm/min. Poté byly změřeny rozměry každého testovacího tělíska, které byly následně zaznamenány do software testovacího zařízení. Pevnost v tahu byla měřena až do samotného roztržení vzorků a následně vyhodnocena ze zaznamenaného průběhu zkoušky.

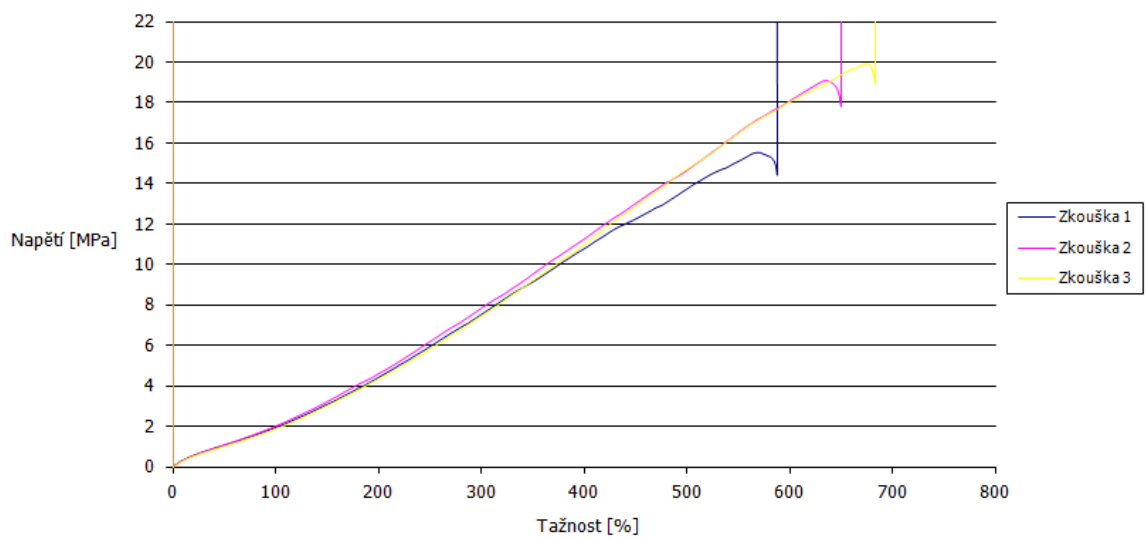


Obr. 39 Graf tahové zkoušky směsi U

Průměrná hodnota pevnosti v tahu u směsi U, která činila 11,253 MPa, se liší od hodnoty danou výrobcem, která činí 14,2 MPa. Tento rozdíl u směsi U byl nejspíš způsoben delším časovým úsekem mezi vulkanizací směsi a samotným zkoušením nebo rychlejší degradací směsi.

Tab. 8 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky směsi U

Zkouška č.	Šířka [mm]	Tloušťka [mm]	Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost [%]
1	3,80	2,32	10,780	524
2	3,82	2,23	10,287	511
3	3,89	2,19	12,691	571
Průměr	3,84	2,25	11,253	535
Směr. odch.	0,04	0,05	1,037	26



Obr. 40 Graf tahové zkoušky směsi I

Průměrná hodnota pevnosti v tahu u směsi I činí 17,107 MPa, která se výrazně neliší od hodnoty dané výrobcem.

Tab. 9 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky směsi I

Zkouška č.	Šířka [mm]	Tloušťka [mm]	Pevnost v tahu [Mpa]	Tažnost [%]
1	3,95	2,38	14,488	588
2	3,89	2,36	17,866	649
3	3,87	2,31	18,968	683
Průměr	3,90	2,35	17,107	640
Směr. odch.	0,03	0,03	1,906	39

13.5 Pojící prostředek

Jedná se univerzální pojivo vhodné pro dvousložkový nástřik jako krycí nátěr, nebo jako v našem případě pro jednosložkový nástřik pro pojení elastomerních sloučenin na kovové a plastové podklady v průběhu vulkanizace. Tento pojící prostředek je složen ze směsi rozptýlených polymerních částic, síťovacích činidel a suspenzí pevných částic v organickém rozpouštědle.

Pojící prostředek je určen pro pojení gumárenských směsí jejichž základ tvoří přírodní kaučuk (NR), izoprenový kaučuk (IR), butadien -styrenový kaučuk (SBR), butadienový kaučuk (BR), butadien – akrylonitrilový kaučuk (NBR), chloroprenový kaučuk (CR) a další. Další vlastnosti jsou ukázány v tab. 10.

Tab. 10 Charakteristika pojícího prostředku

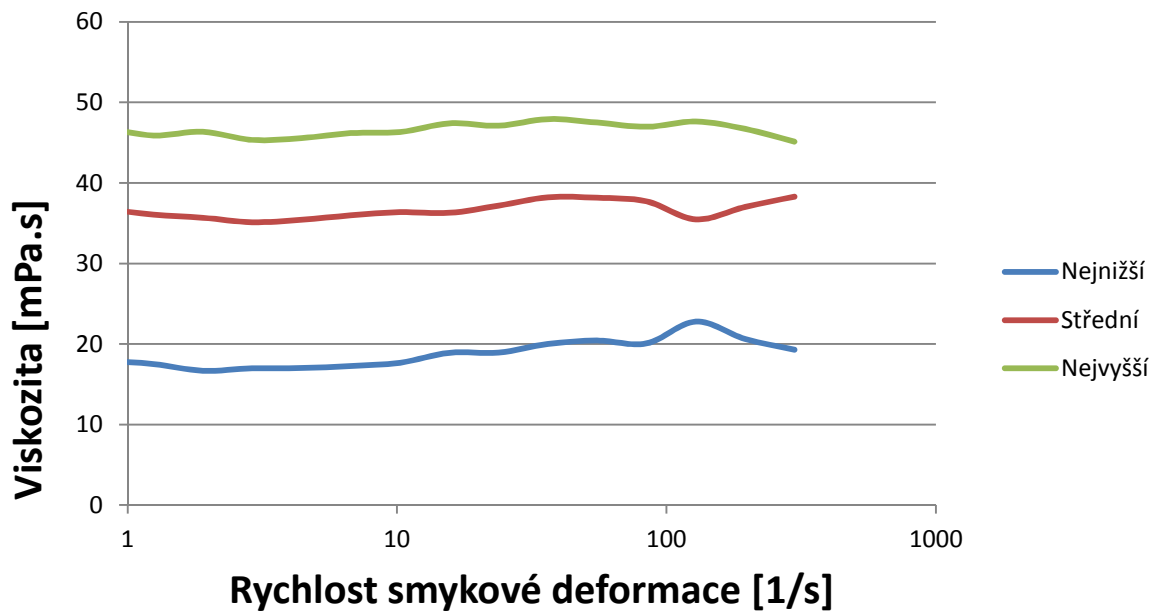
	Pojící prostředek
Hustota	0,98 - 1,02 [g/cm ³]
Rozpouštědlo	Xylen, Toluén
Životnost	12 měsíců při teplotě pod 25 °C
Vlastnosti	Odolnost vůči teplu, oleji a rozpouštědlům a proti korozi

13.5.1 Měření viskozity pojícího prostředku

Měření viskozity se provádělo na spojovacím prostředku zředěným xylenem na tři různé viskozity, na nejnižší, střední a nejvyšší. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou viskozit byli 4 s. Pro lepší představu v jakém rozsahu jednotek Pa.s se viskozity pohybují byli vzorky přeměřeny na rotačním viskozimetru Bohlin Gemini CVOR 150. Měření probíhalo v ustáleném smykovém toku metodou válec – válec, která je vhodná pro nízkoviskozní kapaliny. Měření probíhalo při teplotě 25 °C a v rozsahu rychlostí smykových deformací 0,1 - 300 1/s.

Při procesu stříkání pojícího prostředku dochází k vyšším rychlostem smykové deformace, proto se průměrné hodnoty naměřených viskozit berou od hodnoty rychlosti smykové deformace 55,3 1/s. Z výsledků je patrný větší rozdíl mezi nejnižší a střední

viskozitou. Je to dáno tím, že při míchání spojovacího prostředku se xylenem jsou dány určité tolerance a střední hodnota viskozity je namíchána u horní tolerance. Měření průtokovým viskozimetrem také nemusí být naprosto přesné.



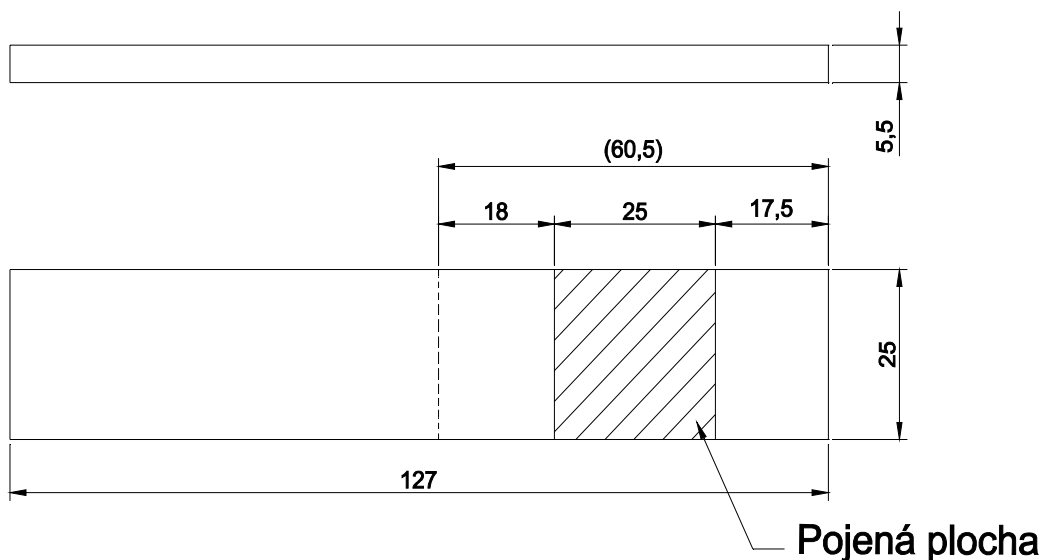
Obr. 41 Hodnoty viskozit pro jednotlivé pojící prostředky

Tab. 11 Naměřené hodnoty viskozity pro pojící prostředek

Bod č.	Rychlost smykové deformace	Viskozita		
		Nejnižší [mPa.s]	Střední [mPa.s]	Nejvyšší [mPa.s]
1	0,0996	30,3	30,3	47,4
2	0,1517	24,6	38,4	43,5
3	0,2313	21,7	37,0	45,9
4	0,3524	20,1	38,0	47,7
5	0,5371	19,5	37,1	46,3
6	0,8186	18,1	36,7	46,7
7	1,2480	17,5	36,1	45,9
8	1,9010	16,7	35,7	46,4
9	2,8980	16,9	35,1	45,3
10	4,4180	17	35,4	45,6
11	6,7330	17,3	36	46,2
12	10,2600	17,7	36,4	46,3
13	15,6400	18,9	36,3	47,4
14	23,8300	18,9	37,2	47,1
15	36,2900	20	38,2	47,9
16	55,3000	20,4	38,2	47,5
17	84,3000	20,1	37,7	47,0
18	128,5000	22,8	35,5	47,6
19	195,8000	20,6	37,0	46,7
20	298,4000	19,3	38,3	45,1
	Průměr	20,6	37,3	46,8
	Směr. Odch.	1,2	1,0	0,9

13.6 Pojení pryže s kovem

Před samotným pojením pryžových pásků s kovovými destičkami byly pryžové pásky nastříkány spojovacím prostředkem s různými parametry. Každý procesní parametr nabýval třech hodnot s označením nejnižší, střední a nejvyšší. Rozdíl u viskozity mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byli 4 s. Rozdíl u tloušťky nástřiku mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byl 10 μm a rozdíl u teploty ohřevu mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byl 20 $^{\circ}\text{C}$. Tyto kombinace parametrů jsou uvedeny v tab. 12. Kombinace pro obě gumárenské směsi s označením U a I byli stejné. Pojená plocha viz. Obr. 42. je 25 x 25 mm. Zbylá část pryžového pásku byla zakryta aluminiovou fólií, aby nedošlo k vytvoření spoje. Celková část, která se překrývá s kovovou destičkou je 60,5 mm a zbylá část přesahuje přes destičku. Před samotným spojováním se musí dbát, aby povrch kovové destičky byl čistý, bez prachu a vlhkosti a z tohoto důvodu byli destičky vždy očištěny ethalonem.



Obr. 42 Nákres pryžového testovacího tělíška s vyznačením pojené plochy

Tab. 12 Kombinace procesních parametrů pojícího přípravku

kombinace	viskozita [s]	tloušťka vrstvy [um]	teplota ohřevu [°C]
1	Nejnižší	Nejnižší	Nejvyšší
2	Nejnižší	Nejnižší	Střední
3	Nejnižší	Nejnižší	Nejnižší
4	Nejnižší	Střední	Nejvyšší
5	Nejnižší	Střední	Střední
6	Nejnižší	Střední	Nejnižší
7	Nejnižší	Nejvyšší	Nejvyšší
8	Nejnižší	Nejvyšší	Střední
9	Nejnižší	Nejvyšší	Nejnižší
10	Střední	Nejnižší	Nejvyšší
11	Střední	Nejnižší	Střední
12	Střední	Nejnižší	Nejnižší
13	Střední	Střední	Nejvyšší
14	Střední	Střední	Střední
15	Střední	Střední	Nejnižší
16	Střední	Nejvyšší	Nejvyšší
17	Střední	Nejvyšší	Střední
18	Střední	Nejvyšší	Nejnižší
19	Nejvyšší	Nejnižší	Nejvyšší
20	Nejvyšší	Nejnižší	Střední
21	Nejvyšší	Nejnižší	Nejnižší
22	Nejvyšší	Střední	Nejvyšší
23	Nejvyšší	Střední	Střední
24	Nejvyšší	Střední	Nejnižší
25	Nejvyšší	Nejvyšší	Nejvyšší
26	Nejvyšší	Nejvyšší	Střední
27	Nejvyšší	Nejvyšší	Nejnižší

Pro post – vulkanizaci byl použit stejný přístroj jako pro vulkanizaci pryžových destiček na optimum. Jedná se o hydraulický lis LabEcon 300 od firmy FONTIJNE PRESSES. Na hydraulickém lisu byli nastaveny parametry potřebné pro pojení, teplota 160 °C, tlak 100 kN a čas 180 s.

Vzorky určené pro pojení byly umístěny na spodní lisovací desku a překryty horní lisovací deskou a poté byla tato sestava vložena do vyhřátého lisu na předepsanou dobu. Po uplynutí této doby byli vzorky přesunuty do ručního vulkanizačního lisu, kde probíhalo chládnutí spojených vzorků. Před samotným testováním vytvořených vzorků bylo nutné ponechat zkušební tělíska 16 h odležet podle normy ASTM D429 – B.



Obr. 43 Ruční lis

14 HODNOCENÍ KVALITY SPOJE KOV - PRYŽ

Hodnocení kvality spoje kov – pryž je hlavní segment praktické části diplomové práce. Hodnocení spoje je prováděno dvěma způsoby:

- Hodnocením kvality spoje odlupovací zkouškou
- Vyhodnocením vad spoje

14.1 Hodnocení kvality spoje odlupovací zkouškou

Odlupovací zkouška byla prováděna na univerzálním trhacím přístroji Testometric M350, který je řízený počítačem. Přístroj používá komplexní software WinTest Analysis a byl využit pro měření adhezní síly při odlupování. Cílem měření bylo vyhodnotit závislost pevností spojů (adhezi) na jednotlivých zvolených charakteristikách pojícího prostředku. Základní parametry přístroje jsou uvedeny v tab. 13.



Obr. 44 Testometric M350 – 5CT [35]

Tab. 13 Technické parametry trhačích přístroje
Testometric 350 [35]

Pracovní zatížení	5 kN
Rychlost posuvu	0,001 - 2000 mm/min
Dráha příčnicku	1100 mm

14.1.1 Postup měření odlupovací zkoušky

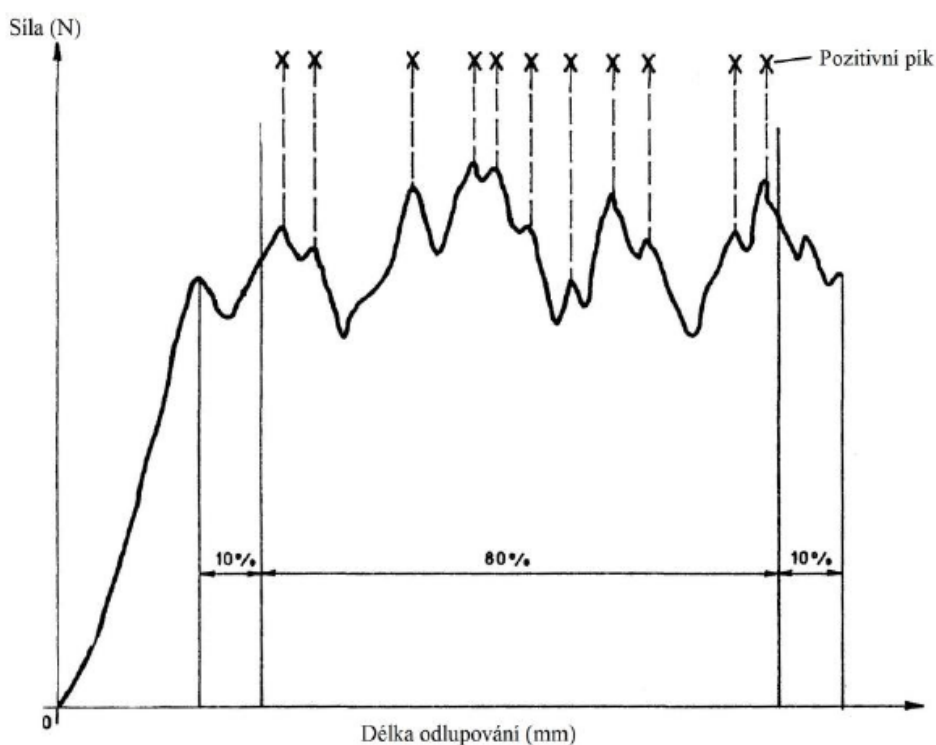
Před samotným měřením byl zkušební vzorek upnut do čelistí. Kovová destička byla připevněna šroubovým spojem k horizontální pohyblivé čelisti. Část pryžového pásku, která přesahovala přes kovovou destičku byla uchycena do vertikální posuvné čelisti pod úhlem 90°. Následně byly nastaveny potřebné parametry pro samotné zkoušení jako rychlost posuvu a rozměry testovacího tělíska. Na začátku zkoušky se nejdříve pohybovala horní čelist směrem nahoru rychlostí 50 mm/min a sní se zároveň začala pohybovat horizontální čelist konstantní rychlostí. Měření pokračovalo až do samotného přetržení vzorku. Průběh zkoušky byl zaznamenáván do softwaru, který vykresloval graficky průběh zkoušky i další statistické údaje. Ze záznamu zkoušky byla poté vyhodnocena výsledná síla spoje. Následně byly také vyhodnoceny jednotlivé vady testovaného spoje vizuální metodou.



Obr. 45 Upnutí zkušební vzorku do čelistí

14.1.2 Vyhodnocení adheze spoje

Pro vyhodnocení soudržnosti mezi pryžovým páskem a kovovou destičkou byla použita norma ČSN 62 1461. Síla při přetržení F_B se určuje z grafického průběhu zkoušky, kdy se sečtou hodnoty pozitivních píků a poté se zprůměrují. Píky vzhledem k jejich výkyvům se pro výpočet berou jenom ze střední oblasti viz. Obr. 46. Takto získané hodnoty lze použít pro porovnávání soudržnosti pryže s kovem [36].



Obr. 46 Ukázka vyhodnocení soudržnosti spoje dle ČSN62 1461 [36]

Pro výpočet pevnosti spoje se vycházelo ze vzorce:

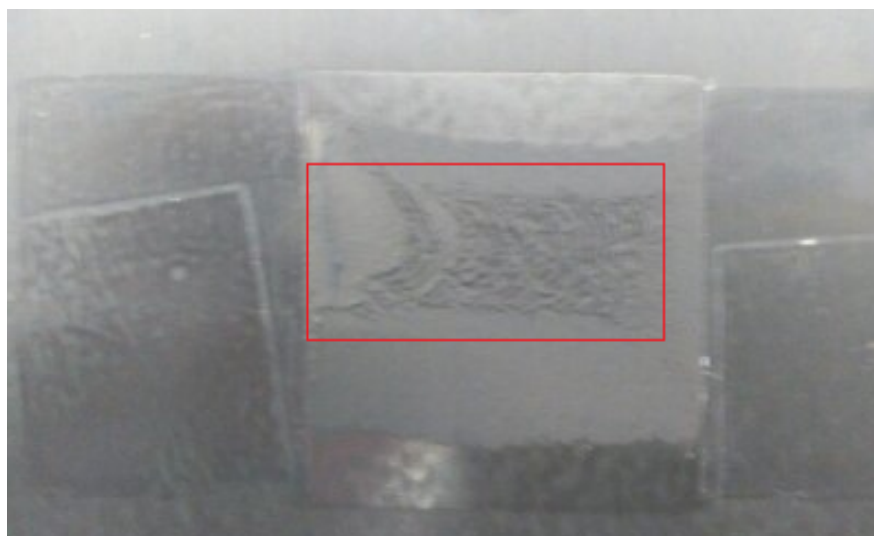
$$R_B = F_B/b \quad (3)$$

kde F_B [N] je síla z grafického průběhu zkoušky vypočítaná dle normy ČSN 62 1461 a b [mm] je šířka zkušebního tělíska.

Výsledek je aritmetický průměr hodnot soudržnosti všech těles pro daný typ pryže s danou kombinací procesních parametrů nástřiku.

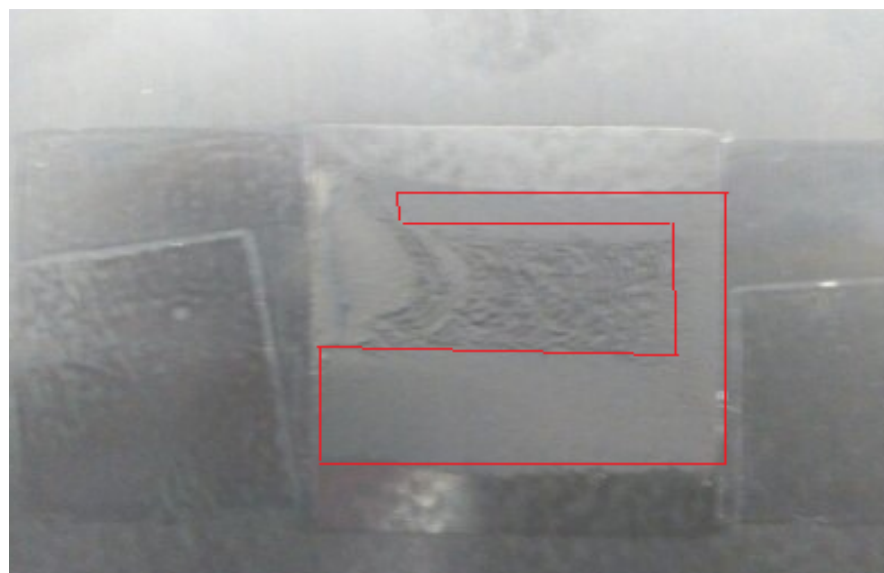
14.2 Vyhodnocení vad spojů

Po hodnocení kvality (pevnosti) spoje odlupovací zkouškou následovalo vyhodnocení jednotlivých vad spojů na zkušebních tělíscích. U vyhodnocování mohlo dojít ke třem následujícím vadám. První z nich byla vada R, což je vada pryže. Druhá vada je označena jako RC, což je vada mezi spojovacím prostředkem a pryží. Poslední, třetí možnou vadou, která se může naskytnout při vyhodnocování, je vada CM, která odpovídá selhání spoje mezi spojovacím prostředkem a kovovou destičkou. U většiny testovacích tělísek se objevily v určitém poměru, který se měnil, všechny typy vad.



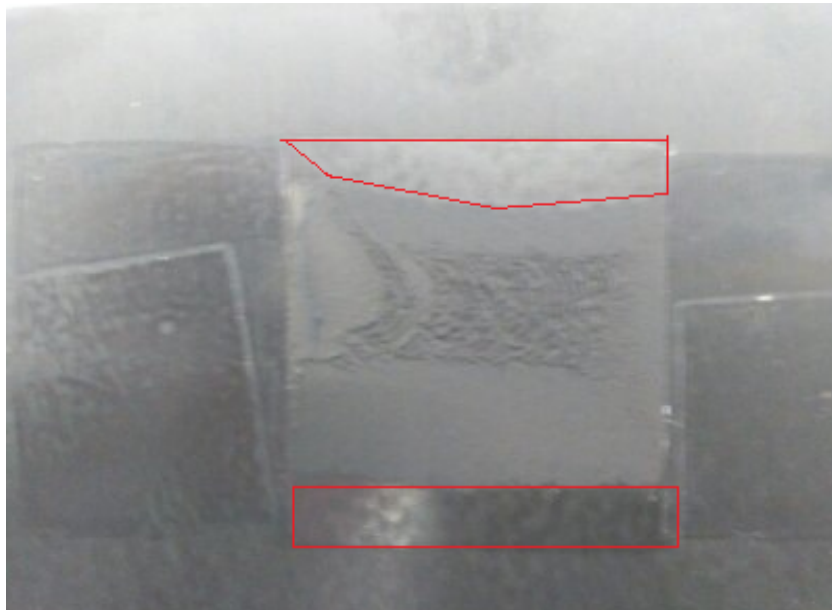
Obr. 47 Ukázka vady R

U této vady došlo k selhání spoje v pryži, což znamená, že nejslabší článek je samotná pryž. K dosažení kvalitnějšího spoje je potřebné maximalizovat poměr vady R k ostatním vadám.



Obr. 48 Ukázka vady RC

Vada RC je známkou, že nejslabší místo spoje je mezi spojovacím prostředkem a pryží.



Obr. 49 Ukázka vady CM

U této vady CM došlo k selhání spoje mezi spojovacím prostředkem a kovovou destičkou. Tato vada se ve většině případů vyskytovala na krajních částech spojovaného místa.

15 VÝSLEDKY A DISKUZE

Pro účely praktické části diplomové práce byly použity dvě gumárenské směsi s označením U a I. Obě směsi byly zvulkanizovány na optimum, tedy 90%, a nasekány na vzorky o požadovaných rozměrech pro další normalizované testování. Následovalo nastříkání zkušebních vzorků pojícím prostředkem. U nástřiku byly měněny tři hodnoty procesních parametrů a to viskozita pojícího prostředku, tloušťka nástřiku pojícího prostředku a teplota ohřevu pryžových vzorků před samotným nanášením pojícího prostředku. Pro každý procesní parametr byly zvoleny tři hodnoty s označením nejnižší, střední a nejvyšší, které byly zkoušeny. U viskozity byl rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou 4 s. Rozdíl u Tloušťky nástřiku pojícího prostředku mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byl 10 μm a rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou u teploty ohřevu pryžových vzorků byl 20 $^{\circ}\text{C}$. U obou gumárenských směsí byly vyhotoveny matice kombinací procesních parametrů nástřiku pojícího prostředku. Matice byly pro obě směsi totožné a činili 27 kombinací procesních parametrů, které je možno vidět v tab. 12. Pro obě směsi a každou kombinaci byly zhotoveny tři zkušební vzorky.

Nastříkané vzorky byly následně spojovány metodou post - vulkanizace podle normy ASTM D429 – B s kovovými destičkami, na kterých byl nanesen lak v podobě epoxidové barvy a které byly dále zdrsňeny smirkovým papírem. U všech pryžových vzorků opratřených spojovacím prostředkem byla dodržena expirační doba skladování.

U vzorků, které byly spojeny metodou post – vulkanizace se provedla odlupovací zkouška na přístroji Testometric M350, z níž se stanovila síla adheze pro každou kombinaci procesních parametrů. Následně byla vizuálně vyhodnocována kvalita vytvořených spojů.

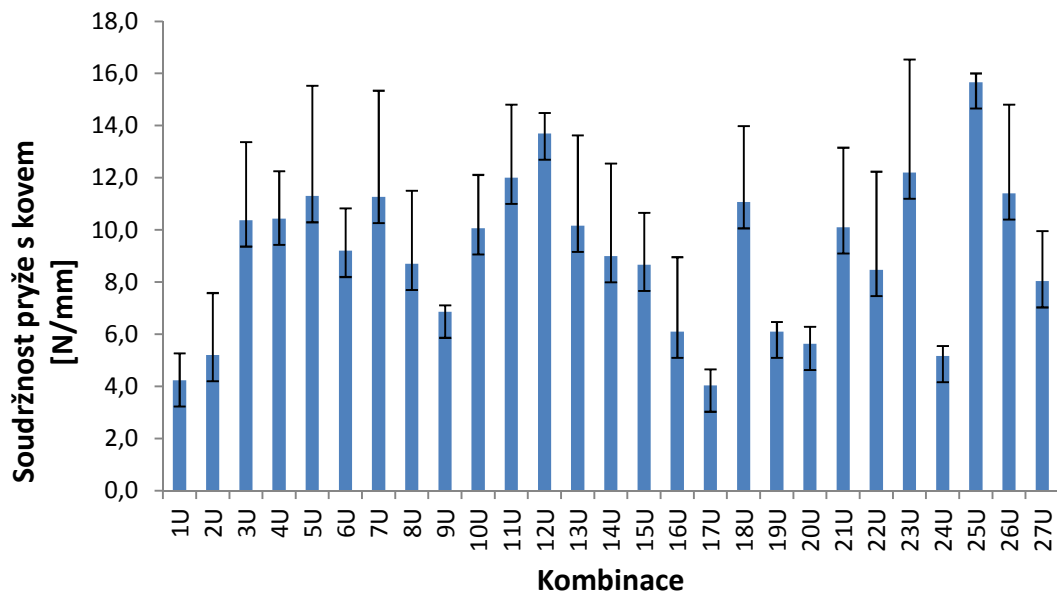
Cílem této práce je za podobných podmínek vyhodnotit vliv jednotlivých procesních parametrů nástřiku spojovacího prostředku na kvalitu spoje a výslednou pevnost spoje lakované destičky zdrsňenou smirkovým papírem s dvěma různými gumárenskými směsmi.

15.1 Vyhodnocení směsi U

U první směsi s označením U byly naměřeny hodnoty soudržnosti pryže s kovem, které jsou uvedeny v tab. 14, a pro lepší porovnání jsou také zobrazeny na obr. 50. Vyhodnocovány byly všechny tři procesní parametry a jejich vliv na výslednou soudržnost pryže s kovem.

Tab. 14 Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem pro směs U

Označení	Soudržnost pryže s kovem [N/mm]			Průměr	Směr. odch.
	Měření				
	1	2	3		
1U	3,6	3,4	5,7	4,2	1,0
2U	4,8	2,5	8,3	5,2	2,4
3U	7,9	8,6	14,6	10,4	3,0
4U	10,9	8,0	12,4	10,4	1,8
5U	16,1	5,8	12,0	11,3	4,2
6U	6,9	10,5	10,2	9,2	1,6
7U	5,5	14,1	14,2	11,3	4,1
8U	4,8	10,0	11,3	8,7	2,8
9U	6,8	6,6	7,2	6,9	0,2
10U	12,7	7,7	9,8	10,1	2,0
11U	14,6	13,3	8,1	12,0	2,8
12U	13,0	13,3	14,8	13,7	0,8
13U	12,1	13,1	5,3	10,2	3,5
14U	6,1	14,0	6,9	9,0	3,6
15U	11,4	7,9	6,7	8,7	2,0
16U	2,3	6,8	9,2	6,1	2,9
17U	3,2	4,7	4,2	4,0	0,6
18U	15,0	8,0	10,2	11,1	2,9
19U	5,7	6,0	6,6	6,1	0,4
20U	6,4	4,8	5,7	5,6	0,7
21U	8,9	14,3	7,1	10,1	3,1
22U	13,8	5,9	5,7	8,5	3,8
23U	6,1	15,8	14,7	12,2	4,3
24U	4,8	5,0	5,7	5,2	0,4
25U	15,2	16,0	15,8	15,7	0,3
26U	10,9	7,5	15,8	11,4	3,4
27U	7,2	6,2	10,7	8,0	1,9



Obr. 50 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti všech kombinací směsí U

Z grafu je možné vyčíst, že nejvyšší průměrné hodnoty soudržnosti pryže s kovem u směsi U dosáhla kombinace 25U s hodnotou 15,7 N/mm. Druhou nejvyšší průměrnou hodnotu soudržnosti pryže docílila kombinace 12U s hodnotou 13,7 N/mm a jako třetí nevyšší průměrné hodnoty soudržnosti pryže dosáhla kombinace 23U.

Absolutně nejvyšší pevnost soudržnosti pryže s kovem lze vyčíst z tab. 14., která činí 16,1 N/mm a dosáhl jí první vzorek u kombinace 5U. Druhou nejvyšší absolutní pevnost dosáhl druhý vzorek u kombinace 25U s hodnotou 16 N/mm. Třetí nejvyšší absolutní pevností byla hodnota 15,8 N/mm, které dosáhly tři vzorky, kterými byly druhý vzorek u kombinace 23U, třetí vzorek u kombinace 25U a třetí vzorek u kombinace 26U.

Jak z tab. 14, tak i z obr. 50 jsou patrné u některých kombinací velké hodnoty směrodatné odchylky, které jsou způsobeny vyšším rozptylem naměřených hodnot. Tento problém by bylo možné vyřešit větším množstvím naměřených vzorků u každé kombinace, avšak toto již nebylo s ohledem na časovou náročnost práce možné provést.

15.1.1 Vyhodnocení vad

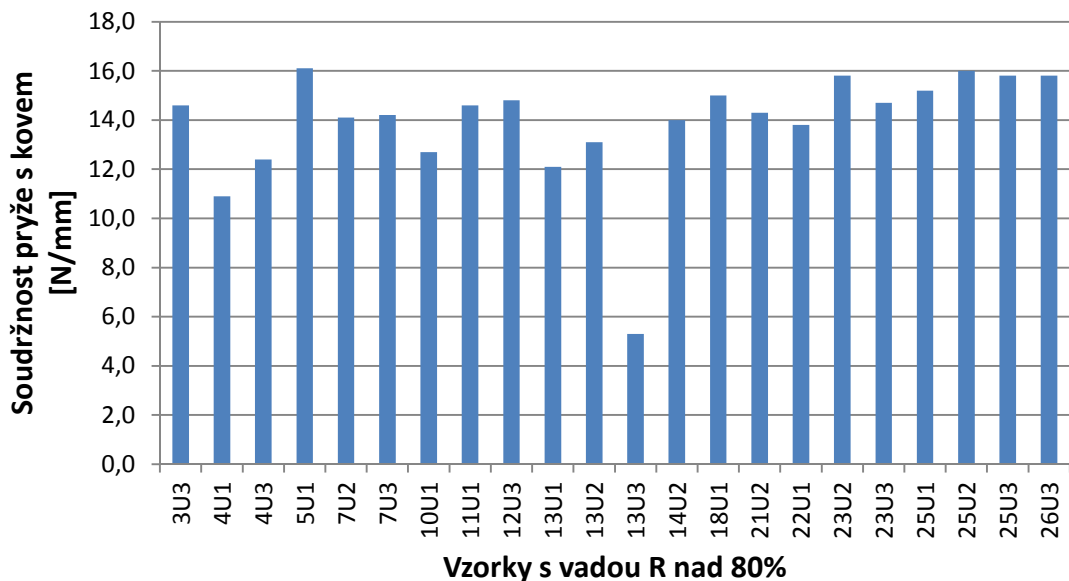
Vyhodnocení selhání spojů se provádělo vizuální metodou, kde procentuální zastoupení jednotlivých vad je zobrazeno v tab. 15.

Tab. 15 Přehled vad u všech vzorků směsi U

Kombinace	Vzorek	Vada		
		R [%]	RC [%]	CM [%]
1U	1	40	60	0
	2	20	30	50
	3	30	25	45
2U	1	35	30	35
	2	25	35	40
	3	40	45	15
3U	1	20	75	5
	2	20	80	0
	3	90	5	5
4U	1	95	0	5
	2	65	5	30
	3	95	0	5
5U	1	90	10	0
	2	20	70	10
	3	60	30	10
6U	1	35	55	10
	2	40	45	15
	3	50	40	10
7U	1	25	70	5
	2	85	10	5
	3	85	10	5
8U	1	15	55	30
	2	60	25	15
	3	70	20	10
9U	1	15	55	30
	2	20	70	10
	3	25	60	15
10U	1	85	5	10
	2	30	65	5
	3	45	50	5
11U	1	90	5	5
	2	75	10	15
	3	25	70	5
12U	1	65	35	0
	2	70	30	0
	3	80	20	0
13U	1	95	5	0
	2	100	0	0
	3	80	15	5
14U	1	35	60	5
	2	85	10	5
	3	75	15	10

Kombinace	Vzorek	Vada		
		R [%]	RC [%]	CM [%]
15U	1	55	45	0
	2	55	40	5
	3	60	35	5
16U	1	5	85	10
	2	40	50	10
	3	70	20	10
17U	1	15	75	10
	2	25	60	15
	3	20	65	15
18U	1	90	10	0
	2	20	80	0
	3	60	35	5
19U	1	20	45	35
	2	20	40	40
	3	35	40	25
20U	1	30	50	20
	2	15	35	50
	3	20	45	35
21U	1	55	45	0
	2	95	5	0
	3	15	85	0
22U	1	95	5	0
	2	20	70	10
	3	25	65	10
23U	1	20	75	5
	2	95	5	0
	3	90	10	0
24U	1	15	75	10
	2	20	75	5
	3	25	70	5
25U	1	85	15	0
	2	85	15	0
	3	85	10	5
26U	1	60	40	0
	2	20	80	0
	3	90	10	0
27U	1	15	80	5
	2	25	70	5
	3	40	45	15

Vada R znamená selhání spoje v pryži, tudíž nejslabším článkem je samotná pryž. K dosažení co nejkvalitnějšího spoje je nutné maximalizovat procentuální zastoupení vady R. U vady RC dochází k selhání spoje mezi pryží a spojovacím prostředkem a u vady CM jde o selhání spoje mezi pojícím prostředkem a kovovou destičkou.

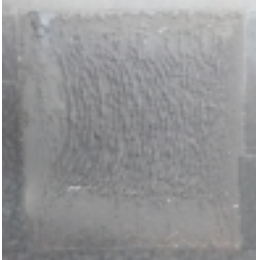



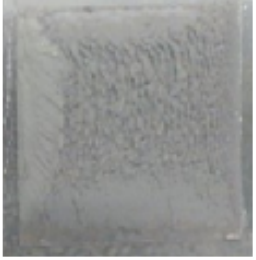


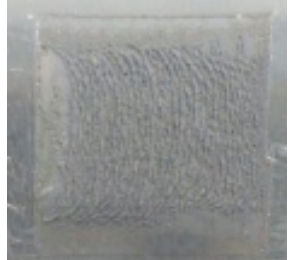
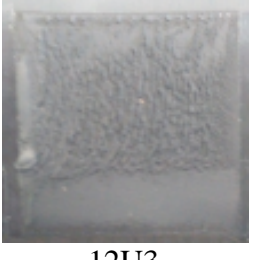
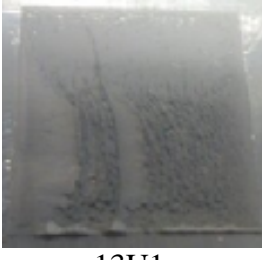
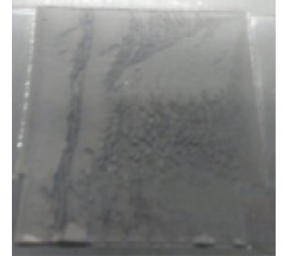




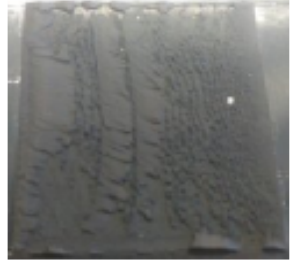
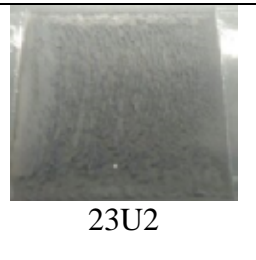





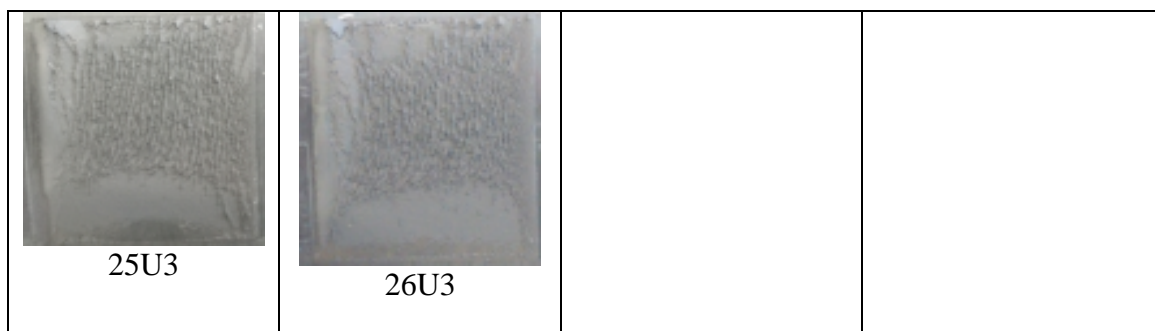
Obr. 51 Přehled vzorků s vadou R nad 80 % u směsi U

Na obr. 51 jsou graficky znázorněny všechny vzorky, které vykazovaly vadu R (vadu pryže) minimálně z 80 % hodnoceného povrchu. Je patrné, že všechny vzorky až na dva, které vykazují vadu R minimálně z 80 % dosahují soudržnosti pryže s kovem nad 12 N/mm. Při vzítí v potaz, že nejvyšší dosažená hodnota soudržnosti je 16,1 N/mm tak se tyto vzorky nachází v horních 25 % dosažené pevnosti. Je možné tedy tvrdit, že čím je větší zastoupení vady R, tím soudržnost pryže s kovem inklinuje k vyšším hodnotám.

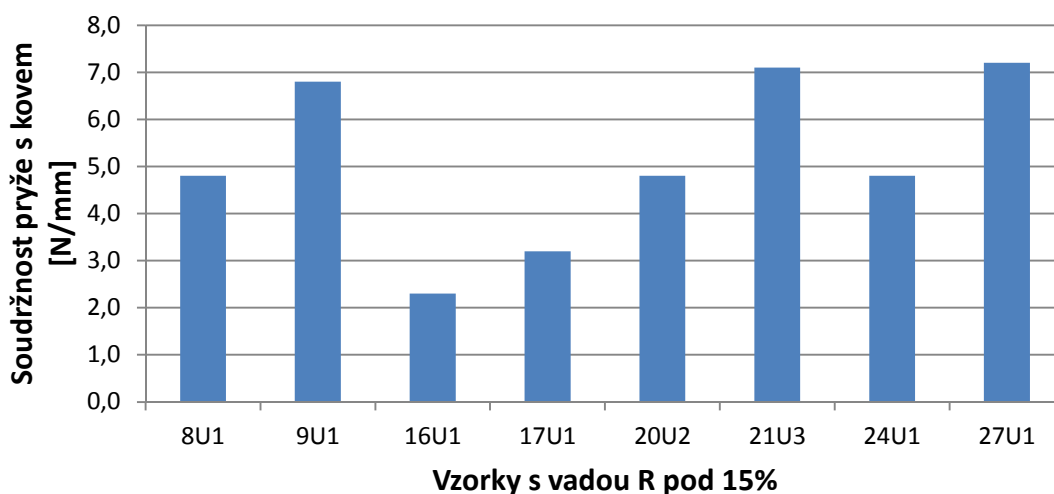
Vzorky nacházející se pod hranicí 12 N/mm jsou 4U1 a 13U3. U vzorku 4U1 se jedná jenom o malé vychylení. U vzorku 13U3 je hodnota výrazně nižší a když se podíváme na fotku vzorku 13U3 v tab. 16, tak v horní polovině obrázku je patrný defekt, který je nejspíš způsoben setřením laku. Obrázky jednotlivých vzorků s vadou R nad 80 % jsou zobrazeny v tab. 16.

Tab. 16 Vzhled povrchů destiček u vad R nad 80 % u směsi U

 3U1	 4U1	 4U3	 5U1
 7U2	 7U3	 10U1	 11U1
 12U3	 13U1	 13U2	 13U3
 14U2	 18U1	 21U1	 22U1
 23U2	 23U3	 25U1	 25U2



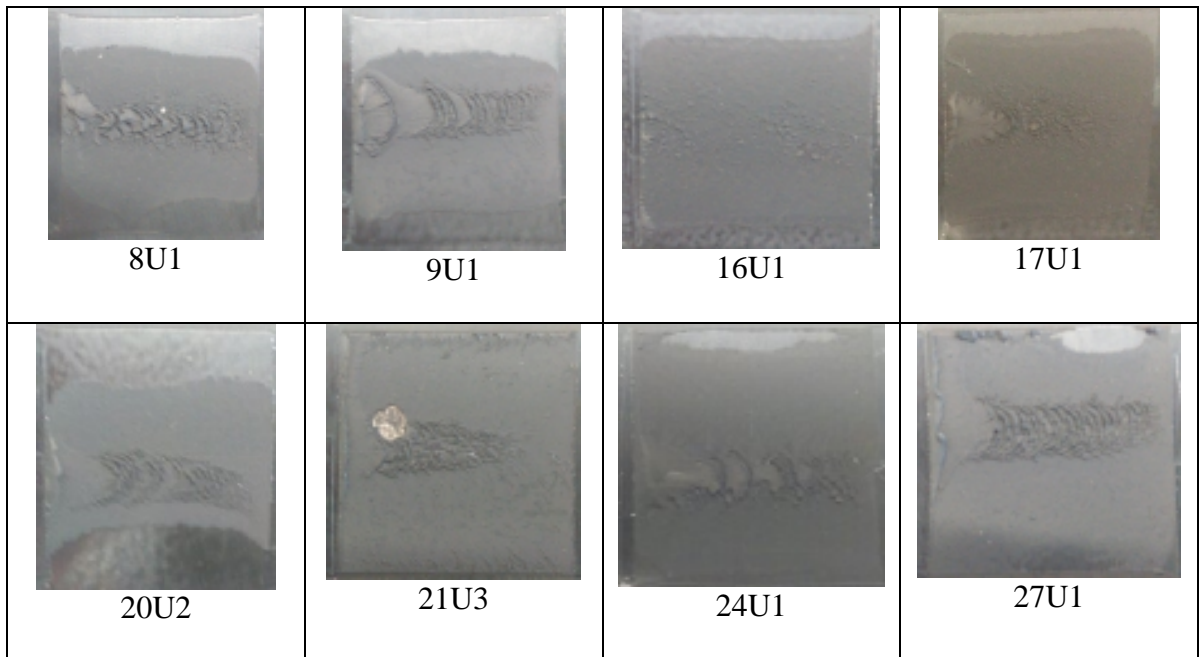
Na obr. 52 jsou graficky znázorněny vzorky s vadou R pod 15 %, u kterých dosahuje hodnota soudržnosti maximálně 7 N/mm. Lze vypořádat opačnou situaci jako byla v předchozím případě, kdy při nízkém procentuálním zastoupení vady R inklinuje soudržnost mezi pryží a kovem k nižším hodnotám.



Obr. 52 Přehled vzorků směsi U s vadou R pod 15 %

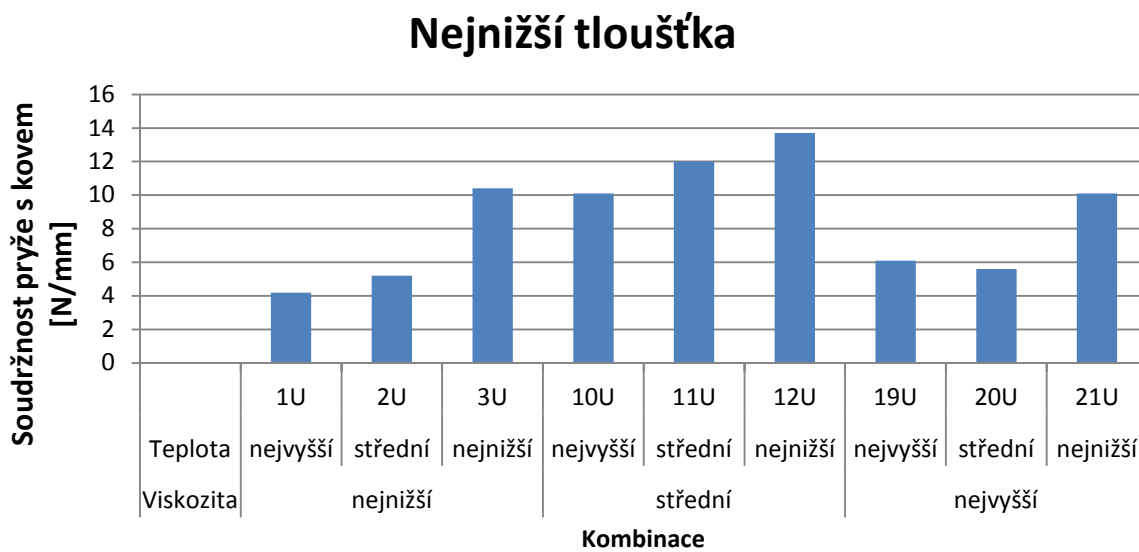
V tab. 17 na následující straně jsou zobrazeny obrázky všech vzorků, které vykazují vadu R pod 15 %.

Tab. 17 Vzhled povrchů destiček u vad R pod 15 % u směsi U



15.1.2 Vyhodnocení teploty ohřevu

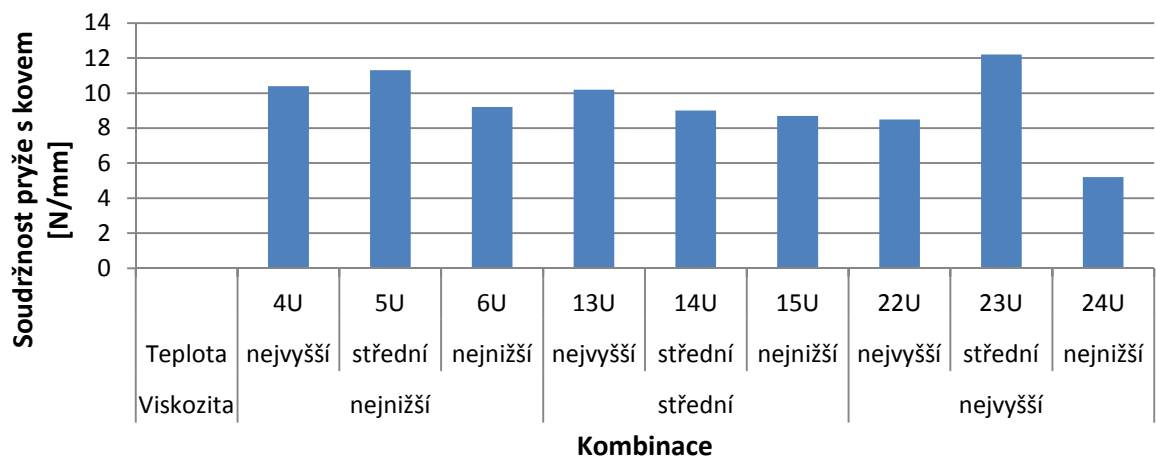
Pro vyhodnocení závislosti teploty ohřevu pryžových vzorků na výslednou soudržnost pryže s kovem byla brána teplota ohřevu pro jednotlivé tloušťky nástřiku a jejich viskozit.



Obr. 53 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti pro nejnížší tloušťku u směsi U

Z obr. 53 je možno vyčíst, že pro nejnižší tloušťku nástřiku u všech viskozit byla naměřena nejvyšší hodnota soudržnosti pro nejnižší teplotu ohřevu. Při ohřevu pryžových pásků migrují antidegradanty a hlavně vosky do materiálu. U nejnižší použité teploty v prováděném experimentu nastane migrace oproti vyšším teplotám do nejnižší hloubky, kde bude také reakční prostředí. Nástřik o nejnižší tloušťce obsahuje nejméně pojícího prostředku, tudíž je pro tuto tloušťku nejlepší variantou nejnižší teplota s reakčním prostředím blíže k povrchu. U vyšších teplot ohřevu migrují antidegradanty spolu s vosky hlouběji do materiálu a nejnižší nástřik s nejnižším obsahem pojícího prostředku nemá dostatečné množství pojícího prostředku proreagovat do takového hloubky.

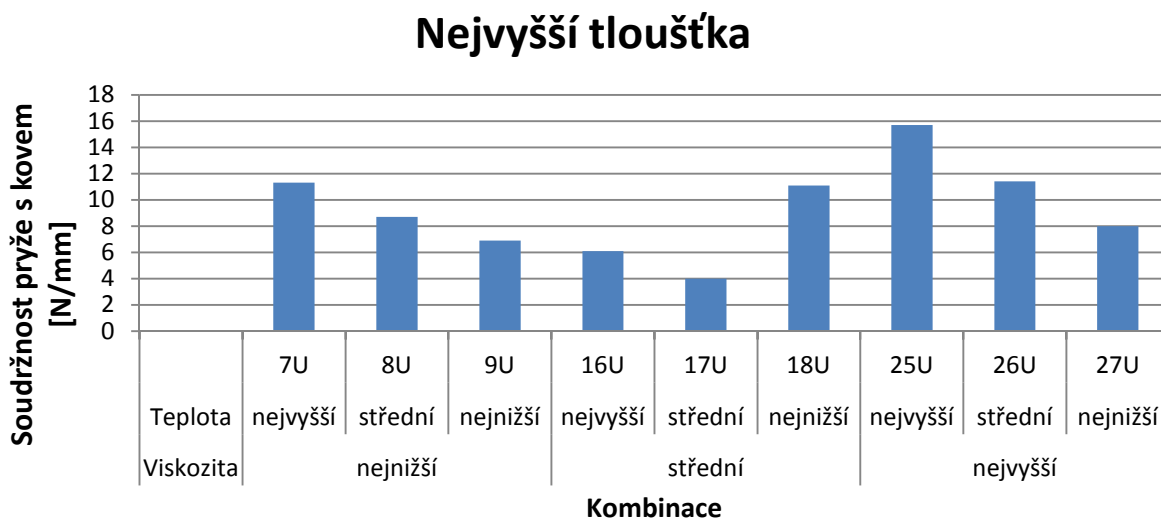
Střední tloušťka



Obr. 54 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti pro střední tloušťku u směsi U

Graf na obr. 54 znázorňuje soudržnosti všech kombinací procesních parametrů nástřiku pojícího prostředku pro střední tloušťku nástřiku. U nejnižší a nejvyšší viskozity je viditelná nejvyšší dosáhnutá soudržnost u střední teploty. Střední viskozita vykazuje nejvyšší soudržnost při nejvyšší teplotě, nicméně, když se podíváme zpět do tab. 14, tak je u druhého vzorku kombinace 14U nejvyšší hodnota 14 N/mm a zbylé jsou výrazně nižší a ovlivňují tak výsledný průměr. Proto je tedy možné doporučit i u střední viskozity střední teplotu. Při střední teplotě dochází k větší migraci antidegradantů a vosků, a proto se bude nacházet reakční prostředí ve větší hloubce než u nejnižší teploty, ale ne v takové jako při nejvyšší teplotě. Nástřik o střední tloušťce obsahuje už více pojícího prostředku a reaguje v reakčním prostředí ve větší hloubce, které je dosáhnuto střední teplotou. U nejnižší teploty reaguje střední nástřik jen do malé hloubky díky reakčnímu prostředí

v malé hloubce a nevykazuje takové soudržnosti. Při nejvyšší teplotě dojde k vyšší migraci a vytvoření reakčního prostředí ve větší hloubce než u střední teploty a střední tloušťka nástřiku nemá takové množství pojícího prostředku, aby reagoval do takové hloubky a dosáhnul požadované soudržnosti.

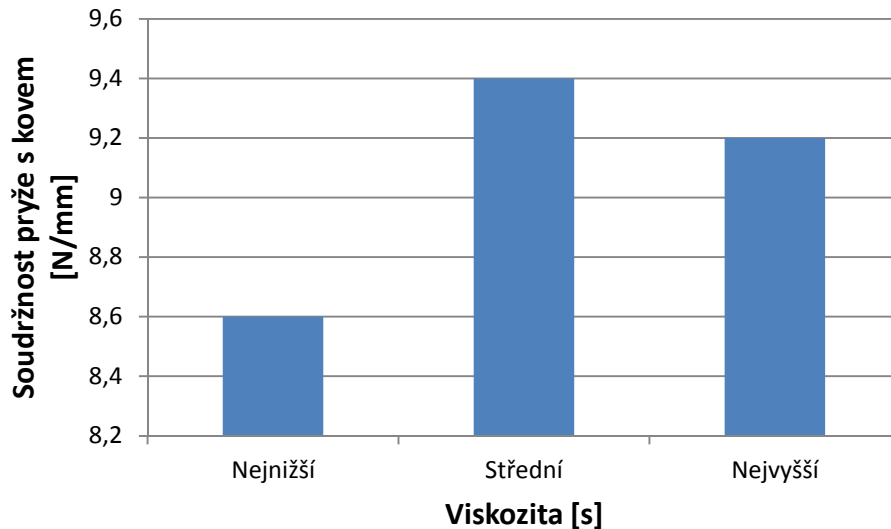


Obr. 55 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti pro nejvyšší tloušťku u směsi U

Na grafu, který je znázorněn výše na obr. 55 jsou uvedeny všechny hodnoty soudržnosti pro kombinace s nejvyšší tloušťkou nástřiku. Nejnižší a nejvyšší viskozity vykazují nejvyšší pevnost s nejvyšší teplotou ohřevu pryžových vzorků. U střední viskozity je nejlepší nejnižší teplota. Střední viskozita se liší od závislosti u ostatních viskozit, což může být způsobeno špatným nástřikem nebo setřením nástřiku u některých vzorků. Když se tedy nevezme v potaz střední viskozita, tak nejlepší výsledky pro nejvyšší tloušťku vykazuje nejvyšší teplota. Při nejvyšší teplotě dochází k vytvoření reakčního prostředí a k migraci antidegradantů a vosků do největší hloubky. Nástřik o nejvyšší tloušťce obsahuje největší množství pojícího prostředku a je tedy schopen reagovat v takové hloubce. Při nižších teplotách ohřevu pryžových vzorků se vytvoří reakční prostředí v nižší hloubce a pojící prostředek reaguje jenom do této hloubky, ikdyž je schopen reagovat hlouběji a dosáhnout vyšší soudržnosti.

15.1.3 Vyhodnocení viskozity

Pro vyhodnocení závislosti viskozit nástřiku na konečnou soudržnost pryže s kovem byly brány průměrné hodnoty naměřených pevnosti spojů u jednotlivých viskozit.

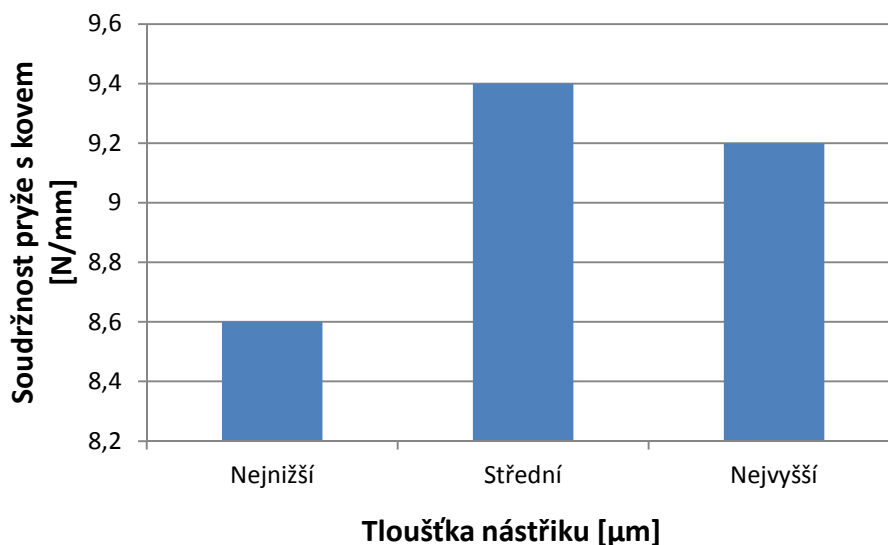


Obr. 56 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých viskozit pro směs U

Při pohledu na obr. 56 je možné pozorovat nejvyšší průměrnou hodnotu soudržnosti u střední viskozity, která činí 9,4 N/mm. Druhou nejvyšší pevnost vykazuje nejvyšší viskozita, kterou je 9,2 N/mm, a nejnižší průměrnou soudržnost s hodnotou 8,6 N/mm vykazuje nejnižší viskozita. Rozdíly naměřených hodnot nejsou výrazné, ale z pohledu viskozit na výslednou soudržnost je s ohledem na ekonomiku možné doporučit viskozitu 19 s.

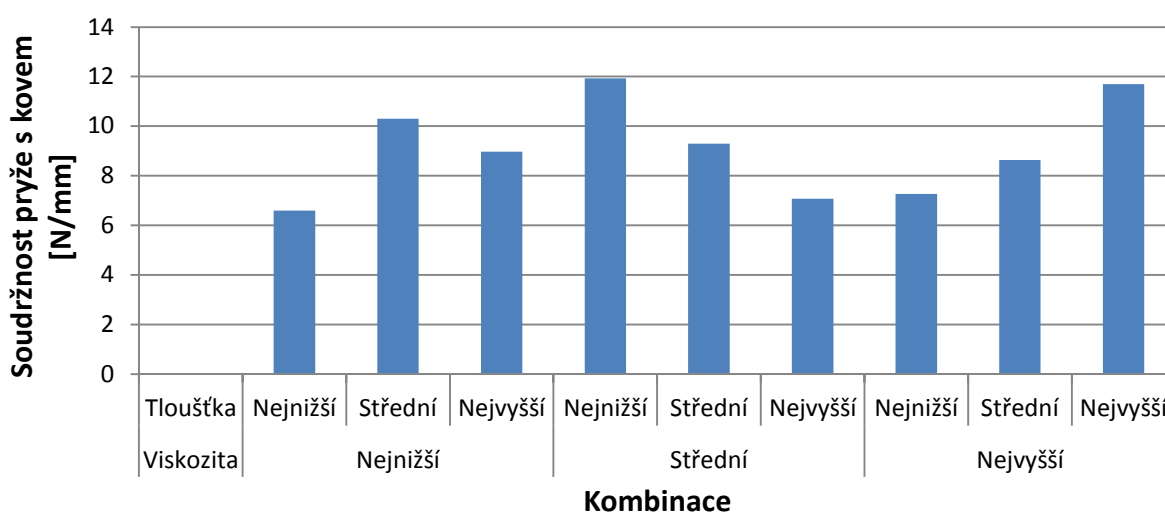
15.1.4 Vyhodnocení tloušťky nástřiku

Pro posouzení, která hodnota nástřiku vykazuje nejvyšší hodnotu soudržnosti, byly hodnoceny průměrné hodnoty všech nástřiků se stejnou hodnotou a poté byla vyhodnocena hodnota nástřiku, která vykazuje nejvyšší pevnost pro každou viskozitu.



Obr. 57 Porovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých nástřiků pro směs U

Graf na obr. 57 zobrazuje průměrné hodnoty nástřiků, kde nejvyšší soudržnosti dosáhla střední tloušťka nástřiku s hodnotou pevnosti 9,4 N/mm. Druhou nejvyšší soudržnost dosáhla nejvyšší tloušťka, která dosahuje pevnosti 9,2 N/mm a nejnižší průměrnou soudržnost vykazuje s hodnotou 8,6 N/mm nejnižší tloušťka nástřiku.



Obr. 58 Srovnání hodnot soudržnosti pro jednotlivé tloušťky nástřiku a viskozit pro směs U

Na grafu znázorněném na obr. 58 lze vidět hodnoty naměřených soudržností pryže s kovem u jednotlivých tloušťek nástřiku pro tři viskozity pojícího prostředku. U nejnižší viskozity je zřejmé, že nejvyšší soudržnosti dosahuje střední tloušťka s hodnotou 10,3 N/mm. Jako druhé nejvyšší pevnosti dosáhla nejvyšší tloušťka a nejnižší pevnost vykazuje u nejnižší viskozity nejnižší tloušťka nástřiku.

Střední viskozita dosahuje největší soudržnosti při nejnižší tloušťce, kde dosahuje hodnoty 11,9 N/mm. Druhou nejvyšší soudržnost má střední tloušťka a nejnižší pevnost vykazuje nejvyšší tloušťka.

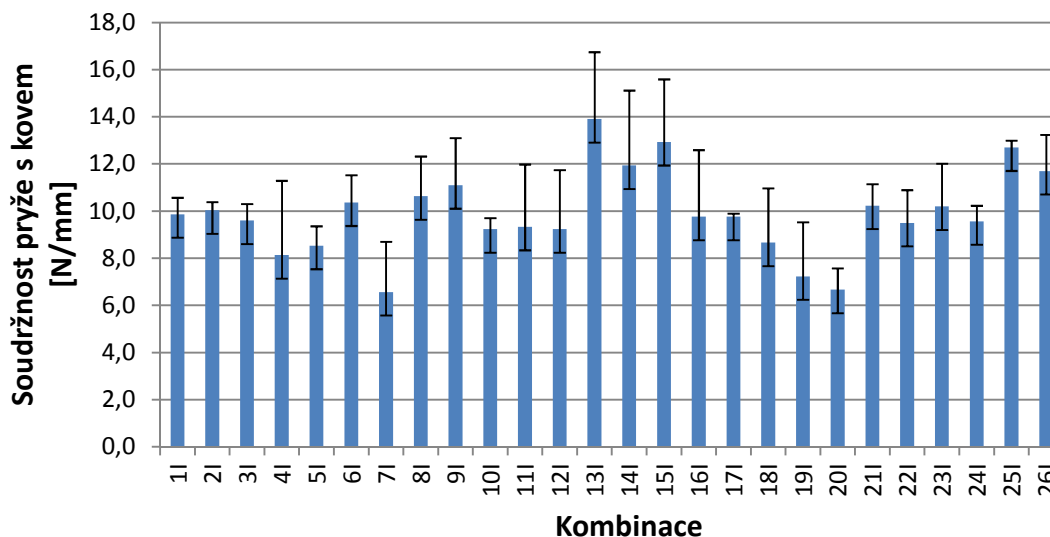
Nejvyšší tloušťka dosahuje největší soudržnost pryže s kovem u nejvyšší viskozity a dosahuje hodnoty 11,7 N/mm. Další v pořadí je střední tloušťka a nejnižší pevnost má nejnižší tloušťka.

15.2 Vyhodnocení směsi I

U druhé směsi s označením I byly naměřeny hodnoty soudržnosti pryže s kovem, které lze zhodnotit v tab. 18, a pro lepší porovnání jsou také zobrazeny na obr. 59. Opět byly vyhodnocovány všechny tři procesní parametry a jejich vliv na výslednou soudržnost pryže s kovem.

Tab. 18 Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem pro směs I

Označení	Soudržnost pryže s kovem [N/mm]				Směr. odch.
	Měření			Průměr	
	1	2	3		
1I	8,9	10,2	10,5	9,9	0,7
2I	10,5	9,7	9,9	10,0	0,3
3I	9,5	10,5	8,8	9,6	0,7
4I	4,4	7,9	12,1	8,1	3,1
5I	9,5	7,5	8,6	8,5	0,8
6I	8,9	10,5	11,7	10,4	1,1
7I	9,2	6,5	4	6,6	2,1
8I	9,3	13	9,6	10,6	1,7
9I	12,2	8,3	12,8	11,1	2,0
10I	9,7	9,4	8,6	9,2	0,5
11I	6,4	8,8	12,8	9,3	2,6
12I	5,7	11	11	9,2	2,5
13I	15,6	16,2	9,9	13,9	2,8
14I	16,4	10,1	9,3	11,9	3,2
15I	14,5	15,1	9,2	12,9	2,7
16I	9,1	6,7	13,5	9,8	2,8
17I	9,9	9,6	9,8	9,8	0,1
18I	9	11,3	5,7	8,7	2,3
19I	6,6	4,8	10,3	7,2	2,3
20I	5,6	7,8	6,6	6,7	0,9
21I	9,5	9,7	11,5	10,2	0,9
22I	7,8	11,2	9,5	9,5	1,4
23I	8,1	12,5	10	10,2	1,8
24I	9,5	10,4	8,8	9,6	0,7
25I	12,3	12,9	12,9	12,7	0,3
26I	9,7	13,4	12	11,7	1,5
27I	12,3	13,3	12,9	12,8	0,4



Obr. 59 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti všech kombinací směsi I

Z grafu je možné vyčíst, že nejvyšší průměrné hodnoty soudržnosti pryže s kovem u směsi I dosáhla kombinace 13I s hodnotou 13,9 N/mm. Druhou nejvyšší průměrnou hodnotu soudržnosti pryže docílila kombinace 15I s hodnotou 12,9 N/mm a jako třetí nejvyšší průměrné hodnoty soudržnosti pryže dosáhla kombinace 27I s hodnotou rovnu 12,8 N/mm.

Nejvyšší pevnost soudržnosti pryže s kovem získaná z tab. 18 činí 16,4 N/mm a dosáhl jí první vzorek u kombinace 14I. Druhou nejvyšší pevnost dosáhl první vzorek u kombinace 13I s hodnotou 16,2 N/mm. Třetí nejvyšší pevností byla hodnota 15,6 N/mm, které dosáhl první vzorek u kombinace 13I.

Jak z tab. 18, tak také z obr. 59, jsou patrné u některých kombinací velké hodnoty směrodatné odchylky, které jsou způsobeny vyšším rozptylem naměřených hodnot. Tento problém by bylo možné vyřešit větším množstvím naměřených vzorků u každé kombinace, které ovšem z důvodu zachování komplexnosti experimentální části odrážející se ve značném rozsahu nebylo možno z časových důvodů provést.

15.2.1 Vyhodnocení vad

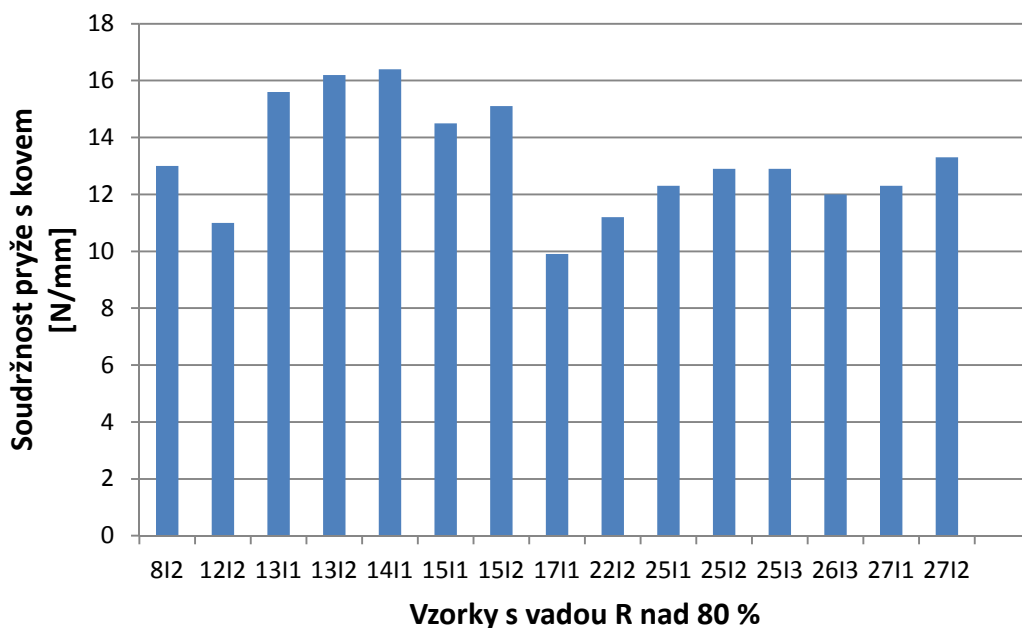
Vyhodnocení selhání spojů bylo prováděno vizuální metodou, kde procentuální zastoupení jednotlivých vad je zobrazeno v tab. 19.

Tab. 19 Přehled vad u všech vzorků směsi I

Kombinace	Vzorek	Vada		
		R [%]	RC [%]	CM [%]
1I	1	50	45	5
	2	75	25	0
	3	65	35	5
2I	1	60	40	0
	2	60	35	5
	3	60	35	5
3I	1	60	35	5
	2	65	30	5
	3	50	40	10
4I	1	15	75	10
	2	20	75	5
	3	70	15	15
5I	1	60	20	20
	2	40	25	35
	3	55	15	30
6I	1	60	15	25
	2	60	5	35
	3	70	5	25
7I	1	65	15	20
	2	20	70	10
	3	10	80	10
8I	1	50	35	15
	2	80	5	15
	3	65	5	30
9I	1	75	0	25
	2	45	15	40
	3	60	5	35
10I	1	60	10	30
	2	45	20	35
	3	45	20	35
11I	1	5	85	10
	2	40	30	30
	3	65	5	30
12I	1	10	85	5
	2	85	15	0
	3	75	20	5
13I	1	90	10	0
	2	90	10	0
	3	55	40	5
14I	1	85	10	5
	2	75	15	10
	3	50	40	10

Kombinace	Vzorek	Vada		
		R [%]	RC [%]	CM [%]
15I	1	85	5	10
	2	90	5	5
	3	50	35	15
16I	1	60	20	20
	2	35	15	50
	3	75	0	25
17I	1	80	0	20
	2	65	5	30
	3	65	10	25
18I	1	60	30	10
	2	75	15	10
	3	10	85	5
19I	1	35	15	50
	2	10	75	15
	3	55	5	40
20I	1	25	10	65
	2	35	5	60
	3	25	15	60
21I	1	65	35	0
	2	65	35	0
	3	75	20	5
22I	1	40	55	5
	2	85	10	5
	3	70	5	25
23I	1	50	15	35
	2	70	10	20
	3	70	5	25
24I	1	50	40	10
	2	60	30	10
	3	65	20	15
25I	1	80	0	20
	2	80	5	15
	3	80	5	15
26I	1	60	35	5
	2	75	5	20
	3	80	5	15
27I	1	80	5	15
	2	95	0	5
	3	70	10	20

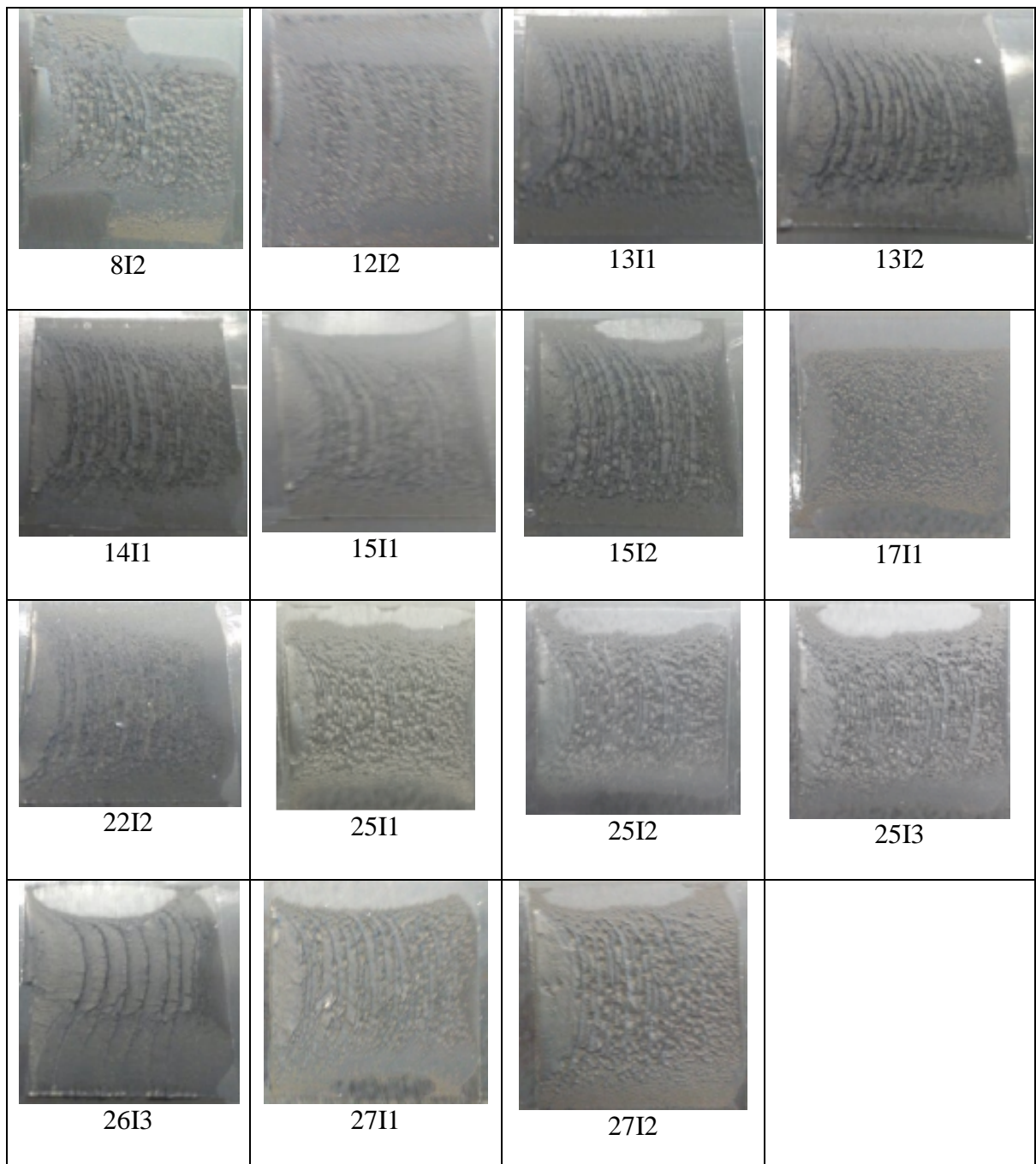
Opět pro následnou diskuzi je zde vhodné uvést, že vada R znamená selhání spoje v pryži, tudíž nejslabším článkem je samotná pryž. K dosažení co nejkvalitnějšího spoje je nutné maximalizovat procentuální zastoupení vady R. U vady RC došlo k selhání spoje mezi pryží a spojovacím prostředkem a u vady CM šlo o selhání spoje mezi pojícím prostředkem a kovovou destičkou.



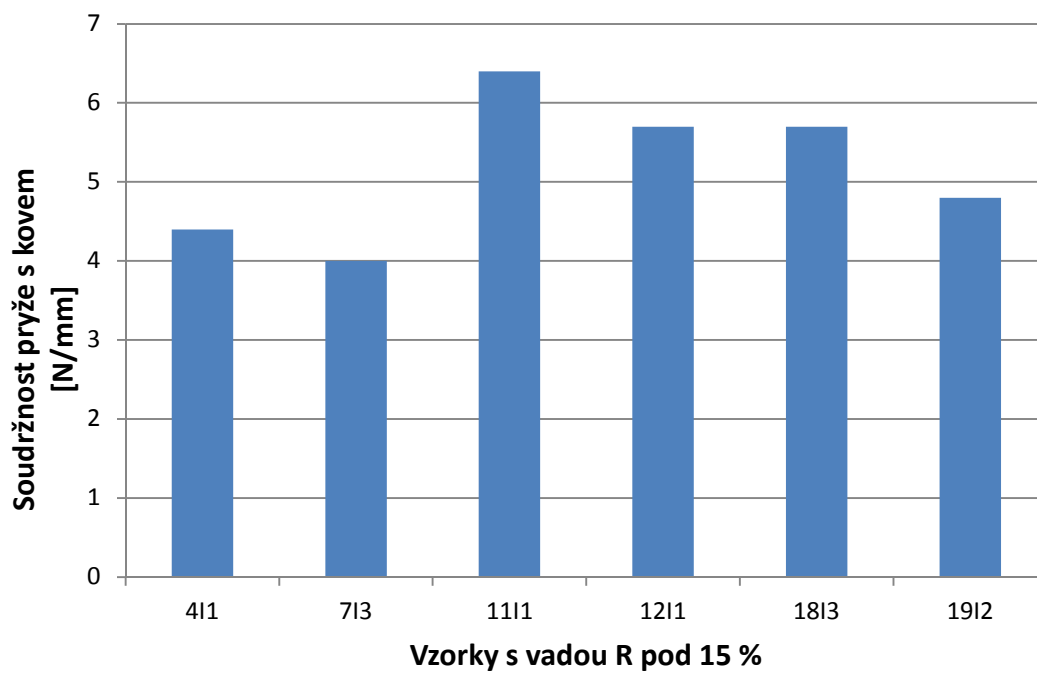
Obr. 60 Přehled vzorků směsi I s vadou R nad 80 %

Na obr. 60. jsou graficky znázorněny všechny vzorky směsi I, které vykazovaly vadu R minimálně z 80 % na hodnoceném povrchu. Všechny hodnoty až na tři mají hodnotu pevnosti nad 10 N/mm. Když bude bráno v potaz, že nejvyšší hodnota soudržnosti je 16,4 N/mm, tak se tyto hodnoty nacházejí v horních 30 % dosažené pevnosti. Tři hodnoty, které se nacházejí pod hranicí soudržnosti 12 N/mm vykazují pevnost minimálně 10 N/mm. V porovnání s nejvyšší soudržností 16,4 N/mm se tyto hodnoty nacházejí v horních 40 % dosažené pevnosti. Lze tedy stejně jako u směsi U říci, že čím je větší zastoupení vady R, tím soudržnost pryže s kovem inklinuje k vyšším hodnotám. Obrázky jednotlivých vzorků s vadou R nad 80 % jsou zobrazeny v tab. 20.

Tab. 20 Vzhled povrchů destiček u vad R nad 80 % u směsi I



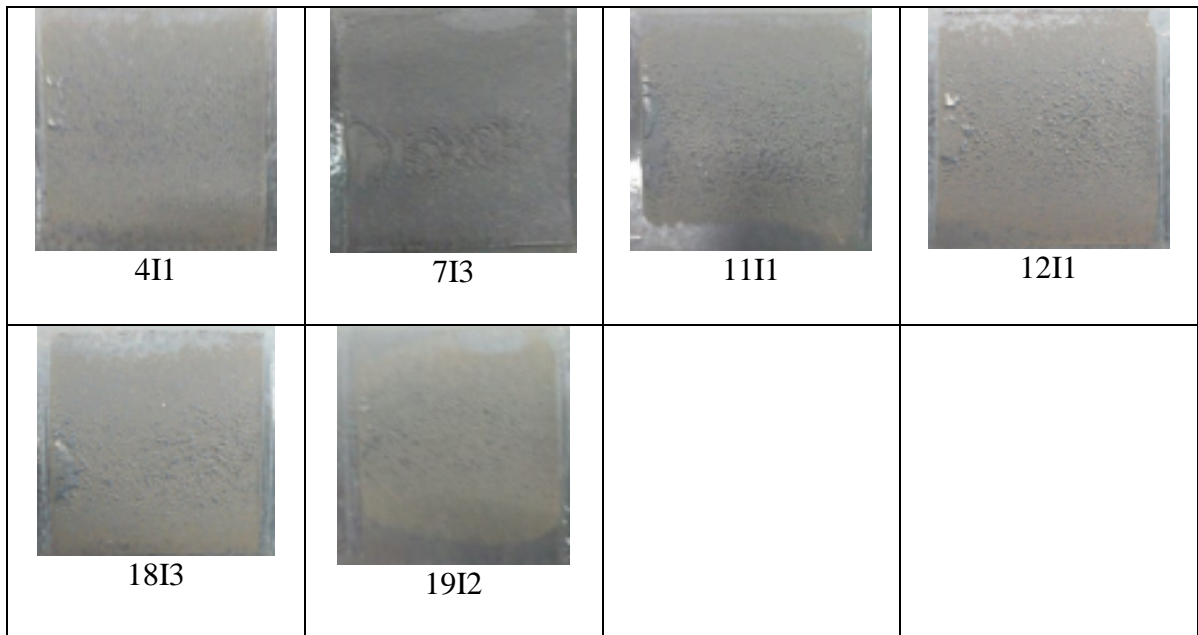
Na obr. 61 jsou graficky znázorněny vzorky s vadou R pod 15 %, u kterých dosahuje hodnota soudržnosti maximálně výše 6,5 N/mm. Lze vypořádat opačná situace jako při předešlém případě, kdy při nízkém procentuálním zastoupení vady R inklinuje soudržnost mezi pryží a kovem k nižším hodnotám.



Obr. 61 Přehled vzorků směsi I s vadou R pod 15 %

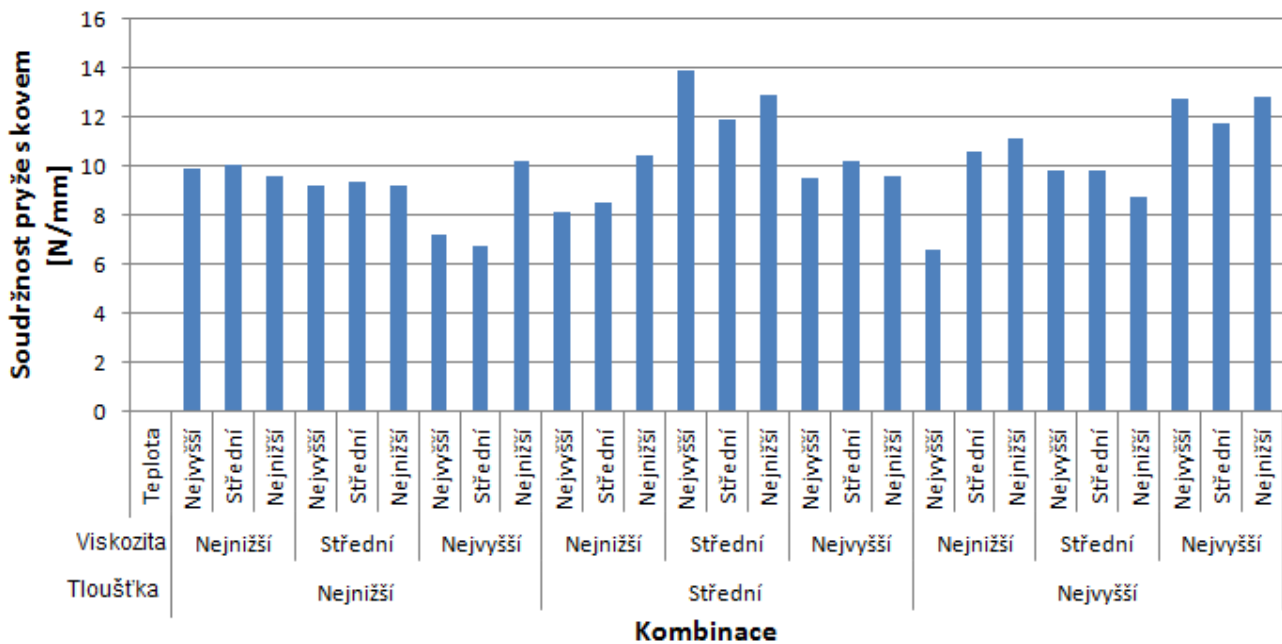
V tab. 21 jsou zobrazeny obrázky všech vzorků směsi I, které vykazují vadu R pod 15 %.

Tab. 21 Vzhled povrchu destiček s vadou R pod 15 % u směsi I



15.2.2 Vyhodnocení teploty ohřevu

Vyhodnocení závislosti teploty ohřevu na kvalitu výsledné soudržnosti pryže s kovem u směsi I je odlišné od směsi U. Na grafu, který je zobrazen na obr. 62, lze vidět hodnoty soudržností pro všechny kombinace vzorků pro směs I.

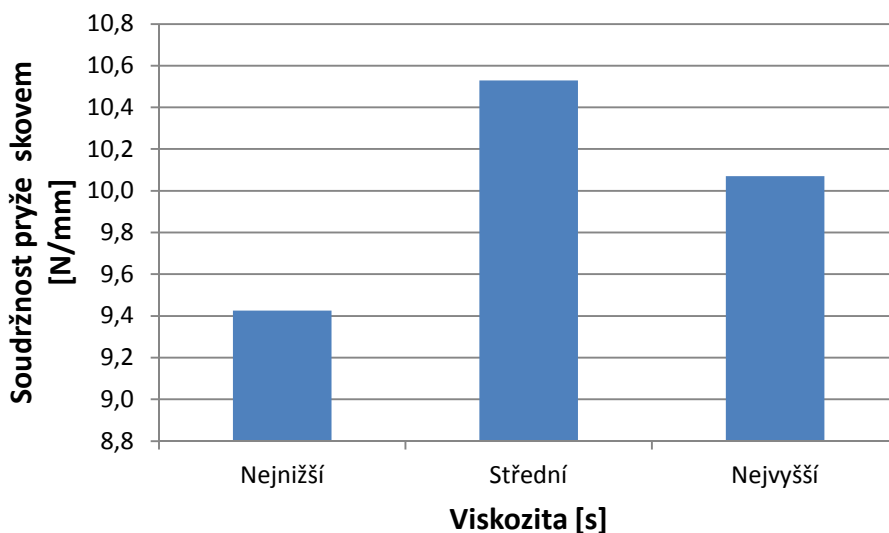


Obr. 62 Porovnání vlivu teploty na výslednou soudržnost u směsi I

Při pohledu na obr. 62 lze říci, že u jednotlivých tloušťek nástřiků s danou viskozitou nehraje teplota ohřevu pryžových vzorků u směsi I velkou roli. Pouze u dvou tloušťek nástřiků s danou viskozitou je možné pozorovat výrazněji odlišné hodnoty u jednotlivých teplot ohřevu, a to zaprvé u nejnižší tloušťky nástřiku a nejvyšší viskozity, a zadruhé u nejvyšší tloušťky nástřiku a nejnižší viskozity. Pouze u těchto dvou sad vzorků byly rozdíly mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou soudržnosti více jak 30 %. U směsi U byla závislost teploty na soudržnosti výrazná, kdy všechny rozdíly mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byly nad 30 %. U směsi I je tedy možné tvrdit, že dané teploty ohřevu nemají výrazný vliv na výslednou soudržnost pryže s kovem z důvodu jiného složení směsi, kdy směs I je určena přímo pro spojení s kovem narozdíl od směsi U, a je zde tedy receptura směsi lépe optimalizována pro popisované účely.

15.2.3 Vyhodnocení viskozit

Pro vyhodnocení závislosti viskozity nástřiku na konečnou soudržnost pryže s kovem byly brány průměrné hodnoty naměřených pevnosti spojů u jednotlivých viskozit.

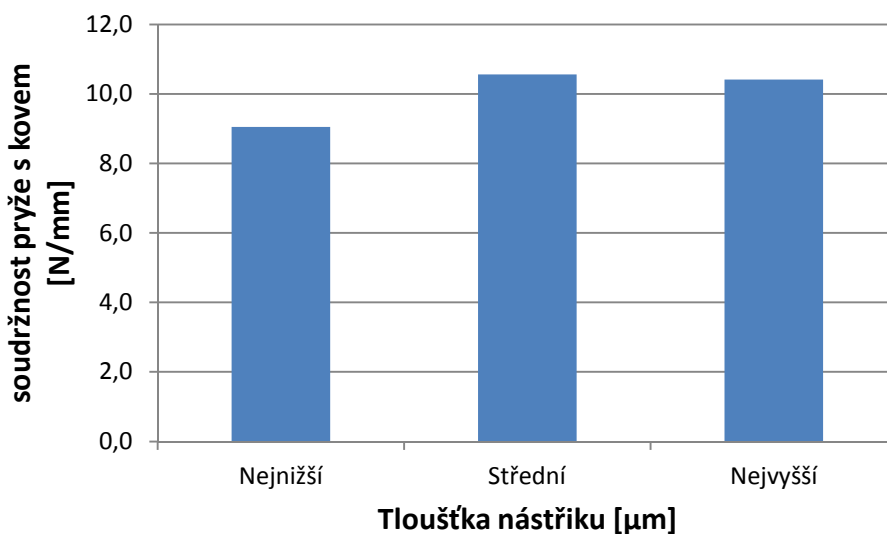


Obr. 63 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých viskozit u směsi I

Při pohledu na obr. 63 je patrná nejvyšší průměrná hodnota soudržnosti u střední viskozity, která činí 10,5 N/mm. Druhou nejvyšší pevnost vykazuje nejvyšší viskozita, kterou je 10,1 N/mm, a nejnižší průměrnou soudržnost s hodnotou 9,4 N/mm vykazuje nejnižší viskozita. Z pohledu viskozit na výslednou soudržnost tedy lze doporučit střední viskozitu.

15.2.4 Vyhodnocení tloušťky nástřiku

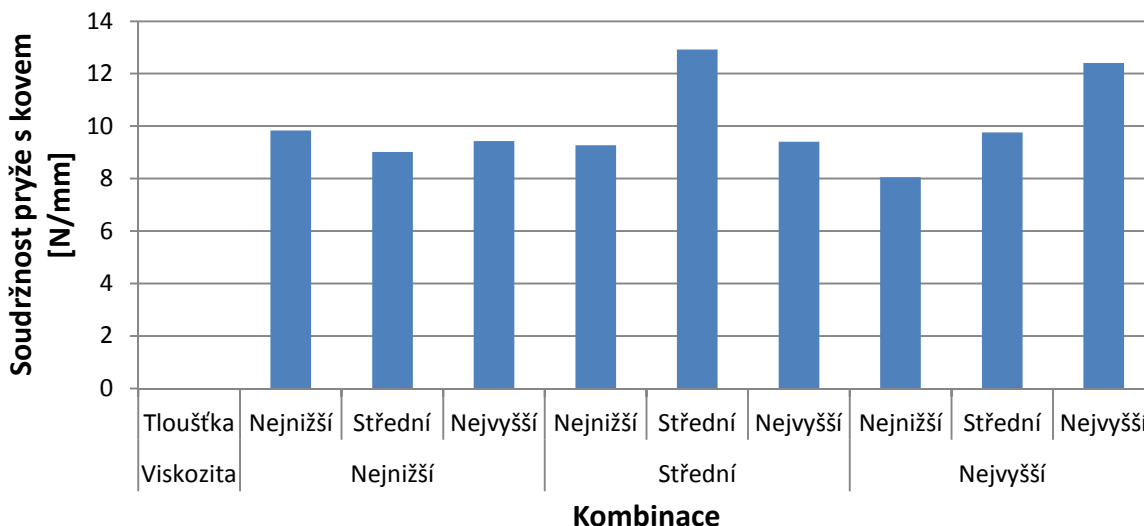
Pro posouzení, která hodnota nástřiku vykazuje nejvyšší hodnotu soudržnosti, byly hodnoceny průměrné hodnoty všech nástřiků se stejnou hodnotou a poté byla vyhodnocena hodnota nástřiku, která vykazuje nejvyšší pevnost pro každou viskozitu.



Obr. 64 Porovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých nástřiků u směsi I

Graf na obr. 64 zobrazuje průměrné hodnoty soudržnosti spoje kov – pryž podle tloušťky nástřiků, kde nejvyšší soudržnosti dosáhla střední tloušťka nástřiku s hodnotou pevnosti 10,6 N/mm. Druhou nejvyšší soudržnost dosáhla nejvyšší tloušťka, která dosahuje pevnosti 10,4 N/mm, a nejnižší průměrnou soudržnost vykazuje s hodnotou 9 N/mm nejnižší tloušťka nástřiku. Mezi průměrnými hodnotami soudržnosti u tlouštěk nástřiku

25 μm a 30 μm je jen malý rozestup, a z tohoto důvodu lze doporučit obě tloušťky nástřiku.



Obr. 65 Srovnání hodnot soudržnosti pro jednotlivé tloušťky nástřiku a viskozit pro směs I

Na grafu znázorněném na obr. 65 lze vidět hodnoty naměřených soudržností pryže s kovem u jednotlivých tlouštěk nástřiku pro tři viskozity pojícího prostředku. U nejnižší viskozity je zřejmé, že u všech tlouštěk vyšla soudržnost pryže s kovem velmi blízko u sebe. Nejvyšší soudržnosti dosahuje nejnižší tloušťka s hodnotou 9,8 N/mm. Jako druhé nejvyšší pevnosti dosáhla nejvyšší tloušťka a nejnižší pevnost vykazuje u nejnižší viskozity střední tloušťka nástřiku.

Střední viskozita dosahuje největší soudržnosti při střední tloušťce, kde dosahuje hodnoty 12,9 N/mm. Druhou nejvyšší soudržnost má nejvyšší tloušťka a nejnižší pevnost vykazuje nejnižší tloušťka.

Nejvyšší tloušťka má nejvyšší soudržnost pryže s kovem u nejvyšší viskozity nástřiku a dosahuje hodnoty 12,4 N/mm. Další v pořadí je střední tloušťka a nejnižší pevnost má spoj při nejnižší tloušťce nástřiku.

15.3 Porovnání hodnot soudržností u obou směsí

Při porovnání hodnot soudržností obou směsí vykazovala absolutní nejvyšší hodnotu soudržnosti směs I s hodnotou 16,4 N/mm oproti směsi U s nejvyšší absolutní dosaženou hodnotou soudržnosti 16,1 N/mm. Při porovnání průměrných hodnot všech naměřených vzorků dosáhla směs I také vyšší soudržnosti s hodnotou 10,0 N/mm, kdy směs U vykazovala průměrnou soudržnosti všech vzorků s hodnotou 9,1 N/mm.

Tab. 22 Porovnání hodnot soudržnosti spoje kov – pryž pro obě směsi

	Označení směsi	
	U	I
Maximální hodnota soudržnosti [N/mm]	16,1	16,4
Průměrná hodnota soudržnosti všech vzorků [N/mm]	9,1	10,0

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit pevnost adhezivních sil a posoudit kvalitu spoje pro dva různé typy kaučukových směsí, jejichž vzorky byly nastříkány pojícím prostředkem o různých kombinacích procesních parametrů.

V experimentální části diplomové práce byl nejdříve popsán postup přípravy zkušebních vzorků a byly provedeny některé zkoušky, kdy jedna z nich byla prvková analýza kovových destiček, která prokázala po železu největší zastoupení křemíku, manganu, chromu a vápníku. Tato metoda bohužel neumožňuje detekování uhlíku. Další zkouškou bylo měření drsnosti kovových destiček s různými úpravami povrchu a porovnání s drsností povrchu u reálných vzorků, který byl zdrsňen smirkovým papírem. Zjistilo se, že výsledné hodnoty se liší velice málo. U lakované destičky byl proveden test přilnavosti laku pomocí mřížkového testu, při kterém lakovaná kovová destička nevykazovala žádné odloupení laku. U obou nezvulkanizovaných pryží bylo provedeno měření vulkanizačních charakteristik, kdy směs s označením U vykazovala krácející modul, oproti směsi s označením I, která vykazovala reverzi. Pro směs U byl čas potřebný pro zvulkanizování na optimum 4,71 min, pro směs I 5,28 min. U obou gumárenských směsí byla také provedena tahová zkouška s pevností v tahu u směsi U v hodnotě 11,253 MPa, která se lišila od pevnosti dané výrobcem z důvodu delší prodlevy od vulkanizace po samotnou zkoušku. U směsi s označením I vyšla pevnost v tahu s hodnotou 17,107 MPa. U pojícího prostředku, který byl ředěn xylenem na nejnižší, střední a nejvyšší požadované viskozity, byly měřeny hodnoty viskozity v jednotkách mPa.s na rotačním viskozimetru Bohlin Gemini CVOR 150. Nejnižší viskozitě odpovídala hodnota 20,6 mPa.s, střední viskozitě vyšla hodnota 37,3 mPa.s a nejvyšší viskozitě odpovídala hodnota 46,8 mPa.s, přičemž hodnota střední viskozity byla naměřena u horní tolerance a nejvyšší viskozita u spodní hranice tolerance.

Po přípravě vzorků a provedení některých zkoušek byly pryžové vzorky nastříkány pojícím prostředkem s danými procesními parametry. Procesní parametry, které byly měněny byly viskozita pojícího prostředku s nejnižší, střední a nejvyšší hodnotou, tloušťka nástřiku pojícího prostředku s nejnižší, střední a nejvyšší hodnotou a teplota předehřevu pryžových vzorků před nástřikem s nejnižší, střední a nejvyšší hodnotou. Z těchto hodnot byla vytvořena matice kombinací procesních parametrů. Pro obě gumárenské směsi bylo nastříkáno 27 kombinací procesních parametrů nástřiku pojícího prostředku po třech

vzorcích od každé kombinace a směsi. Po nástřiku následovalo pojení pryžových vzorků s kovovými destičkami metodou post – vulkanizace a poté hodnocení spoje odlupovací zkouškou.

Byly hodnoceny závislosti jednotlivých procesních parametrů nástřiku na výslednou soudržnost pryže s kovem. Pro směs s označením U s nejnižší tloušťkou nástřiku dosáhla nejlepších výsledků nejnižší teplota ohřevu. U střední tloušťky nástřiku to byla střední teplota a pro nejvyšší tloušťku nástřiku dosahovala nejlepších výsledků nejvyšší teplota. Je to z důvodu, že při zvyšující se teplotě ohřevu se zvyšuje hloubka, do které migrují antidegradanty a vosky, které jsou zřejmě nezbytné pro vytvoření adekvátního reakčního prostředí. U zvyšující se tloušťky nástřiku se zvyšuje obsah pojícího prostředku a tím i schopnost reagovat do větší hloubky. Při porovnání dosažených hodnot soudržností u jednotlivých viskozit vyšlo najevo, že nejlepších výsledků dosahuje střední viskozita, která vykazuje průměrnou hodnotu soudržnosti 9,4 N/mm. Při hodnocení soudržnosti u průměrných hodnot nástřiků pro všechny viskozity vyšlo najevo, že nejlepších výsledků dosahuje střední tloušťka nástřiku s pevností o hodnotě 9,4 N/mm. Pro nejnižší viskozitu vyšla nejvyšší hodnota soudržnosti u střední tloušťky nástřiku. U střední viskozity to byla nejnižší tloušťka nástřiku a pro nejvyšší viskozitu vykazovala nejlepších výsledků nejvyšší tloušťka nástřiku.

Při vyhodnocování směsi s označením I se ukázalo, že teplota ohřevu pryžových vzorků nemá výrazný vliv na výslednou soudržnost pryže s kovem. Je to dáno jiným složením směsi a také tím, že tato směs je určena primárně pro pojení s kovem. Při porovnání dosažených hodnot soudržnosti u jednotlivých viskozit vyšlo najevo, že nejlepších výsledků u směsi I dosahuje střední viskozita, která vykazuje průměrnou hodnotu soudržnosti 10,5 N/mm. Při hodnocení soudržnosti u průměrných hodnot nástřiků pro všechny viskozity byla vyhodnocena s nejlepším výsledkem střední tloušťka nástřiku s hodnotou 10,6 N/mm. Pro nejnižší viskozitu vyšla nejvyšší hodnota soudržnosti pro nejnižší tloušťku nástřiku. U střední viskozity to byla střední tloušťka nástřiku a pro nejvyšší viskozitu vykazovala nejlepších výsledků nejvyšší tloušťka nástřiku.

Další kapitolou experimentální části bylo vizuální hodnocení jednotlivých typů vad po odlupovací zkoušce. Z této části lze potvrdit, že se zvyšujícím se procentuálním zastoupením vady pryže inklinuje hodnota soudržnosti pryže s kovem k vyšším hodnotám.

Pro směs U je možné doporučit pro podrobnější zkoumání kombinace procesních parametrů, které vykazovaly nejvyšší soudržnost a to kombinaci 25U s hodnotou 15,7 N/mm. Druhou nejvyšší průměrnou hodnotu soudržnosti pryže docílila kombinace 12U s hodnotou 13,7 N/mm, a jako třetí nevyšší průměrné hodnoty soudržnosti pryže dosáhla kombinace 23U. Nejvyšší absolutní dosaženou soudržnost měl první vzorek u kombinace 5U s hodnotou 16,1 N/mm a průměrná hodnota soudržnosti všech vzorků směsi U byla 9,1 N/mm. Pro směs I je možné doporučit kombinace procesních parametrů nástřiku 13I s hodnotou 13,9 N/mm, kombinaci 15I s hodnotou 12,9 N/mm, a jako třetí kombinaci 27I s hodnotou 12,8 N/mm. Nejvyšší absolutní dosaženou soudržnost měl první vzorek u kombinace 14I s hodnotou 16,4 N/mm a průměrná hodnota soudržnosti všech vzorků směsi I byla 10 N/mm.

Pro přesnější vyhodnocení vlivu procesních parametrů nástřiku pojícího prostředku na soudržnost pryže s kovem je potřeba využít daleko větší četnosti měření, kde by byla získána lepší představa.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALÁČ, J., 2. *kaučuky* [online]. [cit. 22-9-2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/kaucuky.pdf>>
- [2] DUCHÁČEK, V. a Z. HRDLIČKA. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009, 199 s. ISBN 978-80-7080-713-2.
- [3] ŠVORČÍK, V., *polymery* [online]. [cit. 29-9-2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>>
- [4] DUCHÁČEK, V., *Přírodní a syntetické kaučuky termoplastické elastomery*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2006. ISBN 80-02-01784-6.
- [5] KOHJIYA, S. (ed.) a Y. IKEDA (ed.). *Chemistry, manufacture and applications of natural rubber*. Amsterdam: Elsevier, c2014, xxvi, 502 s., [12] s. barev. Obr. příl. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-0-85709-683-8.
- [6] CIESIELSKI A., *An introduction to rubber technology* [online]. Shawbury, Royaume-Uni: Rapra Technology Ltd, 1999 [cit. 13-10-2015]. ISBN 978-159-1242-659.
- [7] MALÁČ, J., 4. *směsi* [online]. [21.6.2010] [cit. 20-10-2015] Dostupné z WWW: <<http://www.home.karneval.cz/0323339201/>>
- [8] DVOŘÁK, Z., *Zpracovatelské procesy gumárenské* [online]. [17-10-2013] [cit 20-10-2015] Dostupné z WWW: <<http://www.utb.cz/file/41195/>>
- [9] Elastomer Engineering Guide – J. Walker, “*Elastomer Engineering Guide*” [online]. [20.9.2012] [cit. 30-10-2015]. Dostupné z WWW: <http://www.jameswalker.biz/en/pdf_docs/148-elastomer-engineering-guide>
- [10] JAMES E. MARK, James E. Burak Erman. *The science and technology of rubber* [online]. Fourth edition. Burlington: Elsevier Science, 2013 [cit. 06-10-2015]. ISBN 978-012-3948-328.
- [11] MALÁČ, J., 5. *Procesy* [online]. [21.6.2010] [cit. 7-10-2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/procesy.pdf>>
- [12] HEWITT N., *Compounding precipitated silica in elastomers* [online]. Norwich, NY: William Andrew Pub, 2007 [cit. 06-11-2015]. ISBN 978-0-8155-1653-8.
- [13] JOHN A. LINDSAY. *Practical guide to rubber injection moulding* [online]. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, U.K: Smithers Rapra, 2012 [cit. 06-11-2015]. ISBN 978-162-1988-205.

- [14] JOHN W. NICHOLSON. *The chemistry of polymers* [online]. 3rd ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2006 [cit. 13-11-2015]. ISBN 978-162-8701-388
- [15] KOSTRZEWA, M., *Modification of Epoxy Resin with Polyurethane and Montmorillonite*. Tomas Bata University in Zlin, 2011.
- [16] JAMES G., *Handbook of manufacturing processes how products, components and materials are made* [online]. 1st ed. --. New York: Industrial Press, 2007 [cit. 20-11-2015]. ISBN 978-160-1199-331.
- [17] REIFF Technische Produkte, *Elastomer Engineering Guide* [online]. [22.7.2004] [cit. 20-11-2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.reiff-tp.de/uploads/media/Kap11.pdf>>
- [18] KRAUS, V., *Povrchy a jejich úpravy* [online]. [8.7.2006] [cit. 24-11-2015]. Dostupné z WWW: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>>
- [19] ASTM D429 - Rubber to Metal Adhesion Test Equipment. *TestResources* [online]. 2016 [cit. 04-01-2016]. Dostupné z: <http://www.testresources.net/applications/standards/astm/astm-d429-rubber-to-metal-adhesion-tests>
- [20] Automotive systems, *speciality adhesives*, [online] [30.3.2012] [cit. 04-01-2016]. Dostupné z WWW:<http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08a4/0901b803808a4671.pdf?filepath=automotive/pdfs/noreg/299-51993.pdf&fromPage=GetDoc>
- [21] CROWTHER, B. *The handbook of rubber bonding*. Rev. ed. Shawbury, U.K.: Rapra Technology Ltd., 2003, x, 384 p.
- [22] POLASKI, G. *Bonding elastomers: a review of adhesives and processes*. Shawbury, U.K.: Rapra Technology Ltd., 2004, 140 p. Rapra review reports, v. 15, no. 9.
- [23] KREIBICH, V., *Povlaky z práškových plastů bezchybně* [online]. [cit. 06-01-2016]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne.html>
- [24] OSTEN, M. a J. MLEZIVA. *Práce s lepidly a tmely*. Vyd. 3., přeprac. a zkrác., v Gradě vyd. 1. Praha: Grada, 1996, 129 s. Profi. ISBN 80-716-9338-3.
- [25] *Loctite* [online]. [cit. 07-01-2016]. Dostupné z: <http://www.kleje-loctite.pl/book/i021ch02.htm>
- [26] COGNARD, P., *Handbook of adhesives and sealants*. 1st ed. Boston, Mass.: Elsevier, 2006, v. <2>. ISBN 00804470822.
- [27] ŠŮLA, M., *Pojení pryže s kovem*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2007, 63 s. ISBN 9788002019343.

- [28] KREIBICH, V., *Teorie a technologie povrchových úprav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1996, 89 s. ISBN 80-010-1472-X.
- [29] Speciality adhesives. *Automotive systems* [online]. [cit. 14-01-2016]. Dostupné z: http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08a4/0901b803808a4671.pdf?filepath=automotive/pdfs/noreg/299-51993.pdf
- [30] Thermo Scientific. *ARL™ QUANT'X EDXRF Spectrometer* [online]. 2015 [cit. 26-2-2016]. Dostupné z: <http://www.thermoscientific.com/en/product/arl-quant-x-edxrf-spectrometer.html>
- [31] Taylor hobson. *Form Talysurf Intra* [online]. 2012 [cit. 29-02-2016]. Dostupné z: http://www.taylor-hobson.com/uploads/downloads/products/FTS%20Intra%20brochure_Lowres_EN.pdf
- [32] Tribotechnika. *Zkušební metody pro hodnocení přilnavosti povlaků* [online]. TechPark, 2016 [cit. 29-02-2016]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-52013/zkusebni-metody-pro-hodnoceni-prilnavosti-organickych-povlaku.html>
- [33] FONTIJNE GROTNES. *FONTIJNE PRESSES* [online]. [cit. 09-03-2016]. Dostupné z: <http://www.fontijnepresses.com/lab-econ/>
- [34] MontechUSA. *Rheometer MDR 3000 basic* [online]. 2015 [cit. 10-03-2016]. Dostupné z: http://www.montechusa.com/rheometer_mdr3000basic.shtml
- [35] Testometric. *5kN* [online]. 2016 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.testometric.co.uk/5kn/>
- [36] ČSN 62 1461. *Pryž. Metoda stanovení soudržnosti mezi vrstvami při separaci*. Praha, 1989, 12 p

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AA	[mm ²]	Plocha zkušebního tělesa
ADS		Air dried sheets
ASTM		American Society for Testing and Materials
<i>b</i>	[mm]	Šířka zkušebního vzorku
BR		Butadienovy kaučuk
CM	[%]	Vada mezi primerem a kovem
CP	[%]	Vada mezi adhezivem a primerem
CR		Chloroprenovy kaučuk
ČSN		Česká technická norms
DGEBA		Dyglycidyl ether bisfenolu
dsk		Díly na sto dílů kaučuku
ED-XRF		Energiově disperzní rentgenový spektrometr
EPDM		Ethylen - propylenovy - dienovy kaučuk
EPM		Ethypen - propylenovy kaučuk
F_A	[N]	Maximální síla při přetržení
F_B	[N]	Maximální síla při přetržení
HBW		Hodnota tvrdosti dle brinella
I		Označení vzorků pryže
IR		Isoprenový kaučuk
M_H	[dNm]	Nejvyšší kroutící moment
M_L	[dNm]	Nejmenší kroutící moment
NBR		Butadien - akrylonitrilový kaučuk
NR		Přírodní kaučuk
phr		Parts per hundred rubber
R	[%]	Vada pryže
RA	[N/mm ²]	Hodnota soudržnosti pryže s kovem tahem
RB	[N/mm]	Hodnota soudržnosti pryže s kovem odlupováním
RC	[%]	Vada mezi pryží a adhezivem
RSS		Ribbed smoked sheets
SBR		Butadien-styrenovy kaučuk
t_{10}	[min]	Materiál navulkanizován z 10 %
t_{50}	[min]	Materiál navulkanizován z 50 %
t_{70}	[min]	Materiál navulkanizován ze 70 %
t_{90}	[min]	Optimum vulkanizace
t_n	[min]	Bezpečnostní doba vulkanizace
t_{s2}	[min]	Bezpečnostní doba vulkanizace
U		Označení vzorků pryže
USS		Unsmoked sheets

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení polymerů [3]</i>	13
<i>Obr. 2 Vzorec polyisoprenu [1]</i>	14
<i>Obr. 3 Čepování latexu [5]</i>	14
<i>Obr. 4 Chemický vzorec butadien-styrenového kaučuku [1]</i>	16
<i>Obr. 5 Chemický vzorec butadienového kaučuku [1]</i>	16
<i>Obr. 6 Chemický vzorec chloroprenového kaučuku</i>	17
<i>Obr. 7 Tvorba prostorové sítě při vulkanizaci [10]</i>	21
<i>Obr. 8 Vulkanizační křivka [8]</i>	22
<i>Obr. 9 Forma pro lisování [6]</i>	23
<i>Obr. 10 Princip přetlačování [11]</i>	24
<i>Obr. 11 Vstřikovací jednotka pro gumárenské směsi [13]</i>	24
<i>Obr. 12 Chemická struktura dyglycidyl ether bisfenolu A [14]</i>	25
<i>Obr. 13 Chemická struktura N,N' - tetraglycidyl 4,4' - diaminodifenylmethanu [14]</i>	25
<i>Obr. 14 Chemická struktura novolaké epoxidové pryskyřice [14]</i>	26
<i>Obr. 15 Chemická struktura cykloalifatické epoxidové pryskyřice [14]</i>	26
<i>Obr. 16 Druhy kartáčů: a) fibrový, b) drátěný s polétavými svazečky, c) s dlouhými svazečky, d) s vyměnitelnými svazečky, e) drátěné štětky [18]</i>	28
<i>Obr. 17 Schéma rozvrstvení materiálu v bubnu [18]</i>	29
<i>Obr. 18 Schéma principu elektrostatického práškového nabíjení [23]</i>	33
<i>Obr. 19 Schéma principu tribostatického práškového nabíjení [23]</i>	33
<i>Obr. 20 Adheze a koheze v lepeném spoji [25]</i>	35
<i>Obr. 21 Smáčení povrchu [24]</i>	36
<i>Obr. 22 Polarita látek [24]</i>	39
<i>Obr. 23 Schéma reakcí při vulkanizačním procesu [21]</i>	40
<i>Obr. 24 Typy vad spojů [29]</i>	42
<i>Obr. 25 Metoda A</i>	44
<i>Obr. 26 Metoda B</i>	45
<i>Obr. 27 Příklady typů selhání</i>	46
<i>Obr. 28 Kovové destičky s různými úpravami povrchu a) destička bez úpravy, b) brokovaná destička, c) lakovaná destička</i>	50
<i>Obr. 29 Energiově Disperzní rentgenový spektrometr [30]</i>	51
<i>Obr. 30 Přístroj Form Talysurf Intra [31]</i>	52

<i>Obr. 31 Klasifikační stupnice hodnocení přilnavosti laku [32]</i>	53
<i>Obr. 32 Dvouválec Scientific</i>	54
<i>Obr. 33 Hydraulický lis FONTIJNE LabEcon 300[33]</i>	55
<i>Obr. 34 Hydraulický vysekávací stroj a vysekávací nůž</i>	56
<i>Obr. 35 Schéma reometru [34]</i>	57
<i>Obr. 36 Vulkanizační křivka a křivka rychlosti vulkanizace směsi U</i>	57
<i>Obr. 37 Vulkanizační křivka a křivka rychlosti vulkanizace směsi I</i>	58
<i>Obr. 38 Rozměry vysekávacího nože typu 2</i>	59
<i>Obr. 39 Graf tahové zkoušky směsi U</i>	60
<i>Obr. 40 Graf tahové zkoušky směsi I</i>	61
<i>Obr. 41 Hodnoty viskozit pro jednotlivé pojící prostředky</i>	63
<i>Obr. 42 Návrh pryžového testovacího tělíska s vyznačením pojené plochy</i>	65
<i>Obr. 43 Ruční lis</i>	66
<i>Obr. 44 Testometric M350 – 5CT [35]</i>	67
<i>Obr. 45 Upnutí zkušební vzorku do čelistí</i>	68
<i>Obr. 46 Ukázka vyhodnocení soudržnosti spoje dle ČSN62 1461 [36]</i>	69
<i>Obr. 47 Ukázka vady R</i>	70
<i>Obr. 48 Ukázka vady RC</i>	70
<i>Obr. 49 Ukázka vady CM</i>	71
<i>Obr. 50 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti všech kombinací směsí U</i>	74
<i>Obr. 51 Přehled vzorků s vadou R nad 80 % u směsi U</i>	76
<i>Obr. 52 Přehled vzorků směsi U s vadou R pod 15 %</i>	78
<i>Obr. 53 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti pro nejnižší tloušťku u směsi U</i>	79
<i>Obr. 54 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti pro střední tloušťku u směsi U</i>	80
<i>Obr. 55 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti pro nejvyšší tloušťku u směsi U</i>	81
<i>Obr. 56 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých viskozit pro směs U</i>	82
<i>Obr. 57 Porovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých nástřiků pro směs U</i>	83
<i>Obr. 58 Srovnání hodnot soudržnosti pro jednotlivé tloušťky nástřiku a viskozit pro směs U</i>	83
<i>Obr. 59 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti všech kombinací směsi I</i>	86
<i>Obr. 60 Přehled vzorků směsi I s vadou R nad 80 %</i>	88
<i>Obr. 61 Přehled vzorků směsi I s vadou R pod 15 %</i>	90
<i>Obr. 62 Porovnání vlivu teploty na výslednou soudržnost u směsi I</i>	91

<i>Obr. 63 Srovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých viskozit u směsi I.....</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 64 Porovnání průměrných hodnot soudržnosti jednotlivých nástřiků u směsi I</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 65 Srovnání hodnot soudržnosti pro jednotlivé tloušťky nástřiku a viskozit pro směs I.....</i>	<i>94</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Prvkové složení brokované destičky</i>	51
<i>Tab. 2 Naměřené hodnoty drsností kovových destiček</i>	52
<i>Tab. 3 Naměřené hodnoty drsností reálných vzorků</i>	53
<i>Tab. 4 Základní parametry gumárenských směsí</i>	54
<i>Tab. 5 Parametry vulkanizace</i>	55
<i>Tab. 6 Hodnoty vulkanizačních charakteristik zkoušených směsí</i>	58
<i>Tab. 7 Rozměry vysekávacího nože typu 2</i>	59
<i>Tab. 8 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky směsi U</i>	60
<i>Tab. 9 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky směsi I</i>	61
<i>Tab. 10 Charakteristika pojícího prostředku</i>	62
<i>Tab. 11 Naměřené hodnoty viskozity pro pojící prostředek</i>	64
<i>Tab. 12 Kombinace procesních parametrů pojícího přípravku</i>	65
<i>Tab. 13 Technické parametry trhacího přístroje Testometric 350 [35]</i>	68
<i>Tab. 14 Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem pro směs U</i>	73
<i>Tab. 15 Přehled vad u všech vzorků směsi U</i>	75
<i>Tab. 16 Vzhled povrchů destiček u vad R nad 80 % u směsi U</i>	77
<i>Tab. 17 Vzhled povrchů destiček u vad R pod 15 % u směsi U</i>	79
<i>Tab. 18 Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem pro směs I</i>	85
<i>Tab. 19 Přehled vad u všech vzorků směsi I</i>	87
<i>Tab. 20 Vzhled povrchů destiček u vad R nad 80 % u směsi I</i>	89
<i>Tab. 21 Vzhled povrchu destiček s vadou R pod 15 % u směsi I</i>	91
<i>Tab. 22 Porovnání hodnot soudržnosti spoje kov – pryž pro obě směsi</i>	95