

Hodnocení kvality spoje pryž - vytvrzená epoxidová pryskyřice

Bc. Vu Minh Hiep

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Hiep VU MINH**
Osobní číslo: **T12682**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Hodnocení kvality spoje pryž - vytvrzená epoxidová pryskyřice**

Zásady pro vypracování:

Teoretická část diplomové práce se bude zabývat vlivem složení kaučukové směsi a jejich vulkanizačních podmínek na pevnost a pružnost spoje pryž - vytvrzená epoxidová pryskyřice s ohledem na aplikace v systému stabilizátor - pryžové lůžko. Dále budou v práci popsány různé typy spojovacích prostředků a možnosti destruktivního a nedestruktivního sledování kvality spoje. V praktické části diplomové práce budou stanoveny základní vlastnosti jednotlivých složek systému, tj. vytvrzená epoxidová pryskyřice, spojovací prostředek, pryž, a následně bude hodnocena pevnost a pružnost takových systémů na připravených zkušebních vzorcích o různém složení.

1. Vypracujte literární rešerši na zadané téma
2. Připravte zkušební vzorky spojů pryž - vytvrzená epoxidová pryskyřice a změřte jejich pevnost
3. Vyhodnoťte a diskutujte získané výsledky

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Seznam literatury:

1. WHITE, J., DE, S.K., NASKAR, K.: Rubber Technologist's Handbook, Volume 2. Smithers Rapra Technology, 2009. Online verze dostupná na:

<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRTHV0003/rubber-technologists>

2. literární zdroje Gumárenské skupiny Zlín při České společnosti průmyslové chemie týkající se zadané problematiky.

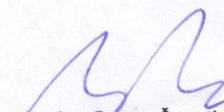
3. www: Vyhledávání v databázi Web of Science; <http://apps.isiknowledge.com>.

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

Datum zadání diplomové práce: **10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Vu Minh Hiep

Obor: Řízení jakosti

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 2.5.2014

.....

²⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

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 užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

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

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo provést literární rešerši v oblasti složení kaučukových směsí a jejich vulkanizačních podmínek, které mají vliv na kvalitu spoje pryž-vytvrzená epoxidová pryskyřice (prášková barva lakovaná na kov). Experimentální část se zabývá vyhodnocením jednotlivých typů selhání spojovaných součástí a to formou destruktivního sledování kvality spoje pomocí ASTM – 429 normy. V rámci této části byla také navržena hysterezní zkouška, jejímž cílem bylo změřením chování spoje pryž – vytvrzená epoxidová pryskyřice v závislosti na změně dráhy posuvu a pohybu při tahovém cyklickém zatížení.

Klíčová slova: vulkanizační podmínky, kaučukové směsi, pryž, spoj, epoxidová pryskyřice
pojení pryže s kovem, kvalita spojů, hysterezní zkouška

ABSTRACT

The objective of this Master Thesis was to perform a literature review in the area rubber compounds composition and their vulcanization conditions which together affect the quality of the joint rubber-cured epoxy resin (powder paint coated on metal). The experimental part deals with the evaluation of each type of failure of associated components, through a destructive bond quality monitoring using ASTM - 429 standard. In this part, hysteresis test was designed as well. Its goal was to measure the behavior of the bonding rubber - cured epoxy resin according to a change of path and movement under tension strength by cyclic loading.

Keywords: vulcanization conditions, rubber compounds, rubber, epoxide resin, rubber to metal bonding, bonding quality, hysteresis testing

Děkuji Ing. Michalu Sedláčkovi, PhD. za odborné vedení, pomoc a rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Mé poděkování patří i Ing. Lukáši Richterovi za spolupráci při získávání údajů pro výzkumnou část mé diplomové práce.

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

Ve Zlíně 5.5.2014

.....

Vu Minh Hiep

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KAUČUKY	13
1.1 PŘÍRODNÍ KAUČUK	13
1.2 SYNTETICKÝ KAUČUK	16
1.2.1 Druhy syntetických kaučuků	16
2 SLOŽENÍ GUMÁRENSKÉ SMĚSI	18
2.1 ZÁKLADNÍ SLOŽENÍ STANDARDNÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI.....	18
3 VULKANIZAČNÍ SYSTÉM	20
3.1 VULKANIZAČNÍ PROCES	21
4 PRYŽ A JEJÍ VÝZNAM	23
4.1 SLOŽENÍ PRYŽE	23
4.2 ZPŮSOBY VULKANIZACE VULKANIZÁTU	24
5 ÚPRAVA POVRCHU KOVŮ PŘED POJENÍM	25
5.1 MECHANICKÁ ÚPRAVA POVRCHU	25
5.2 CHEMICKÉ ÚPRAVY POVRCHU	26
6 EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE	27
7 PRYŽKOVÉ SOUČÁSTI	28
7.1 POŽADAVKY PRO KVALITNÍ SPOJ KOV – PRYŽ.....	28
7.2 ROZDĚLENÍ SPOJŮ PODLE VYTVOŘENÉ VAZBY.....	29
7.2.1 Mechanická báze	29
7.2.2 Lepení.....	29
7.2.3 Vulkanizace.....	30
8 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY LEPENÍ A SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ	31
8.1 LEPENÍ	31
8.1.1 Teorie difuze	31
8.1.2 Teorie smáčení	32
8.2 CHEMICKÉ A FYZIKÁLNÍ VAZBY V MODELU ADHEZE	34
8.2.1 Dipólové síly	34
8.2.2 Spojení vodíkovými můstky	35
8.2.3 Disperzní síly	35
8.2.4 Chemická vazba	36
9 TECHNOLOGIE NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT	38
9.1 NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÉ BARVY – EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE FORMOU ELEKTROSTATICKÉHO STRÍKÁNÍ	38
9.1.1 Způsoby nabíjení práškové hmoty	38
10 CHARAKTERISTIKA VULKANIZAČNÍHO PROCESU PŘI TVORBĚ SPOJŮ	40

10.1	POST–VULKANIZACE PŘI POJENÍ	42
10.2	VÝBĚR SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ - CHEMOSIL NA PV POJENÍ	43
10.2.1	Doporučená tloušťka nátěru spojovacího systému.....	44
10.3	VODOU ŘEDITELNÉ PROSTŘEDKY	44
10.4	TYPY VAD PŘI POJENÍ SPOJOVACÍHO SYSTÉMU	45
11	METODY HODNOCENÍ SOUDRUŽNOSTI PODLE NORMY	
	ASTM 429	48
11.1	METODA A - PRYŽOVÁ ČÁST SPOJENA MEZI DVĚMA KOVOVÝMI PLÁTY	48
11.1.1	Laboratorní příprava standardních testovacích vzorků	48
11.1.2	Testování zkušebních vzorků	49
11.2	METODA B – 90° - ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA – PRYŽOVÁ ČÁST PŘIPEVNĚNA NA JEDNU KOVOVOU DESKU	49
11.2.1	Příprava standardních zkušebních vzorků.....	50
11.2.2	Testování zkušebních vzorků.....	50
11.2.3	Hodnocení jednotlivých typů selhání.....	50
12	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	52
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	53
13	CÍL EXPERIMENTŮ	54
14	ZKUŠEBNÍ TĚLÍŠKA PRO NAVULKANIZACI	55
14.1	MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH PROSTŘEDKŮ A ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK	56
14.1.1	Složení jednotlivých typů pryžových plotniček	56
14.1.2	Spojovací prostředky pro pojení	57
14.2	POJENÍ PRYŽE S KOVEM NA RUČNÍM VULKANIZAČNÍM LISU	58
15	ZKOUŠKY PRYŽE A JEJICH CHARAKTERIZACE.....	61
15.1	STANOVENÍ VULKANIZAČNÍ KŘIVKY	61
15.1.1	Stanovení vulkanizačních charakteristik pomocí RPA 2000	63
15.2	ZKOUŠKA ODLUPOVÁNÍM	63
15.2.1	Postup měření odlupování pod úhlem 90°	64
15.2.2	Metoda vyhodnocení soudržnosti adheze	65
15.3	HYSTEREZNÍ ZKOUŠKA	66
15.3.1	Postup měření zkoušky	67
15.3.2	Návrh hysterezní zkoušky pro stanovení průběhu adhezních sil při tahovém zatížení.....	68
15.3.3	Stanovení napětí při zatěžování a odlehčování síly a plochy hysterezní smyčky	68
16	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE	70
16.1	VÝSLEDKY PRŮBĚHU VULKANIZAČNÍ CHARAKTERISTIKY	70
16.2	ZJIŠTĚNÉ VADY PO POST–VULKANIZACI PRYŽOVÝCH PÁSKŮ NA KOV	72
16.3	HODNOCENÍ SOUDRŽNOSTI PRYŽE S KOVEM METODOU ODLUPOVÁNÍM.....	74
16.3.1	Výsledky nelakovaných destiček pojené na pryžovém pásku	74
16.3.2	Výsledky pro pryžové pásy pojené na lakovaných destičkách	82

16.3.3	Výsledné hodnoty soudržnosti pryžových pásků o různém složení pojených na lakovaných a nelakovaných destičkách s odlišnou povrchovou úpravou.....	90
16.4	HODNOCENÍ HYSTEREZNÍ ZKOUŠKY	92
16.4.1	Nastavení parametrů hysterezních smyček pro pryžový pásek s nátěrem 100 %	92
16.4.2	Výsledky hysterezních smyček pro pryžový pásek s nátěrem 100 %	96
16.4.3	Výsledky hysterezních smyček pro pryžový pásek s nátěrem 75 %	97
16.4.4	Pryžový pásek s nátěrem 50% pojený na kovových destičkách	99
16.4.5	Pryžový pásek s nátěrem 25 % pojený na kovových destičkách	100
16.4.6	Diskuze k výsledkům	101
ZÁVĚR		102
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		104
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		108
SEZNAM OBRÁZKŮ		110
SEZNAM TABULEK.....		113

ÚVOD

Je těžké si představit spojení dvou zcela odlišných látek, kterými jsou právě kov a pryž. U kovu může působením vzduchu a vody dojít k rozrušení struktury povrchu, což má za následek korozi, která vede ke znehodnocení spoje. Na druhou stranu zvulkanizovaná pryž zajišťuje odolnost vůči vodě i vzduchu. Cílem je tedy eliminovat uvedené rozdíly a dosáhnout kvalitní vzájemné soudržnosti mezi pryží a kovem.

Nejčastěji se takové spoje využívají v automobilovém, gumárenském, chemickém, elektronickém, strojírenském či leteckém průmyslu. Mezi nejčastější produkty patří těsnící, tlumící prvky nebo obecně komponenty určené pro motorová vozidla a pneumatiky.

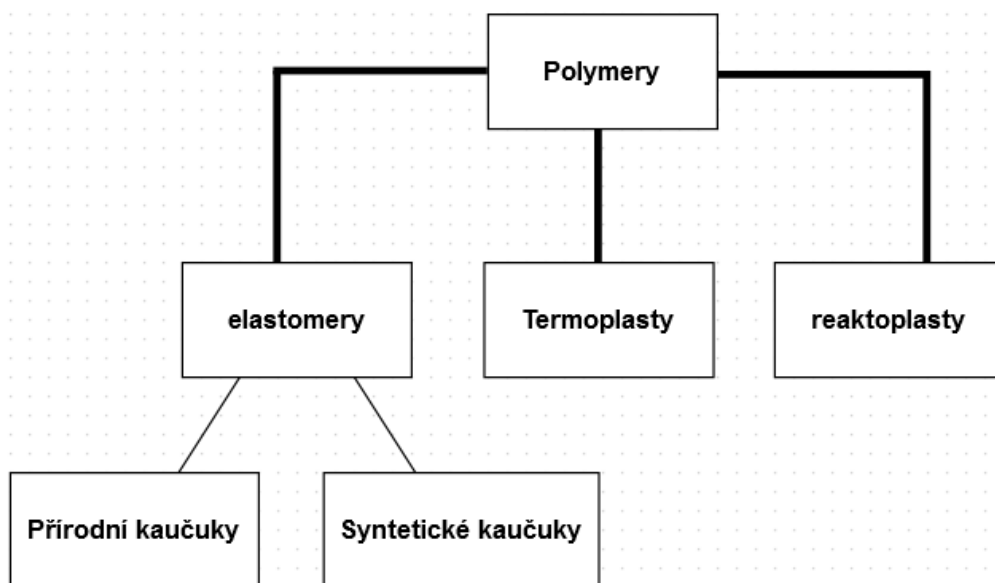
Dalším důležitým aspektem pro spojení kovů a pryží jsou mechanické vlastnosti, mezi které se například řadí teplotní chování, chemická odolnost či mechanické opotřebení.

Mimo zmiňované je potřeba si uvědomit, že rozhodující roli pro kvalitu spojů hrají především použitá technologie, zvolený materiál, gumárenská směs a v neposlední řadě také zkušenosti získané v průběhu experimentální praxe.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KAUČUKY

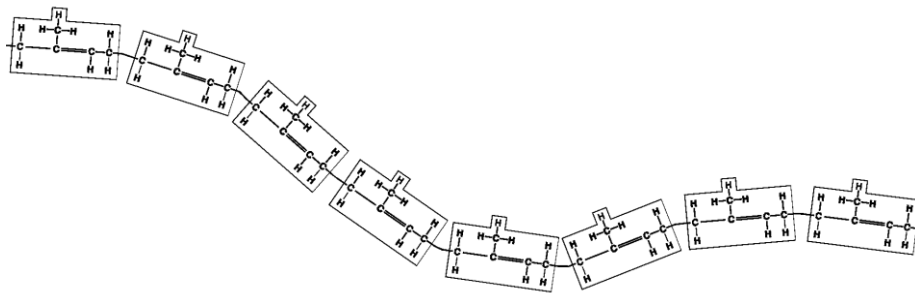
Jednou z nejdůležitějších složek gumárenských směsí je kaučuk, který se řadí do polymerní skupiny podle Obr. 1. Obecně existují různé druhy kaučuků lišících se chemickou strukturou, kdy jejich vlastnosti se navzájem liší ve značné míře, což umožňuje dimenzovat výrobky s požadovanými vlastnostmi pro širokou oblast aplikací. Co se týče vlastností kaučuků, tak ty se obvykle uvádí pro vulkanizované směsi, kdy je nutné uvědomit si, že vlastnosti kaučuků lze ovlivnit pomocí různých typů přísad. [1,2]



Obr. 1 – Základní rozdělení polymerů [3]

1.1 Přírodní kaučuk

Kaučuk (indiány nazývaný „cao“ strom, a „ochu“ slzy, tedy společným názvem „slzy stromu,“) je definován jako elastický polymer, který je založen na monomeru isoprenu, jež polymeruje do cis-1,4-polyisoprenu (Obr. 2) a získává se z latexu, pro který je charakteristický nízký obsah nepryžových látek, kterými jsou především mastné kyseliny, bílkoviny a pryskyřičné materiály, které fungují jako mírné urychlovače a aktivátory. V porovnání se syntetickými kaučuky mají ty přírodní (NR) mnohem delší řetězce, což s sebou nese mnohé výhody, mezi které patří vysoká odolnost vůči chemikáliím, oděru a elasticita, ale i nevýhody jako například menší odolnost vůči ozónu, ropě a organickým látkám.



Obr. 2– Řetězec přírodního kaučuku [4]

Latex samotný se získává z gumovníku (např. rostliny *Hevea Brasiliensis*, Obr. 3) a jak již bylo řečeno, používá se hlavně pro výrobu kaučuku vulkanizací. [2,5]



Obr.3- Čepování latexu ze stromu [6]

Při odběru se jímá do nádob, poté se upravuje formou uzení, praní a sušení, aby se předešlo možnému vzniku různých hnilob a mikrobů na povrchu, které mohou znehodnocovat kvalitu kaučuku. Přírodní kaučuk je volně dostupný v mnoha modifikacích, které se následně zpracovávají formou uzených listů (RSS – Ribbed Smoked Sheets, Obr. 4) či neuzených listů (USS – UnSmoked Sheets) a světlé krepky (PC – Pale Crepe). Lze také získat kaučuk, který byl upravován formou sušení na vzduchu (ADS - Air Dried Sheets). V případě že se jedná o uzený list, jsou RSS zpracovány metodou uzení. V počáteční fázi přípravy RSS

dochází k procesu válcování na několika dvouválcích, kde jsou získány listy o požadované velikosti, tj. 2,5 až 3,2 mm tlusté. V následující fázi se tyto listy protahují soustavou válců opatřených dezénem, upraví se do žebrované struktury a nakonec dojde ke konzervačnímu procesu uzením. Kaučuk se udí v komorách nebo v tunelových sušárnách. [2,7,8]



Obr. 4 – Uzené listy

Zpracování PC (Obr. 5) se provádí obdobně jako u RSS prostřednictvím válcování na dvouválcí, kde dojde k odstranění nečistot (tzv. praní). V konečné fázi se suší na vzduchu nebo ve vakuu, čímž se zkrátí doba sušení. Výroba bílé krepy je velice složitá, protože důsledkem vysoké teploty mohou na listech vznikat skvrny oxidací a proto se vyrábí v menší míře než u ostatních typů kaučuků.



Obr. 5 – Světlá krepa

V případě kaučuků označovaných ADS nebo USS probíhá zpracování obdobně jako u RSS, s tím, že se listy suší teplým vzduchem a uzení probíhá bez kouře po úplném vysušení, čímž se dosáhne transparentnějšího vzhledu. [2,7–9]

1.2 Syntetický kaučuk

Syntetický kaučuk je velmi důležitou složkou pro gumárenskou technologii, jelikož postupně v důsledku zlepšených určitých požadovaných vlastností pro dané aplikace postupně nahrazuje přírodní kaučuk doposud vyznačující se nízkou cenou při velkém objemu spotřeby. Mezi důležité vlastnosti syntetického kaučuku se řadí vysoká hodnota pevnosti, odolnost vůči oděru a vysoká odrazivá pružnost. [9–11]

1.2.1 Druhy syntetických kaučuků

V této kapitole budou rozebrány pouze některé syntetické kaučuky, které se používají nejčastěji.

Butadien-styrenový kaučuk

Butadien-styrenový kaučuk (SBR) je kopolymer butadienu a styrenu. Uvedený typ kaučuku je určen pro všeobecné použití a obsahuje nejčastěji 23 % – 25 % vázaného styrenu. V případě, že obsah styrenu je vyšší, nastane fáze, kdy je SBR termoplastický, avšak jeho zesíťovatelnost mu zůstává. Jeho výrobu lze tedy realizovat s různým obsahem styrenu a to z emulze a také z roztoku. [10,12]

Butadienový kaučuk

V dnešní době se většinou butadienové kaučuky (BR) vyrábějí metodou roztokové polymerace za přítomnosti Zieglerových-Nattových katalyzátorů. Výroba BR je obdobná jako u SBR. [9,12]

Butyl kaučuk

Butyl kaučuk (IIR) je kopolymer isobutylenu a isoprenu. IIR má na rozdíl od NR a ostatních syntetických kaučuků velmi nízkou propustnost vůči vzduchu, vodní páře a jiným plynům. Další výhodou je také dobrá odolnost vůči teplotě, vlivu kyslíku, ozónu a ostatním chemikáliím. [11,12]

Ethylen-propylen a ethylen-propylen terpolymer kaučuky

Ethylen-propylenový kaučuk (EPM) a ethylen-propylenový terpolymer kaučuk (EPDM) se vyrábějí kopolymerací etylenu, propylenu a dienu. Dienové komponenty obsahují dvojné vazby, které umožňují síťování pomocí síry. Nicméně v mnoha případech je pro síťování využito organických látek, protože síťování EPM sírou je nemožné z důvodu absence dvojné vazby v makromolekulárním řetězci. Absence dvojných vazeb v hlavním řetězci

(řetězec EPM, EPDM-dieny pouze postranní řetězec) nicméně poskytuje dobrou odolnost vůči kyslíku, ozónu a teplotním výkyvům. Síťování sírou u EPDM způsobuje snížení deformace v tlaku. Lepitelnost EPM a EPDM je vzhledem k jejich struktuře výrazně snížena (ethylen, propylen). [11,12]

Tab. 1: Porovnání výhod a omezení některých druhů syntetických kaučuků [13]

Druh	Užitečné vlastnosti	omezení
SBR	Dobrá fyzikální pevnost, odolnost proti otěru	Špatná odolnost vůči ropě a ropným produktům
BR	Odolnost proti otěru	Špatná zpracovatelnost
IIR	Dobré ohybové vlastnosti, odolnost vůči teplu, ozónu, nerozpustný ve vodě	Špatná odolnost vůči otěru
EPDM a EPM	Odolný proti vodě, povětrnostním vlivům, ozónu	Špatná odolnost vůči ropě a ropným produktům

2 SLOŽENÍ GUMÁRENSKÉ SMĚSI

První kroky ve vývoji gumárenské směsi jsou spojeny se společnostmi Goodyear a Hancock. Je nutné zmínit, že guma (neboli gumárenská směs) je nedílnou součástí běžného života a z tohoto důvodu dochází k jejímu neustálému zdokonalování za účelem získání nových poznatků a vývoji nových typů, které by byly atraktivní pro současný trh. Mezi nejčastější využití patří například pneumatiky, hadice, guma na tužce atd. [10,11]

Gumárenské směsi nelze připravit tak, aby získaly dobré fyzikální, chemické či mechanické vlastnosti v celé škále. Veškeré aspekty pro optimalizaci unikátní směsi by měly výrazný vliv na samotnou cenu, kterou by bylo nutné vynaložit, aby bylo možné docílit odpovídajícího výkonu pro konečný produkt a eliminaci případných závad. [10,14]

Většinou je snaha navrhnout takovou směs, aby se docílilo snížení nákladů na minimum, a to snížením přísad za logickým účelem snížení ceny složek, které se nacházejí ve směsi, což se může ovšem časem projevit na kvalitě finálního produktu. K dalším důležitým parametrům pro kvalitu výsledného elastomeru jsou výběr surovin, správné kroky při míchání směsi a kontrola jakosti.

Mezi nejlepší dostupné zdroje receptur, ovšem častokrát ostře střežené, patří informace, které jsou uchovávány přímo u výrobců surovin, jelikož mnozí z nich disponují soubory receptur, které byly testovány na jimi nabízených materiálech.

Obecně vzato nicméně kaučuk samotný není zcela bezchybný, jelikož má špatnou odolnost vůči ozónu a stárnutí a proto je při jeho zpracování nutné použít přísady, které jsou schopny eliminovat zmíněné nedostatky. [10,14,15]

2.1 Základní složení standardní kaučukové směsi

- kaučuk nebo jejich kombinace
- plniva

Do základních směsí jsou přidány složky plniv, jejichž cílem je zlepšení jak mechanických tak také chemických vlastností a případně také snížení ceny produktu. Diference plniv lze rozčlenit na ztužující plniva, kdy tato zvyšují pevnost, tvrdost, tažnost a také odolnost proti opotřebení. Nejznámější jsou saze (C4) a silika (SiO₂). Naproti tomu neztužující plniva zvětšují objem a snižují cenu výrobku. Pro tento účel se používá křída, kaolin. [4,16]

- vulkanizační činidlo

Charakteristika vulkanizačních činidel je specifická tím, že se jedná o látky, které jsou schopny s pomocí chemické reakce vytvořit příčné vazby mezi řetězci kaučuku. K nejznámějším činidlům řadíme síru, oxidy kovů či reaktivní pryskyřice. [2,4]

- aktivátory a retardéry vulkanizace

Do této skupiny řadíme například retardéry, které se přidávají do kaučukové směsi, aby zamezily brzké vulkanizaci a aby tedy došlo k procesu v požadovaný okamžik. [2]

- pomocné prvky

Zde lze zařadit například změkčovadla disponující schopností zlepšit tvarovatelnost, vytlačování nebo lepivost v hubici. Nejznámějšími jsou parafín, ropné oleje, produkty uhelného dehtu a smrkového dřeva, přírodní oleje a syntetická změkčovadla. [2,4]

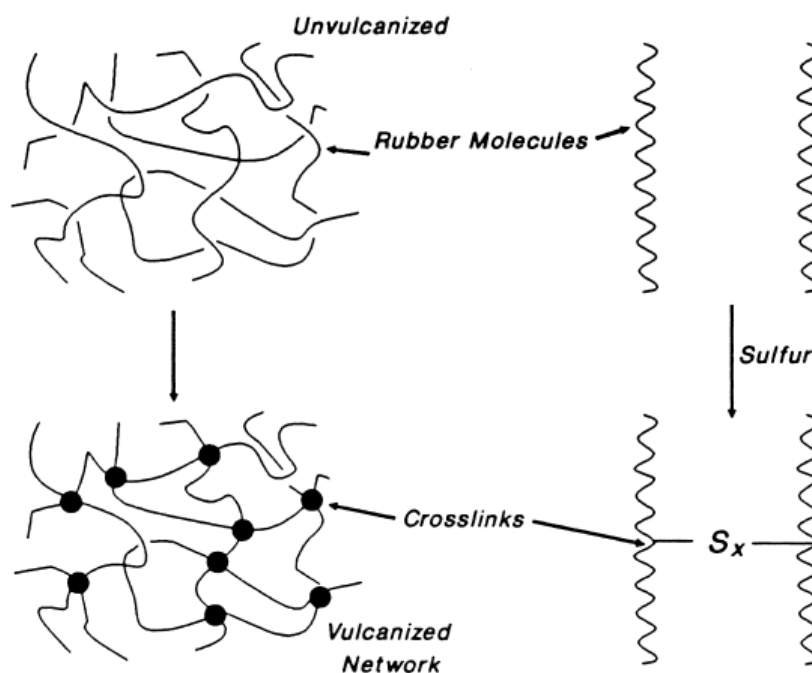
- ochranné prvky

Jedná se o látky, jako jsou antioxidanty, antidegradanty, antiozonanty, kdy jejich primárním cílem je ochrana proti stárnutí pryže na kterou působí mnohé vnější faktory jako je teplo, světlo, chemikálie, ozón apod. V praxi nejpoužívanějšími jsou Santoflex, IP a Anti-oxidant CD. [2,4]

3 VULKANIZAČNÍ SYSTÉM

Součástí nejběžnějšího procesu vulkanizace sírou je zahřívání kaučukové směsi, která obsahuje syrový kaučuk, síru nebo látky, v nichž je síra základní složkou, doplněnou např. katalyzátory (ke zvýšení reakční rychlosti lze použít 2-merkaptobenzothiazol a tetramethylthiuram disulfid, oxid zinečnatý nebo mastné kyseliny) a dále pak výše uvedené složky kaučukových směsí. Mezi další možné typy vulkanizace lze řadit reaktanty typu organických peroxidů, oxidů kovů a syntetických pryskyřic. V průběhu samotné vulkanizace dochází k vzájemnému propojování dlouhých řetězců kaučukových molekul pomocí křížových mostů. V důsledku toho se ztrácí původní vlastnosti kaučuku příp. kaučukové směsi a látka je převedena prostřednictvím procesu vulkanizace na elastický stav. [17,18]

Cílem vulkanizace je tedy vytvoření trojrozměrné zesíťované struktury pomocí chemického spojení dlouhých molekul kaučuku tzv. příčnými vazbami (Obr. 6). [17]



Obr. 6 Tvorba prostorové sítě v průběhu vulkanizace [10]

Jak již bylo zmíněno, součástí vulkanizačního systému jsou další důležité komponenty, kterými jsou urychlovače, aktivátory a inhibitory. Každá složka tohoto systému má jedinečnou a typickou funkci, u které lze změnit její parametry, abychom docílili lepších vlastností. Jednotlivé složky lze charakterizovat následovně [15]:

- **Vulkanizační činidla** jsou látky, jejichž vlivem dochází k zesíťování makromolekul elastomeru, přičemž z kaučukových směsí vzniká vulkanizát, který se svými vlastnostmi odlišuje od původního systému zvýšenou elasticitou. Do skupiny nejpoužívanějších činidel se řadí síra, chlorid sodný, organické peroxidy a oxidy kovů. [7,10]
- **Urychlovače** jsou nedílnou součástí každé kaučukové směsi. Používají se pro řízení průběhu respektive zkrácení doby vulkanizace. Do jisté míry mají vliv i na fyzikální vlastnosti vulkanizátu. Existuje velké množství různých typů urychlovačů, které se přidávají do směsi, a je možné je rozdělit podle účinnosti na pomalé, rychlé, velmi rychlé, ultra rychlé a speciální. [7,17]
- **Aktivátory vulkanizace** jsou organické nebo anorganické látky, které mají zlepšující účinky na urychlovače a vulkanizační činidla. Mezi nejpoužívanější anorganické aktivátory patří oxid zinečnatý, oxid hořečnatý a mezi organické stearin a stearyny. [7,17]
- **Inhibitor vulkanizace** disponuje schopností prodloužení doby vulkanizace (oddaluje vulkanizaci). [14]

3.1 Vulkanizační proces

Vulkanizační proces patří při výrobě vulkanizátu k časově a energeticky k nejnáročnějším operacím. Probíhá většinou za zvýšené teploty a tlaku a proto z ekonomického hlediska je velice žádoucí, aby proběhl v co nejkratší době. [12]

Proces vulkanizace je možné rozdělit do několika fází (Obr. 7), kdy pomocí tzv. vulkanizační křivky může být sledováno chování materiálu v definovaných podmínkách:

- **Plastická fáze toku:**
Směs začíná pod vlivem působení tlaku proudit do formy.
- **Navulkanizace:**
Směs vykazuje první síťovací reakci.
- **Síťování:**

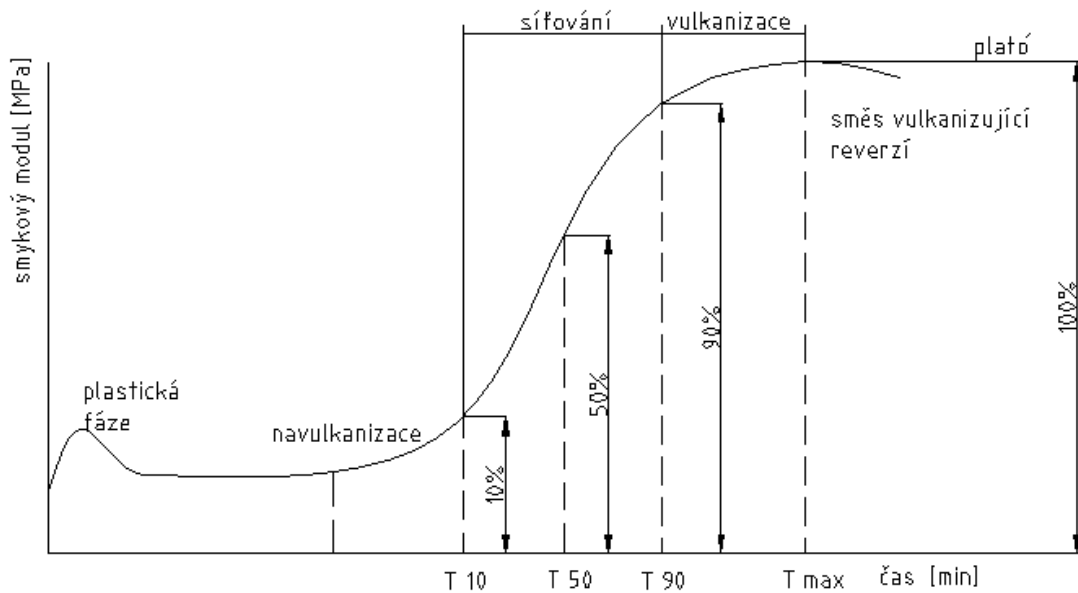
Proces, během kterého dochází ke tvorbě prostorové sítě. Stupeň zesíťování se zvyšuje, optimum vulkanizace ještě není nedosaženo.

- **Vulkanizace:**

Velký podíl síťovacího činidla se již spojil s kaučukem. Optimální vulkanizace byla dosažena, tj. 90% vulkanizát je již možné vyjmout z vulkanizačního zařízení.

- **Reverze:**

Následným prodloužením vulkanizační doby po dosažení optima může nastat reverze, která je nežádoucí, jelikož při ní dochází k trhání prostorových sítí. To následovně vede ke zhoršení kvality výrobků. [12,19]



Obr. 7 Vulkanizační křivka [12,14]

4 PRYŽ A JEJÍ VÝZNÁM

Pryž je díky svým vlastnostem v porovnání s konstrukčními materiály, kterými jsou především kovy a slitiny, zcela odlišná. Lze u ní skladbou kaučukové směsi nebo volbou rozměru dílce a dalšími opatřeními měnit její strukturu a také vlastnosti. Z toho důvodu je vhodným materiálem pro výrobky, jejichž funkce je podmíněna vlastnostmi pryže.

Její vlastnosti se výrazně liší od klasických konstrukčních materiálů především v oblasti mechanické, chemické a dynamické. Pryž je typická i svojí vysokou elasticitou, tj. schopností vrátit se při působení síly nebo napětí do původní polohy, schopností snášet bez poškození relativně velké deformace, chemickou odolností a v neposlední řadě i svojí velmi dobrou elektroizolační vlastností. Všechny tyto vlastnosti vycházejí jak ze složení a struktury kaučuků, tak i ze struktury pryže. [16,20]

4.1 Složení pryže

Vulkanizát neboli pryž vzniká při procesu vulkanizace z kaučukové směsi a tudíž může být složen jednak kombinací syntetického a přírodního kaučuku nebo i pouze ze syntetického resp. přírodního kaučuku. Obecně lze pryž získat vulkanizací kaučuku pomocí vulkanizačního činidla, jehož koncentrace je pro porovnání s ostatními složkami kaučukové směsi udávána v tzv. dsk (počet dílů látky na sto dílů kaučuku). Podle množství vulkanizačního činidla a síry se pryž dělí na tvrdou, polotvrdou a měkkou (Tab. 2). [14]

Tab. 2: Dávkování vulkanizačního činidla v dsk pro jednotlivé typy pryží [9,14]

	Vulkanizační činidlo
Tvrdá pryž	35 – 50 [dsk]
Polotvrdá pryž	12 – 25 [dsk]
Měkká pryž	0,5 – 4 [dsk]

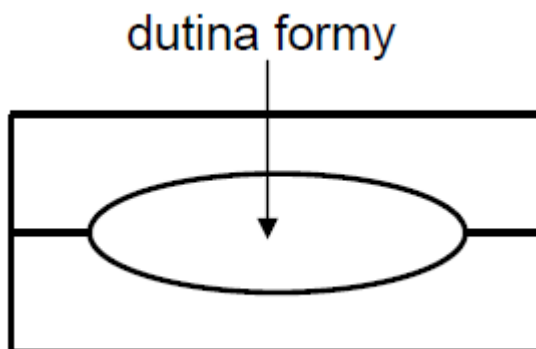
Specifické vlastnosti všech elastomerů jsou podmíněny uspořádáním molekul a jejich vzájemnými interakcemi během deformace. Modifikace vlastností pryže lze dosáhnout na základě řízení hustoty primárních nebo sekundárních vazeb vznikajícími při vulkanizaci mezi molekulami.

Realizace vulkanizace výrobku většinou probíhá ve formách při předepsané teplotě a dodržení technologických postupů. Tyto parametry se striktně řídí složením kaučukové směsi a velikostí výrobku. [16,20]

4.2 Způsoby vulkanizace vulkanizátu

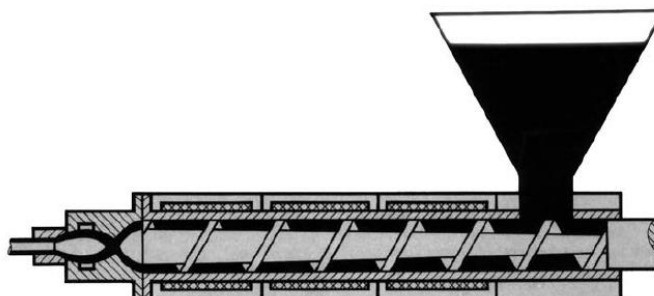
V následující kapitole budou uvedeny nejzákladnější způsoby vulkanizace.

Prvním z nejběžnějších způsobů vulkanizace je pomocí tzv. vulkanizačních lisů, kdy je do předem předehřáté formy vložena gumárenská směs. Forma je následně uzavřena a proces vulkanizace je zahájen. Pomocí lisovacího tlaku následně dochází k požadovanému vytváření za předem stanovené teploty a tlaku (Obr. 8). [10,21]



Obr. 8 Uzavřená forma [21]

Druhým nejběžnějším způsobem vulkanizace je vstřikování, což je technologický proces (Obr. 9), při němž je kaučuková směs plastikována šnekovým vytlačovacím strojem a tím přetlačena do dutiny formy. V gumárenské technologii se používá krátký šnek, aby nedocházelo k nežádoucímu přehřátí gumárenské směsi. [10,21]



Obr. 9 Vstřikovací forma [21]

5 ÚPRAVA POVRCHU KOVŮ PŘED POJENÍM

Podstatným rysem povrchových úprav kovů před jejich pojením s pryžovými součástmi je získání takových vlastností, aby byl zajištěn povrch materiálu zajišťující optimální a dlouhodobou životnost spoje. Do skupiny nejvhodnějších a nejpoužívanějších materiálů se řadí ocel a hliníkové slitiny. Zpravidla platí, že čím je ocel z hlediska složení kvalitnější, tím náročnější je realizace povrchové úpravy pro dosažení optimálního spoje.

Při procesu povrchové úpravy dochází k odstranění chemických a mechanických nečistot z povrchu kovu a následovně k nánosu speciálního spojovacího prostředku.

Zvolená technologie povrchové úpravy ovlivňuje:

- Kvalitu pojení
- Spolehlivost
- Užitnou hodnotu výrobku

Příprava povrchu je tedy jedním z nejdůležitějších předpokladů technologického postup a faktorů ovlivňujících životnost povrchových úprav. Tento typ úpravy se obvykle dělí do 2 základních skupin a to mechanické a chemické úpravy povrchu. [22,23]

5.1 Mechanická úprava povrchu

Cíl mechanické úpravy povrchu je především v odstranění nečistot, zajištění podmínek pro vhodnou přilnavost následujících vrstev, vytvoření podmínek pro zvýšení korozní odolnosti a v neposlední řadě zlepšení mechanických vlastností povrchu.

Do škály základních operací zde lze zahrnout broušení, leštění, kartáčování, otryskávání a omílání. [22,24]

- **Broušení**

Jedná se o úkon, při němž se dokončení operace úpravy povrchu provádí pomocí nástroje opatřeného brusivem, jehož účelem je odstranit nežádoucí nerovnosti.

- **Leštění**

Leštění je operace, která je podsekcí procesu broušení. Dochází při něm k úbytku materiálu, který je zde však minimalizován. Tímto procesem lze tedy dosáhnout tzv. vyššího lesku, tj. snížení drsnosti pod $Ra\ 0,1\ \mu m$. Leštěním se většinou upravují povrchy pro finální vzhled daného výrobku.

- **Kartáčování**

- V případě kartáčování se jedná o čisticí technologii. Nástroje určené pro čištění a matování povrchu jsou drátěné a měkké kartáče. Účelem procesu je odstranění rzi a nečistot z povrchu produktu.
- **Otryskávání**
Jedná se o technologii využívanou pro čištění a přípravu povrchu pod nátěry, žárové nástřiky kovů a keramických materiálů. Tato forma je nejúčinnějším mechanickým procesem pro odstranění rzi. Pro její realizaci se využívají tlaková, sací a tryskací zařízení. [22,24]

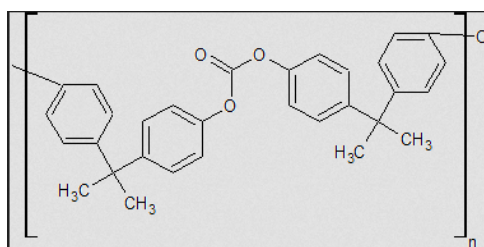
5.2 Chemické úpravy povrchu

Chemické úpravy povrchu využívají chemická činidla, která reagují s nečistotami na povrchu materiálu. Do skupiny uváděných úprav patří:

- **Odmašťování**
Jedná se o chemický proces, jehož cílem je odstranění všech druhů ulpělých nevlastních nečistot z povrchu materiálu, které k němu jsou vázány pomocí adhezních a kohezních vazeb (tuky, oleje, vosky, vazelíny). [22,24]
- **Moření**
Využívá se pro odstranění nečistot, které ulpívají na povrchu materiálu chemickou vazbou, tj. odstranění kovových oxidů a hydratovaných oxidů z povrchu materiálu rozpouštěním v kyselinách. [22,24]
- **Dekapování**
Jedná se o specifický druh moření, který se používá při procesu galvanického pokování pro odstranění tenkých oxidových vrstev. [22,24]
- **Odrezování**
Jedná se o zvláštní druh moření, jehož základ spočívá v odstranění oxidu z povrchu ocelových částí za použití odrezovačů, nejčastěji formou kyseliny fosforečné. [22,24]

6 EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE

Epoxidové pryskyřice (EP-pryskyřice) jsou polymery obsahující nezreagované epoxidové jednotky, tj. dva atomy uhlíku a jeden atom kyslíku (Obr. 10). Jedná se o vytvrditelné pryskyřice (termosetové pryskyřice), které reagují s tvrdidlem a případně s přísadami pro vytvoření termosetového polymeru. Epoxidové pryskyřice jsou polyethery zpravidla se dvěma koncovými epoxidovými skupinami. Vytvrzovací činidla jsou reakční složky a tvoří s pryskyřicí plastickou hmotu. [25]



Obr. 10 Epoxidová pryskyřice [26]

Epoxidové pryskyřice jsou mimo jiné využívány pro reakční a pečicí laky, práškové barvy, dvousložkové lepidla na lamináty a jako formovací materiál, který nachází své využití především v oblasti elektrotechniky, automobilového a leteckého průmyslu atd. [25]

Epoxidová pryskyřice je velmi často ve formě práškové barvy a řadí se tedy do tzv. nátěrových hmot, které mají využití především v průmyslu automobilovém (Obr. 11), strojírenském, stavebnictví atd. Samotná prášková barva má výborné mechanické vlastnosti s obzvlášť dobrou odolností vůči vlivu chemických činidel a povětrnostních elementů. Pro aplikaci se barva ničím neředí a ani se v žádné tekutině nerozpouští. Nanášení probíhá v práškové podobě s pomocí stlačeného vzduchu, jenž po smísení s práškem vytváří směs ve formě tekutiny. [27]



Obr. 11 Stabilizační tyč potažená práškovou barvou

7 PRYŽKOVÉ SOUČÁSTI

O pryžových komponentech je všeobecně známo, že jsou díky svým fyzikálně-mechanickým vlastnostem velmi vhodným doplňkem a rozšířením sortimentu konstrukčních kovových dílců. V prvopočátku se především využívaly celopryžové díly, které se zamontovaly do montážních celků (Obr. 12).



Obr. 12 Pryžový díl

Konstrukce těchto celků byla v mnoha případech složitá a náročná byla i montáž dílů, které často požadované nároky neplnily. Z toho důvodu byla snaha o konstrukční zjednodušení dílů vytvořením spoje.

Nejen samotný kov (zejména jeho povrchová energie, orientace krystalu, struktura a tloušťka dané spojovací vrstvy), ale i pryž (zejména polarita kaučuku, reakční schopnost řetězce, povaha síťovacího činidla, reologické vlastnosti spojovacího prostředku) hraje pro kvalitu spojení pryže velkou roli. [11,16,17]

7.1 Požadavky pro kvalitní spoj kov – pryž

Jedním z hlavních bodů pro posouzení kvalitního spoje mezi kovem a pryží je značně vyšší pevnost spoje než pevnost použité pryže. Takto vytvořený spoj by měl být schopen odolávat chemikáliím, teplu, UV záření a také ozónu. Vedle toho by tento vzniklý produkt neměl mít negativní vlivy na životní prostředí. V neposlední řadě by v případě recyklace, ne tedy likvidace pryžových dílů, mělo být dbáno na co nejnižší zátěž životního prostředí. [25, 26,28]

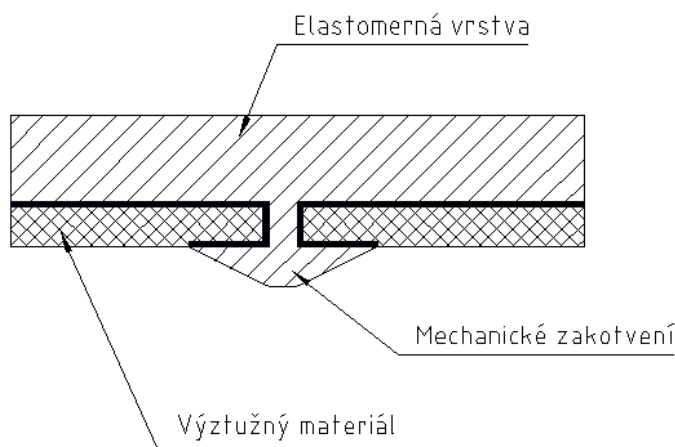
7.2 Rozdělení spojů podle vytvořené vazby

Pryžokovové spoje lze v zásadě rozdělit do tří základních typů podle jejich vzniku:

- Mechanická báze
- Lepení
- Vulkanizace

7.2.1 Mechanická báze

Na zcela mechanické bázi je pryž zakotvena v prolisech nebo otvorech v zálisku a pevnost spoje je závislá jen na tření a mechanické pevnosti pryže, která protéká v otvorech v zálisku (obr. 13). Samotnou pryžovou část lze dokonale doplnit na zálitek dodatečně. Při takové situaci nevznikají na kontaktní ploše mezi výliskem a záliskem žádné chemické či fyzikální vazby.[28]



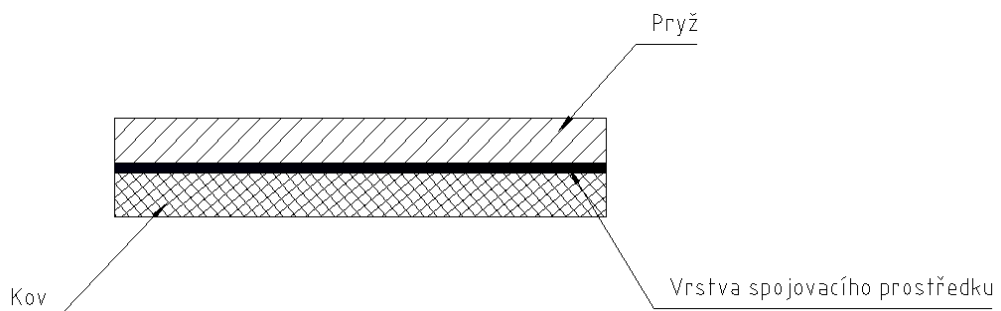
Obr. 13 Schéma spojení pryže s kovem mechanickým způsobem [30]

7.2.2 Lepení

Při lepení dochází k vytvoření spoje mezi kovem a pryží, kdy pryž již prošla vulkanizací, a to pomocí lepidla. Kov je nutno před lepením vhodně ošetřit a dále je důležité zvolení správného lepidla. V průběhu procesu lepení dochází ke vzniku jak fyzikálních tak i chemických vazeb mezi kovem, lepidlem a pryží. Díky této technologii lze získat kvalitní spoj, ovšem mezi nevýhody se zde řadí poměrně dlouhý čas, který je potřebný pro ztuhnutí spoje. [28,29]

7.2.3 Vulkanizace

Spoj, který se nachází mezi kovem a pryží, je vytvořen speciálním postupem při vulkanizaci ve formě, kdy je nutno předem upravit kovový dílec. Při tomto typu spojování dochází k vytváření vazeb na chemické i fyzikální bázi. Takto vytvořené spoje vykazují u uvedených typů spojování maximální hodnoty pro pevnost (Obr. 14). [28,30]



Obr. 14 Schéma spojení pryže s kovem vulkanizačním způsobem [30]

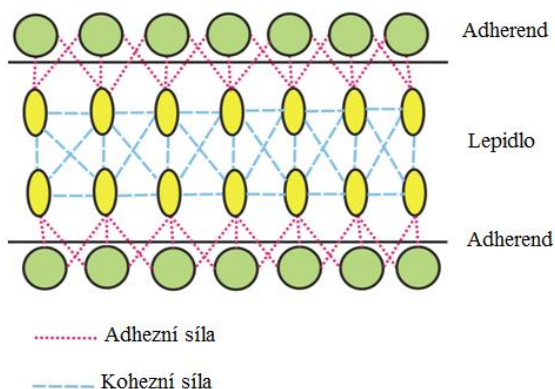
8 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY LEPENÍ A SPOJOVACÍCH PROSTŘEDKŮ

V následující kapitole budou popsány základní charakteristiky a rozdíly mezi lepením a spojováním pomocí speciálních prostředků.

8.1 Lepení

Lepidla jsou ve formě kapalin do té doby, než dojde k jejich styku s materiálem a počátkům procesu lepení. Toto spojení může být v seskupení jak tekutém, tak i roztaveném či plastickém.

Síly, které vyvolávají přilnavost lepidla a lepeného materiálu jsou obvykle označovány jako adheze a koheze (Obr. 15). Jedná se v podstatě o děj, při němž probíhá k seskupování molekul a následnému vzniku vnitřní soudružnosti molekul materiálu jak při samotném nanášení tak také v čase po vytvrdnutí adheziva. [29,31]



Obr. 15 Znáornění adhezní a kohezní síly mezi lepidlem a adherentem

8.1.1 Teorie difuze

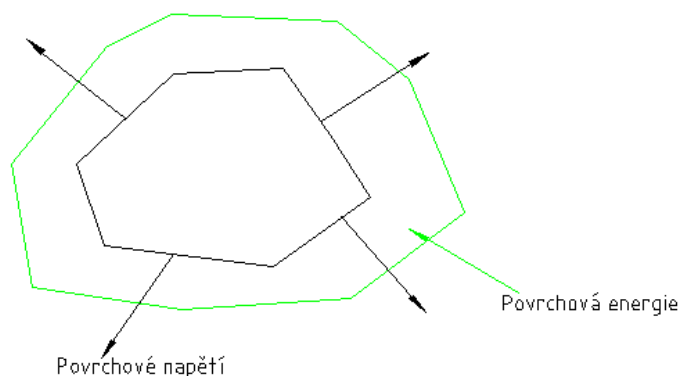
Teorie difuze se v oblasti lepení zabývá definováním materiálů na základě tzv. mikro – Brownova pohybu molekul, který umožňuje přechod molekul lepidla do materiálu a naopak. K tomu, aby tato teorie (Brownova) byla skutečně platná, je nutné splnění podmínek mísitelnosti lepidla s ostatními materiály a dále pak dostatečná pohyblivost makromolekul adheziva i adherentu. Mezi další ovlivňující faktory patří čas, teplota a viskozita. [28]

Na základě těchto podmínek lze konstatovat, že k nárůstu adhezní účinnosti dochází právě tehdy, pokud dojde ke zvýšení tlaku a teploty, jelikož se tímto zvětší jednak plocha kontaktu a také množství difundujících molekul. [29]

8.1.2 Teorie smáčení

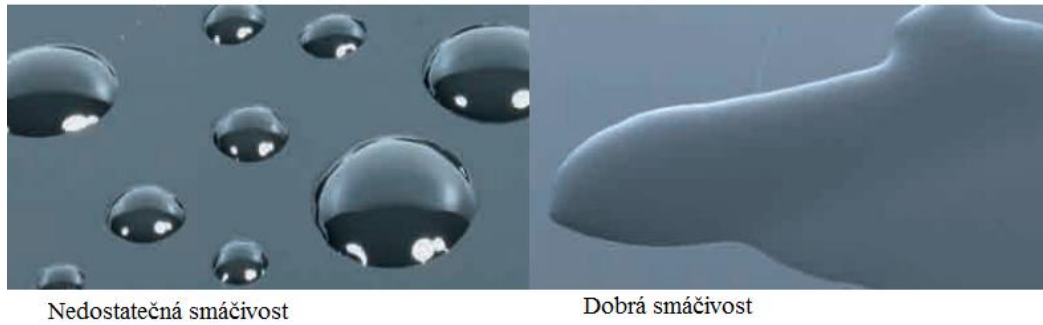
Mezi nejvýznamnější vlastnosti lepidla patří smáčení lepených povrchů. V tomto případě se jedná o schopnost smáčet povrch lepeného podkladu a závisí na povrchovém napětí lepidla a povrchové energii lepeného povrchu.

Povrchové napětí lze charakterizovat jako efekt, při němž se povrch kapaliny chová jako elastická fólie a snaží se dosáhnout co možná nejhladšího stavu s minimálním rozpětím. Znamená to tedy, že se povrch tekutiny snaží docílit stavu s nejmenší energií. [29,31]



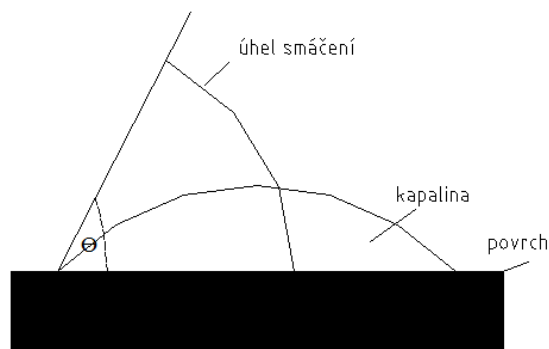
Obr. 16 – Schéma povrchového napětí, jakožto síly potřebné ke zvětšení povrchu obvodu o jednotku, a povrchové energie, jakožto energie potřebné ke zvětšení plochy povrchu o jednotku, pro obecné těleso. [32]

Na ploše každého pevného tělesa mají působení povrchové síly, které se na volném povrchu váží se vzduchem. Právě tyto síly, které jsou vztažené na plochu dílce, se nazývají povrchovým napětím (Obr. 16). U tekutin má značný vliv povrchové napětí na zmenšení povrchu kapalin, čímž dochází k jejich roztečení. Napětí povrchu má vliv nejen na roztečení lepidla, ale i na smáčení povrchu substrátu. Aby se však lepidlo dobře rozteklo a lepený povrch se snáze smácel, musí mít lepidlo povrchové napětí menší než povrchové napětí podkladu (Obr 17). [31,33]



Obr. 17 Ukázka smáčivosti na povrchu

Úhel smáčení slouží k určení schopnosti kapaliny smáčet pevný povrch. K dobrému smáčení dojde tehdy, je-li úhel smáčení menší než 90° . Ke smáčení povrchu nedojde tehdy, je-li úhel smáčení větší než 90° (Obr. 18 a 19).



Obr. 18 – Schéma smáčení

$\alpha = 0^\circ$		úplně smáčení
$\alpha < 90^\circ$		dobrá smáčivost
$\alpha = 90^\circ$		ne dostatečná smáčivost
$\alpha > 90^\circ$		ne dostatečná smáčivost
$\alpha > 180^\circ$		zcela nesmáčený povrch

Obr. 19 – Smáčení povrchu kapalinami

Pro dosažení dobrého výsledku lepení je nutno přiblížit molekuly lepidla k molekulám lepeného podkladu. Lepidlo musí být při nanášení tekuté a musí dobře smáčet povrch, aby došlo k přiblížení molekul lepidla a lepeného podkladu. [31,33]

8.2 Chemické a fyzikální vazby v modelu adheze

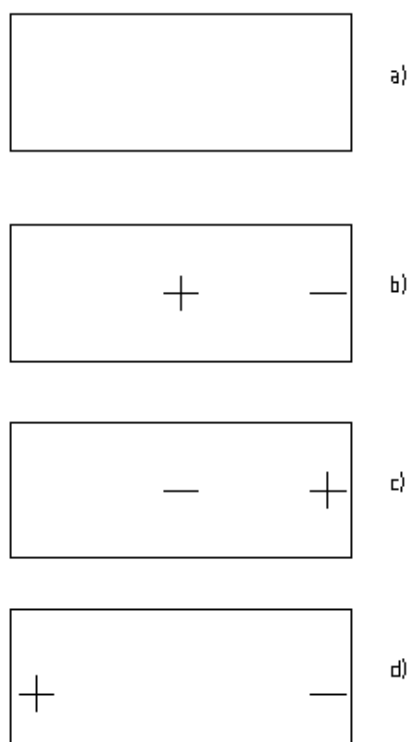
V současné době neexistuje žádný jednoznačně platný model přilnavosti (adheze), ale spíše se vyskytují série různých modelů, z nichž každý má své vlastní uplatnění. Některé modely jsou uvedeny níže. [29]

Fyzikální vazby zahrnují tyto interakce:

- Dipólové síly
- Vodíkové můstky (výměna protonů)
- Disperzní síly (van der Waalsovy síly)

8.2.1 Dipólové síly

Tyto fyzikální interakce jsou účinné, je-li přítomna polarita, a pokud mohou být generovány trvalé nebo indukované dipóly. Polární skupiny v molekule lepidla musí kontaktovat povrch materiálu. Příklad pro adhezi mezi polárním pojivem a polárním podkladem je zobrazen na Obr. 20. [29,34]



Obr. 20 – Polarita látek, kdy (a) značí molekuly bez aktivních míst – nepolární, (b) Molekuly s aktivně negativními místy – pozitivně polární, (c) Molekuly s aktivně pozitivními místy – negativně polární, (d) Molekuly s aktivně pozitivními a aktivně negativními místy – pozitivně a negativně polární [31]

Látky nepolární a látky silně polární se nedostávají do procesu mísení, jelikož adheze mezi nimi je minimální.

Do skupiny látek nepolárního typu patří např. alifatické i aromatické uhlovodíky, tj. benzen, polyethylen apod. Naproti tomu do skupiny látek, které mají polární charakter, patří např. voda, aminy, kyseliny atd. [29]

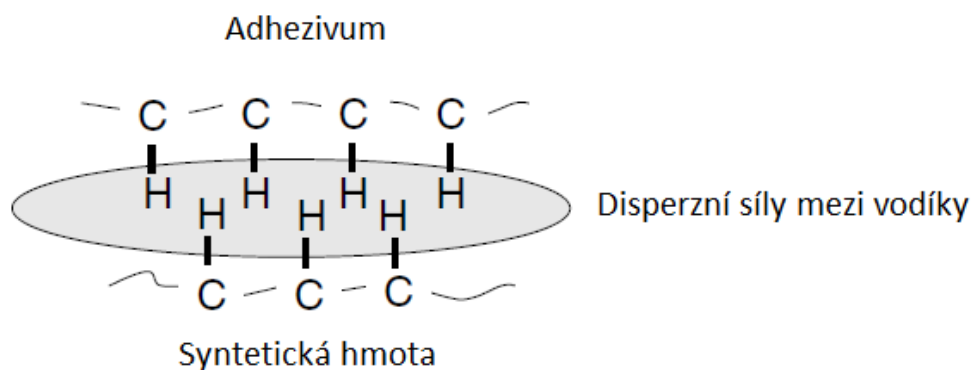
8.2.2 Spojení vodíkovými můstky

Vyskytuje se mezi velmi polárními skupinami, jako je $-NH$, $-OH$, močovina, uretany, estery, amidy apod. Tato vodíková skupina je uprostřed mezi dvěma vrstvami spoje. V polyuretanových systémech má vodíková vazba velký vliv na pevnost propojení.

8.2.3 Disperzní síly

Disperzní síly se projevují v případech, kdy se dlouhý polymerní řetěz rozptyluje velmi blízko podkladu a zároveň jsou generovány "nepolární" interakce. Obecně se tyto mechanismy nazývají van der Waalsovy interakční mechanismy, které jsou odpovědné za vznik

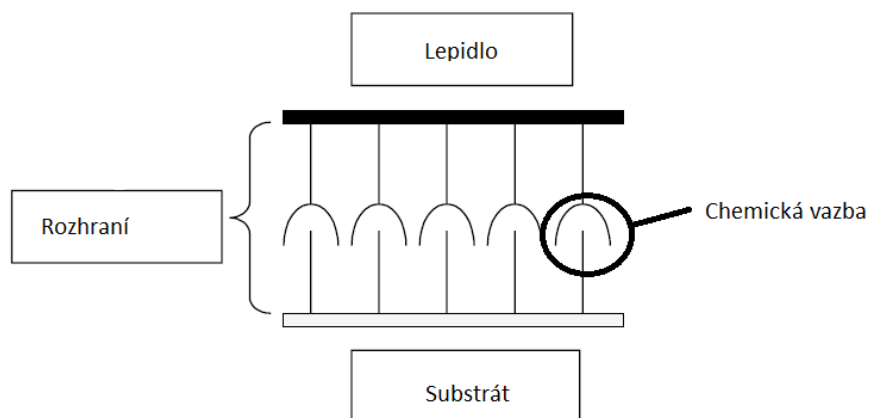
spojovacích sil. Uvedený difúzní postup je významný především pro lepení plastických hmot (Obr. 21). [29,34]



Obr. 21 Schéma van der Waalsovy interakce [29]

8.2.4 Chemická vazba

Při tvorbě chemické vazby dochází k chemické reakci mezi reaktivními skupinami lepidla a povrchem substrátu. To může vést ke kovalentní, iontové nebo komplexní vazbě (Obr. 22).



Obr. 22 Znárodnění vzniku chemické vazby [29]

Kohezní síla adhesiva je tvořena širokým spektrem sil včetně síly molekulární dipólové, vodíkového můstku, kovalentní a jiných spojovacích sil, a je v podstatě mixem všech těchto sil v různých poměrech.

V lepicích hmotách jsou slabá místa, která závisí do značné míry na:

- homogenitě lepidla
- obsahu plynů v lepidle

- tvrdých a kompaktních částech lepidla
- slabých a měkkých částech lepidla.

Kromě selhání spojení lepidla může spoj selhat v mezní vrstvě, která je na rozhraní lepidla a povrchu. Tím může být vrstva oxidu kovu, povrch znečištěný mastnotou, zbytky změkčovadla nebo slabou hraniční vrstvou, která je obecně první vrstvou lepidla na podkladu.

[29,33,34]

9 TECHNOLOGIE NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT

Při volbě technologie nanášení nátěru je nutné zvážit základní technologické zásady, které mají vliv na výslednou fázi daného výrobku.

- **Ruční nanášení (štětec, váleček)**

Jedná se o nejrozšířenější formu zhotovování nátěru. Tato technologie je typická svojí univerzálností a používá se především pro povrchovou úpravu. Proces natírání povrchu se provádí buď pomocí štětce a to tahem nebo válečkem, kdy je nátěrová vrstva pod tlakem roztírána. [35]

- **Máčení**

Máčení je jednou z nejvíce hospodárných technologií. Tato metoda je založena na ponoření výrobku do vany s nátěrovou hmotou a jeho vynořování, čímž následně dojde k řízenému vytvoření nátěru o požadované tloušťce a kvalitě.

- **Stříkání**

V případě stříkání se nejčastěji pro nanášení nátěrových hmot používají vzduchové pistole, kdy se poté hovoří o pneumatickém nanášení, které spočívá v použití stlačeného vzduchu na rozdělení nátěrové hmoty do drobných kapek a unášení rozprášených malých částic nátěrové hmoty z trysky stříkací pistole na dokončovanou plochu stříkaného předmětu. [35]

9.1 Nanášení práškové barvy – epoxidové pryskyřice formou elektrostatického stříkání

Principem této technologie je nanášení v elektrostatickém poli za přítomnosti vysokého napětí. V tomto místě se částice prášku elektricky nabíjejí, zatímco předmět, který se lakuje, je uzemněn. K vytvoření dostatečné vrstvy prášku na předmětu i k jeho udržení, než se prášek vytvrdí pomocí vytvrzovací pece, je nezbytná určitá přitažlivá síla. [36]

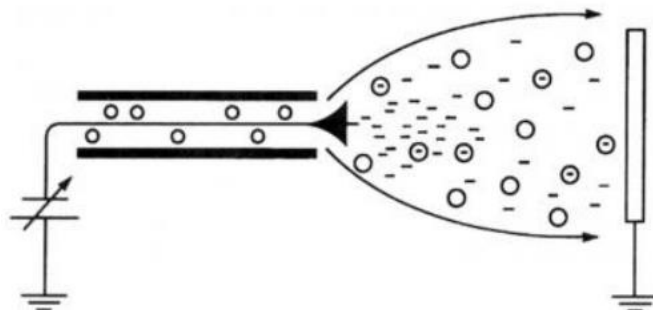
9.1.1 Způsoby nabíjení práškové hmoty

Způsoby nabíjení práškové hmoty lze rozdělit do dvou základních skupin:

Elektrostatické nabíjení (statika, korona)

Díky vysokému napětí (30–90 kV), které se soustředí na stříkací pistol, dochází k ionizaci vzduchu, jež prochází pistolí. Po následném průchodu prášku ionizovaným vzduchem dojde k zachycení volných iontů na určitém počtu částic prášku, čímž se na částicích vytvoří

záporný náboj. Účelem tohoto procesu je tedy dosáhnout co největšího počtu nabitých částic v prášku (Obr. 23).

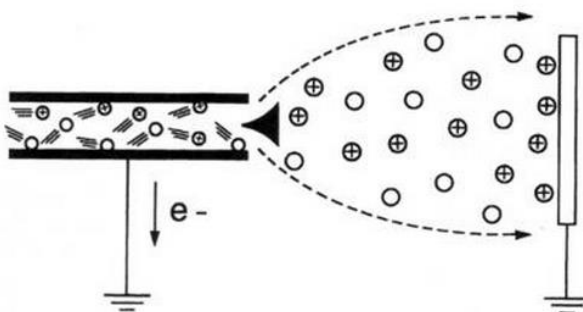


Obr. 23 Princip elektrického nanášení práškové barvy [36]

Za příliš vysokého napětí však může nastat nadbytečný přísun volných iontů, což má za následek zkomplikování získání kvalitní povrchové úpravy. [36]

Tribostatické nabíjení

Určitý typ částic prášku s tribostatickým efektem se nabíjí díky rychlému pohybu (frikčně, elektrokineticky). Dochází ke tření o speciální druh izolantu (obvykle PTFE), kterým je vyložen válec stříkací pistole (Obr. 24).



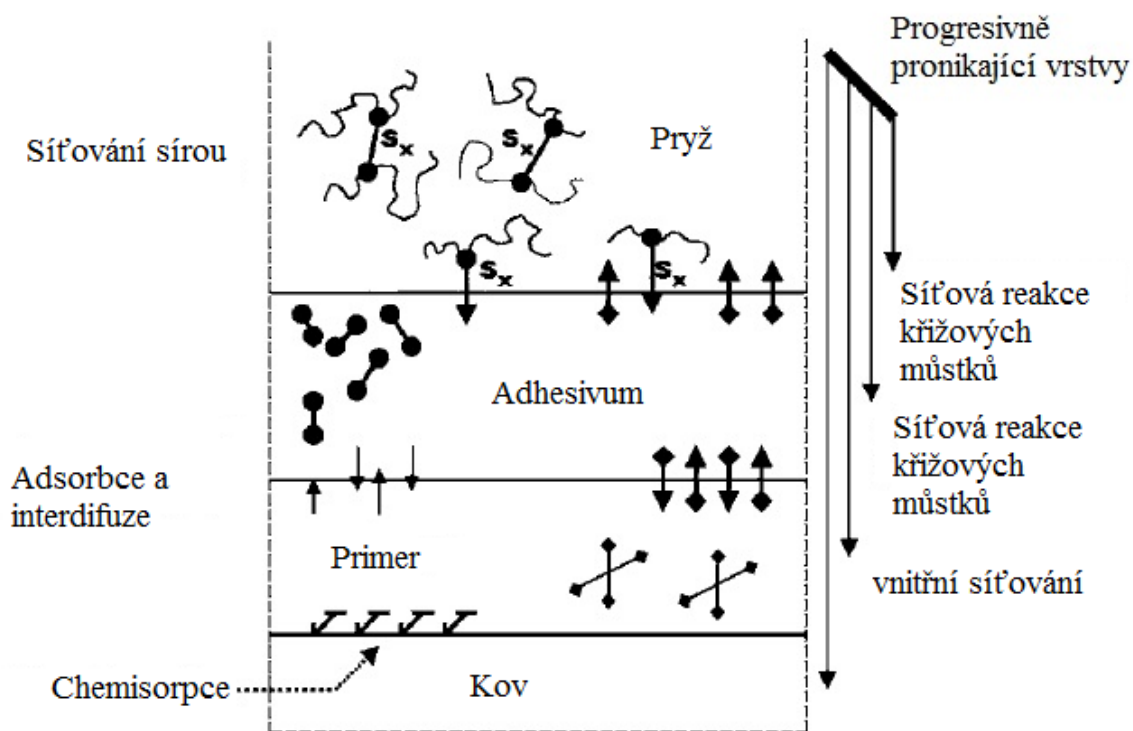
Obr. 24 Schéma principu tribostatického nabíjení práškového plástu [36]

Při tribostatickém nabíjení není přítomné vysoké napětí, jež by mohlo generovat volné ionty nebo vytvářet elektrická pole. Optimálního výkonu lze zpravidla dosáhnout regulací průtoku vzduchu pistolí, resp. poměru množství prášku a vzduchu. [36]

10 CHARAKTERISTIKA VULKANIZAČNÍHO PROCESU PŘI TVORBĚ SPOJŮ

Nátěrové hmoty, často označované jako primer, pro pojení pryže na kov obsahují organické pryskyřice, které během vulkanizace reagují s většinou kovových povrchů a tím vytváří chemickou vazbu s kovovým podkladem. Nátěrové hmoty rovněž obsahují polymery, které umožňují lepší vytváření pojivého filmu a splňují tedy podpůrnou roli pro následnou aplikaci pojivé vrstvy adheziva. [37]

Spojovací prostředky pro pojení pryže s kovem obsahují polymerní materiály, které jsou mísitelné s přísadami obsaženými v nátěru, stejně jako v kaučukové směsi a tím slouží ke spojení jednotlivých odlišných částí. Mnoho z nich je založeno na halogenových polymelech. Halogenové polymery a pryskyřice jsou známy svým efektivním smáčením kovů a mohou být použity jak v případě primeru, tak také jako další vrstvy adheziva. Poskytují efektivní ochranu před chemikáliemi, které by mohly narušit pojivou vrstvu. Adhesivum dále obsahuje velmi silná činidla, která reagují s polymery a jsou následně obsaženy jak v pryži tak také v lepidle. Difunkční a polyfunkční chemické sloučeniny navíc způsobují, že film tvořený polymerem může být tepelně zpracován a reaguje po celé své vrstvě tak, aby se co nejlépe přichytil k vrstvě pryže. [37]



Obr. 25 Schéma vulkanizačního procesu při pojení [37]

Princip vulkanizačního procesu tvorby spoje pryže s kovem je velmi komplexní a to vzhledem k tomu, že se při něm vyskytuje několik chemických reakcí zároveň. Všechny tyto reakce musí proběhnout ve velmi krátké době, tj. během doby vulkanizačního procesu na pryž. Pouze tímto způsobem bude dosaženo pevného trvanlivého spojení materiálů. Příslušné reakce jsou znázorněny na Obr. 25.

Každá ze tří organických vrstev systému spoje (primer nátěr, adhesivum, pryž) během tvarování prostupuje nebo vulkanizuje se sousední vrstvou, což je způsobeno přítomností pryskyřice reagující na teplo nebo externě dodanými síťovacími činidly. Tato síťovací reakce zvyšuje molární hmotnost a celkovou kohezní pevnost jednotlivých vrstev.

Prvním článkem systému je primer na kovovém povrchu. Jak bylo zmíněno výše, kromě interních propojení reagují v primeru organické pryskyřice s oxidy kovů na povrchu kovové části systému a tím vytvářejí velmi silné kovalentní chemické vazby. Tento typ reakce se nazývá chemisorpce, kdy vytvořené spojení je oproti fyzikální adsorpci mnohem odolnější vůči vodě, teplu a chemikáliím. Fyzikálně adsorpční spojení jsou navíc snadno poškojitelná běžnými vlivy okolního prostředí, jako jsou změny teplot či chemické reakce (např. kyselý déšť).

Druhý článek spojení se nachází mezi primerem a adhesivem. Činidlo obsažené ve vrstvě adhesiva migruje či vzlíná do primeru v průběhu vulkanizace a tvoří chemickou vazbu mezi primerem a vrstvou adhesiva. V primeru původně obsažený polymerní film reaguje s vrstvou adhesiva, a tím dále zesiluje vazbu mezi vrstvami především kompatibilitou s polymery, které jsou obsaženy ve vrstvě adhesiva. [37,38]

Posledním článkem je rozhraní mezi adhesivem a pryží. Činidlo obsažené v adhesivní vrstvě opět reaguje s pryží v průběhu vulkanizace a vytváří chemickou vazbu mezi adhesivem a pryží. Tyto vazby mezi vrstvami jsou z důvodu jejich odlišení od síťovacích reakcí v samotné pryži nazývány „příčné můstky“. Dále se z pryže do vrstvy adhesiva dostává nezreagovaná síra, která pomáhá vytvořit další příčné můstky mezi vrstvou pryže a adhesiva.

Spojovaný systém pryž - kov obecně tvoří dvě širší kategorie – primer/cover (dvojvrstvé) systémy a jednovrstevné systémy. V případě primer/cover systémů obsahuje primer především takové látky, které vytvářejí silnou a trvanlivou vazbu s kovovým povrchem. Vrstva hotového nátěru je blíže kovové vrstvě ve srovnání s vrstvou pryže. Dále se použije cover, který obsahuje především látky vytvářející vazbu blíže vrstvě pryže. Kompletní systém tak

poskytuje jistou gradaci spojení mezi kovem a pryží a má zároveň lepší vlastnosti rozložení tlaku.

Každý spojovací systém má své výhody a nevýhody, kdy např primer/cover systémy jsou sice odolnější vůči extrémním podmínkám, jako je horký olej či působení solí, ale jsou zároveň dražší vzhledem k nutnosti aplikačního vybavení pro oba postupné kroky, tj. zvlášť pro vytvoření primeru a zvlášť pro vytvoření cover vrstvy. Jednovrstvé systémy vyžadují pouze jednu sadu vybavení a jeden aplikační krok a jejich aplikace je tím pádem levnější avšak ne tolik účinná. [30,37,38]

10.1 Post–vulkanizace při pojení

Post–vulkanizační pojení (označováno také jako PV pojení) je speciální proces, při kterém probíhá pojení pryže s kovem. Při procesu PV se aplikuje adhesivum na kov stejně jako při vulkanizačním spojení, avšak pryž je již plně vytvarovaná a částečně zvulkanizovaná. Ne všechna adhesiva jsou na PV pojení vhodná a jejich výběr je omezenější než je vulkanizační spojení. Obvykle je povrch vulkanizované pryže, která se bude pojit, upraven, aby se odstranily veškeré nežádoucí látky, které by spojování mohly narušit (povlak na povrchu, antiadhezivní prostředky), a aby byl povrch před pojením čistý. Mohou být použity chemické i mechanické způsoby. Chemické způsoby zahrnují chlorování povrchu pryže, což vytvoří reaktivní prostředí, kde může pojivo působit. Dále také změni povrchovou energii pryže a pro adhesivum je poté jednodušší smáčet její povrch, čímž se získá dokonalá souvislá vrstva. Běžný mechanický způsob je leštění povrchu pryže abrazivním materiálem, jako je například smirkový papír. Takto upravená pryž se poté spojí s kovem, který je pokryt adhesivní vrstvou, za použití různých forem nebo přípravků. Při stlačení se udržuje deformace 5 – 10 %, která zajistí těsný kontakt obou povrchů, a dodává se potřebné teplo k vytvoření vazby. Lze použít pec, autokláv, nebo indukční ohříváč, přičemž záleží na velikosti a počtu spojovaných systémů. [37]

Post vulkanizace pro pojení má své výhody i nevýhody. Mezi výhody patří to, že nejsou potřeba drahé formy na výrobu komponentu, a že lze části spojit již při nižších teplotách (125 – 180 °C). Mezi nevýhody naopak patří nutnost dalších technologických kroků při tvorbě dílů nebo součástí (zvlášť formování pryžové části a následné upravení jejího povrchu). [30,37]

Využití post–vulkanizačního pojení

Proces post–vulkanizačního pojení nabízí rozšířené možnosti při navrhování dílů. Příklady součástí spojovaných touto metodou jsou následující [37]:

- Silentbloky na automobilech, kdy je pryž připojena k vnitřnímu kovovému válci obvyklým způsobem a to ve formě a k vnějšímu válci technikou PV procesu
- Úchyty motoru v automobilech, kdy pryž spojuje pomocí PV metody kovové pláty

10.2 Výběr spojovacích prostředků - Chemosil na PV pojení

Produkty Chemosil jsou vhodné spojovací prostředky pro PV technologii. Patří mezi ně Chemosil X6025, X6070, 411, 211 atd. Výběr spojovacího prostředku závisí na typu pryže, vlastnostech podkladu pojeného povrchu, jakož i teplotě, tlaku a čase, při kterých se budou části spojovat. Výběr PV spojovacího prostředku Chemosil závisí na několika parametrech budoucího spoje pryž/spojovací prostředek [37,39]:

- Složení pryže – vulkanizovaná butyl pryž, CP, EPDM, CSM, NR, NBR a SBR pryže.
- Spojovací prostředek – Chemosil 211 je podkladová vrstva primeru, Jakožto PV spojovací prostředek spojí železný i neželezný kov a umělou hmotu. Mohou být použity jako jednosložkové systémy na spojení zvulkanizovaných pryží.

Chemosil X6025 se aplikuje pro situace, kdy se části budou spojovat při nízkých teplotách (klesají až k 100 °C) a nízkém tlaku.

Chemosil X6070 se používá s Chemosilem 211 na spojení kovových podkladů. Teplota při pojení se doporučuje nad 130 °C.

U Chemosilu 411 se doporučují teploty nad 120 °C. Jedná se o univerzální jednosložkový systém.

Na nástřik kovu se doporučuje použít Chemosil 211 nebo Chemosil 411 jako podkladový nátěr za tlaku 5–10 % vulkanizačním cyklu, kdy dosáhneme na povrchu lepší adhezních vlastností. [37–39]

10.2.1 Doporučená tloušťka nátěru spojovacího systému

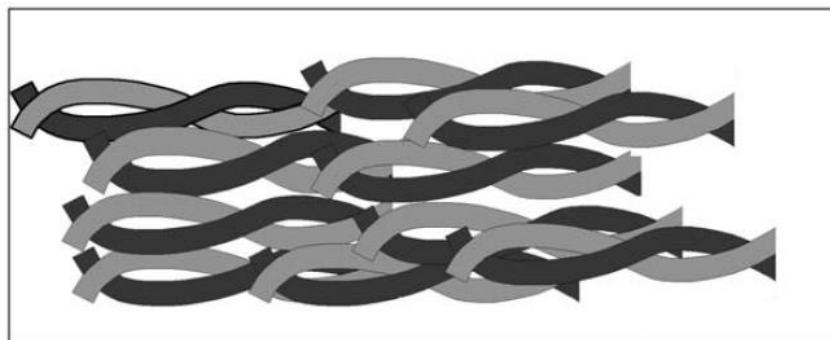
Vzhledem k tomu, že některé povrchy mají nepravidelnou tloušťku svrchní vrstvy, mělo by se dbát na to, aby se nepřesáhly maximální hodnoty pro jejich tloušťku (Tab. 3). Měla by se vybrat správná tloušťka svrchní vrstvy, jelikož vrstvy, které mají méně než 10 μm , mohou způsobit vadu spoje a příliš tlustá vrstva naopak může způsobit separaci jednotlivých vrstev nebo praskání při plnění formy. Nicméně odolnost spojovacího prostředku před samotným spojováním je vyšší v silnějších vrstvách. [37]

Tab. 3: Ukázka doporučených hodnot tloušťky nátěru spojovacích systémů [37]

Chemosil (lepidlo)	Způsoby vulkanizace	Vulkanizační teplota	Doporučená tloušťka filmo- tvorné látky
Primer a 211	-	-	Minimum 5 μm Doporučuje se 8 – 10 μm
222 nebo 220	C,T,I	130 – 180 °C Doporučená Optimální teplota do 170 °C	Doporučuje se 10 – 15 μm
411	C,T,I	130 – 200 °C 180 °C - preferována	Minimum 10 μm Doporučuje se 15 – 20 μm
X6070	C,T,I	130 – 170 °C	Doporučuje se 15 – 20 μm
X6025	C	90 – 170 °C	Doporučuje se 15 – 20 μm
C = lísování, I = vstřikování, T = přetlačování			

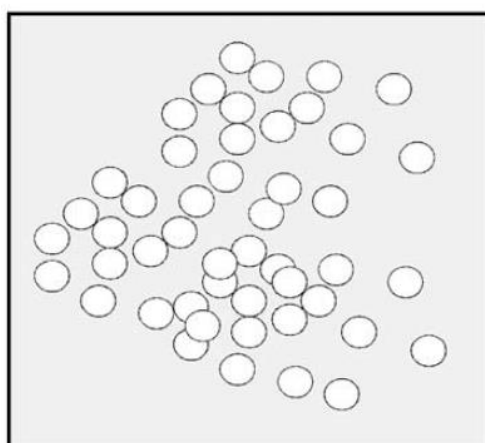
10.3 Vodou ředitelné prostředky

Prostředky pro pojení mohou být jak ve vodě tak také v ředidle rozpustné, kdy oba tyto prostředky jsou založené na speciální příčné vazbě polymerů, která se pojí jak k pryžím, tak k podkladům. U prostředků pro pojení rozpustných v ředidle jsou molekuly zapletené a vytváří tak souvislou elastickou vrstvu, která má dobrou mechanickou pevnost v nevulkanizovaném stavu, což je schematicky zobrazeno na Obr. 26. [30,37]

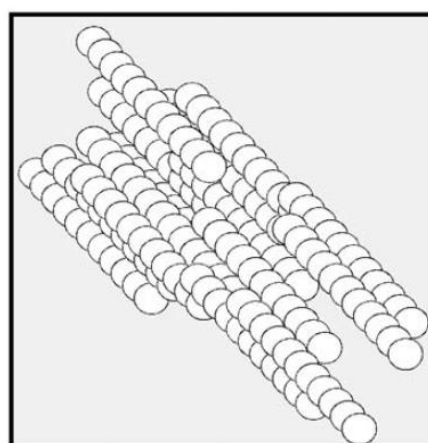


Obr. 26 Proplétání molekul rozpustných v rozpouštědel [30]

Vodou ředitelné prostředky pro pojení se rozptylují ve vodě jako micely (malé částičky). Micely jsou v nevulkanizovaném stavu jednotlivě oddělené a vzájemně k sobě přiléhají. Jakmile se vysuší, shluknou se a vytvoří spojitě těleso v pojící vrstvě, což je schematicky zobrazeno na Obr. 27 a 28. [30,37]



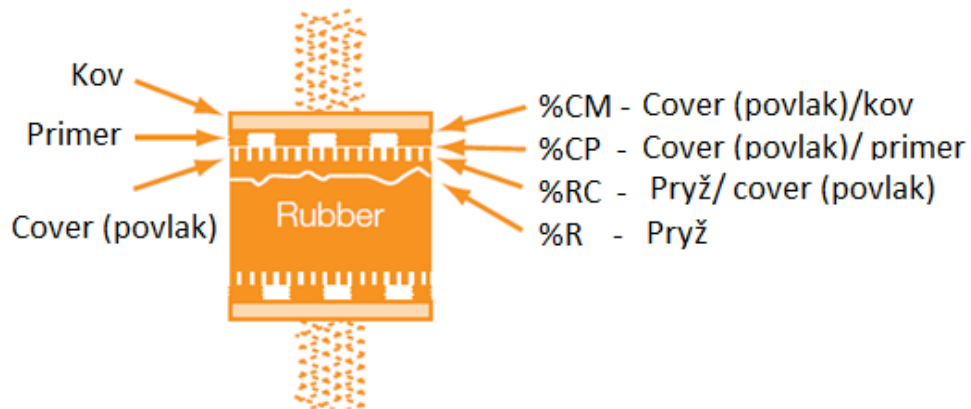
*Obr. 27 Schéma polymerních micel
ve vodní suspenzi před vysušením [30]*



*Obr. 28 Schéma polymerních micel
po vysušení [30]*

10.4 Typy vad při pojení spojovacího systému

Spojování pryže s kovem lze vystihnout jako řetěz, který drží dvě části dohromady. Obecně však platí, že jakýkoliv řetězec je jen tak silný, jako jeho nejslabší článek. Je tedy logické, že pokud tato součástka selže, zhroutí se funkčnost celého systému. Existuje testovací metoda, která specifikuje přilnavost pryže ke kovu (ASTM D429) a poukazuje na typy vad spojů (Obr. 29). [30,37]



Obr. 29 Jednotlivé typy vad spojů [40]

Vada pryže/spojovacího prostředku (zkratka RC z anglického rubber/cement) je známkou toho, že nejslabší bod pojené části je spoj mezi pryží a adhezivem. Tato selhání jsou charakterizovány relativně lesklým a pevně spojeným povrchem, na kterém se nachází pouze část pryže nebo dokonce žádná. Běžné příčiny RC vady jsou špatný výběr pojiva, nedostatečná šířka vrstvy filmu nebo špatně promíchané adhezivum použité pro dosažení lepší homogenizace disperze, což znesnadňuje rovnoměrné rozprostření před aplikací.

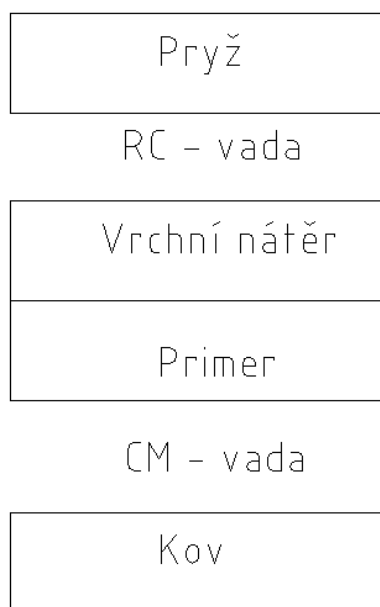
Vada spojovacího prostředku/kovu (zkratka CM z anglického cement/metal) obvykle poukazuje na problém s přípravou kovu nebo aplikací substrátu. U této vady lze pozorovat odhalený kov v pojené části. Častá příčina CM selhání je špatná příprava kovu, tzn. přítomnost znečištění na kovu před aplikací pojiva, nedostatečná vrstva suchého podkladového nátěru nebo špatně promíchané adhezivum.

Vada spojovacího prostředku/nátěrové hmoty (zkratka CP z anglického cement/primer) se vyznačuje tím, že lze pozorovat nátěrovou hmotu na pojeném povrchu. Obvykle má substrát a primer jinou barvu, což umožní snadnější identifikaci. Vada spojovacího prostředku/nátěrové hmoty je obvykle způsobena přítomností znečištění na nátěrové hmotě před aplikací adheziva nebo migrací plastifikátoru z pryže na plochu spojovacího agentu a nátěrové hmoty. [30,37]

V mnoha případech se na jedné součástce může objevit kombinace těchto vad. Například se na jedné poškozené součástce projeví R (samotná pryž z anglického rubber) vada, RC vada i CM vada zároveň. Pro kvalitní spoj je obecně nutné si počínat tak, aby se zvýšil poměr R vady a zároveň aby se snížil počet dalších nežádoucích vad. Vady vzniklé při pojení jsou obvykle udávány v procentech pojených ploch, na kterých se vyskytla určitá vada. Například označení '65R, 15RC, 20CM' u vadné součástky znamená, že na pojené

ploše se na 65 % povrchu vyskytuje vada pryže, na 15 % se vyskytuje vada pryže/spojovacího prostředku a na 20 % se vyskytuje selhání spojovací prostředku/kov. Hlavní specifikací pro kvalitní spoj je destruktivní a nedestruktivní testování soudružnosti podle norem, kdy je požadováno, aby byl povrch kovu pokryt pryží ze 100 %. V případě odstraňování závad při pojení je důležité určit místo vady. To může být mezi podkladovou vrstvou pojiva a kovem nebo mezi pryží a adhezivem. [30,37]

Existuje další možnost, kdy selže spojení mezi primerem a vrchním nátěrem, což je možné z důvodu znečištění nebo dalších důvodů, jako například toho, že primer a vrchní nátěr spolu dostatečně nezreagovaly. Schematický diagram CM a RC selhání je znázorněn na Obr. 30. [30,37]



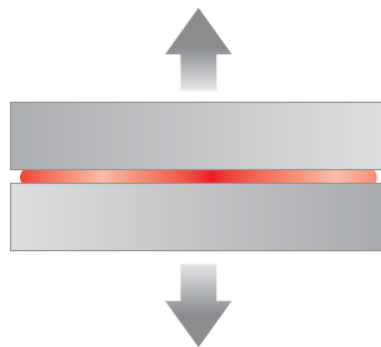
Obr. 30 Ukázka vad typu RC a CM.

11 METODY HODNOCENÍ SOUDRUŽNOSTI PODLE NORMY ASTM 429

Standardně se provádí hodnocení kvality spoje kov–pryž pomocí normy ASTM D429. Základem testování je dodržení již předem stanovených požadavků, aby byly asimilovány v maximální míře nežádoucí hodnoty, vzniklé při nedodržení zkušebního postupu. Celosvětově jsou používány standardní typy testovacích tělísek a podmínek v normě uvedené výše. Pro hodnocení soudružnosti zkušebních tělísek se nejčastěji provádí experimentální zkouška metodami A a B. [37,38]

11.1 Metoda A - pryžová část spojena mezi dvěma kovovými pláty

Používá se pro stanovení hodnot soudružnosti pryže s kovem pomocí tahové zkoušky (Obr. 31). [41]



Obr. 31 Metoda A – zkouška tahem

11.1.1 Laboratorní příprava standardních testovacích vzorků

V laboratoři se připraví standardní zkušební vzorky pro hodnocení adheze následujícím způsobem:

- Nařezou se vyčištěné a povrchově upravené kousky nevulkanizované gumy o předem stanovených rozměrech.
- Sestaví se kovové a pryžové díly pro vulkanizaci ve formě.
- Samotná vulkanizace probíhá ve formě po daný čas a při dané teplotě, která se nastavuje v závislosti na použité kaučukové směsi. Po vulkanizaci se vzorky uchovávají alespoň 16 h před testováním. [41]

11.1.2 Testování zkušebních vzorků

Standardní zkušební vzorek se upevní do testovacího zařízení, přičemž je nutno dbát na vystředění a nastavení vzorku tak, aby se napětí rozložilo rovnoměrně. Poté je aplikováno stabilní tahové zatížení při specifikované rychlosti stroje, dokud se pryž neoddělí od povrchu kovu nebo nepraskne.

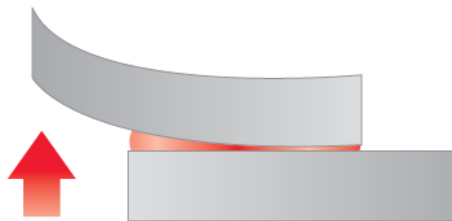
V případě prasknutí pryže se pevnost spoje již neměří, jelikož pevnost spoje je větší než pevnost samotné pryže. Následně jsou zaznamenány jednotlivé typy selhaní, které se, jak již bylo výše uvedeno, vyjádří procentuálně. Samotná hodnota adheze je vyjádřena v Pascalech [$\text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$] a hodnota adheze (R_A) je vypočítána dle vzorce:

$$R_A = F_A/A_A \quad (1)$$

, kde F_A je maximální síla při přetržení tělíska a A_A je plocha zkušebního tělíska. [28,41]

11.2 METODA B – 90° - odlupovací zkouška – pryžová část připevněna na jednu kovovou desku

Tento test je určen pro stanovení adhezní pevnosti pojiv používaných při lepení pryže na kov. Výsledky jsou získány měřením síly potřebné pro oddělení pryžové části od kovového povrchu. Získaná data ukazují sílu adheze podél čáry napříč šířkou pryžového pásu při oddělení od kovové desky v úhlu 90° (Obr. 32).



Obr. 32 Metoda B – zkouška odlupování

Účelem této zkoušky je poskytnout důležité údaje pro kontrolu kvality pryžových směsí a metod spojení, a také slouží jako test pro hodnocení jednotlivých spojovacích prostředků. [35,37]

11.2.1 Příprava standardních zkušebních vzorků

- Z nevulkanizované gumy se nařezou destičky o daných rozměrech podle velikosti formy tak, aby bylo v průběhu vulkanizace dosaženo maximálního tlaku pryže proti kovovému povrchu.
- Sestavené kovové části a gumové díly se vloží do zahřáté formy na vulkanizační teplotu, kde dochází k vulkanizaci za předem stanoveného času a tlaku.
- Závěrem se tyto vzorky pečlivě oddělí z formy tak, aby se zabránilo poškození vzorků před jejich vychlazením.
- V rámci testování vzorku jsou od sebe vzorky částečně odděleny. [28,41]

11.2.2 Testování zkušebních vzorků

Zkušební vzorek je umístěn symetricky k čelisti, která je připojena k pevné rukojeti s oddělovací hranou. Před aplikací zatížení se pryžový pásek z kovové destičky ze vzdálenosti cca 2 mm ohne a pomocí ostrého nože oddělí od kovové destičky, kde polovina pryže je spojena s kovem a polovina pryže je volná bez spoje. Tahové zatížení při konstantní rychlosti odlupování generované trhacím strojem probíhá pod úhlem 90° vůči spojenému celku. Výsledkem této zkoušky je maximální síla odlupování a vyhodnocení jednotlivých typů selhání spoje.

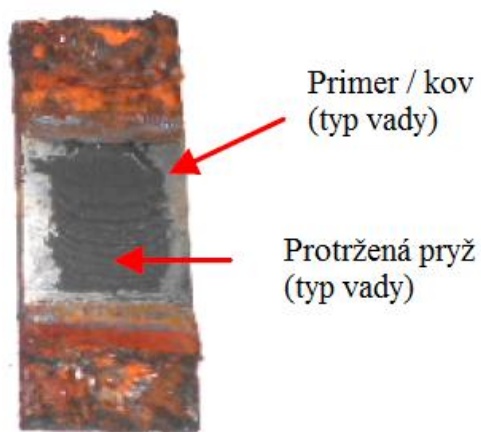
Pro hodnocení velikosti adheze pryže ke kovu se používá odlupovací zkouška, při které se soudržnost pryže s kovem (R_B) vypočítá dle vzorce:

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

kde F_b [N] je maximální síla při odlupování stanovená podle normy ČSN 62 1461 a b [mm] je šířka zkušebního tělíska. [28,41]

11.2.3 Hodnocení jednotlivých typů selhání

Na následujícím příkladu je zobrazen postup vyhodnocení různých typů selhání spoje (Obr. 33). R-50, RC50 indikuje zhruba poloviční (50%) rozsah poškození pryže. Dalších 50 % vykazalo poškození pryžové vrstvy na povlaku. Obdobně by tedy například pro R-25, RC-25, CM-50 znamenalo, že se vyskytly tři typy selhání, přičemž CM označuje 50% selhání vrstvy kov-penetrační nátěr. [37]



Obr. 33 Ukázka jednotlivých typů selhání

12 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část pojednávala o problematice kvality spoje mezi pryží a vytvrzenou epoxidovou pryskyřicí (prášková barva nalakovaná na kov). Byly vypracovány kapitoly zabývající se složením, přípravou a vlivem jednotlivých složek gumárenských směsí a jejich vulkanizačními podmínkami. Následující část se zabírala úpravou povrchu kovu před samostatným pojením, na což navazovala kapitola o epoxidové pryskyřici, jejíž využití je především při procesu elektrostatického lakování na kov, díky čemuž je dosaženo dobrých jak mechanických tak i adhezních vlastností spoje. V dalším okruhu byla pozornost věnována charakteristice vlastností lepení a jednotlivých spojovacích prostředků, kde byly popsány jak jednotlivé typy selhání vad, tak i správný postup potřebný pro vytvoření spoje. Poslední část se zaměřovala na hodnocení kvality spoje a to pomocí destruktivní zkoušky podle normy ASTM D429 umožňující pomocí zkušebních tělísek o různém složení zjistit pevnost a pružnost spoje a jednotlivé typy selhání vad na kovové destičce.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

13 CÍL EXPERIMENTŮ

V první části experimentální práce budou u 4 vzorků v podobě pásků o různém složení v nevulkanizovaném stavu vyhodnoceny základní vlastnosti jednotlivých vulkanizačních křivek.

Hlavním cílem experimentálního měření je vyhodnotit zkušební těliska o různém složení pomocí mechanické zkoušky prováděné metodou odlupování podle normy ASTM D429-B, kdy budou vyhodnoceny jednotlivé části vad na kovové destičce, které ovlivňují kvalitu spoje mezi pryží a vytvrzenou epoxidovou pryskyřicí (prášková barva nalakovaná na kov).

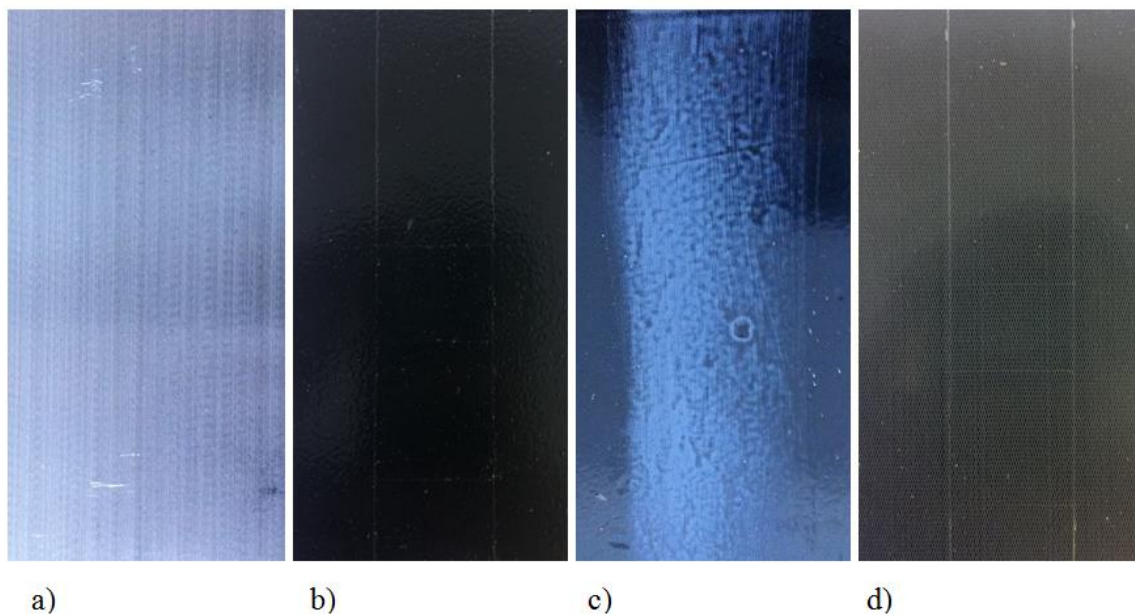
Pro vyhodnocení jednotlivých typů selhání vad na kovové destičce bude použito vizuální hodnocení, s jehož pomocí budou odhadnuty a zaznamenány procenta různých typů poruch. Získaná data poté budou statisticky porovnána s ostatními zkušebními tělísky o různém složení pojené na nelakovaných a lakovaných destičkách s různou drsností povrchů, čímž by se měla získat rozdílná napětí související s kvalitou vytvořené vazby při pojení.

Poslední část bude věnována hysterezní zkoušce, jejímž cílem je změřit adhezní sílu v závislosti na změně dráhy posuvu a síly. Rovněž bude vyhodnoceno chování spoje při tahovém cyklickém zatížení pryžových pásků pojených mezi kovovými destičkami v nedestruktivním stavu.

14 ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PRO NAVULKANIZACI

Pro experimentální studii byly použity 4 druhy nezvulkanizovaných kaučukových směsí ve formě pásků a částečně zvulkanizované pryžové plotničky o rozměrech cca 16x14x2 mm pro dovulkanizování metodou post-vulkanizace (krátké dosítování). Vybrané pryžové plotničky byly nastříkané dvousložkovým systémem primer a cover. Dále bylo v rámci praktické části k dispozici 48 kovových destiček s různými povrchovými úpravami, z nichž část nebyla lakována (holá), ale zdrsňena brokováním oboustranně. Druhá část o 28 destičkách byla nalakována práškovou barvou na bázi epoxidové pryskyřice, kde jedna skupina, jež obsahovala 9 lakovaných kovových destiček, byla zdrsňena laserem (finální úprava před vulkanizací) oboustranně a druhá o 19 kovových destiček zůstala s neupraveným povrchem, který byl následovně zdrsňen smirkovými papírem.

Na následujícím Obr. 34 jsou uvedeny lakované a nelakované destičky s různými druhy opracovaných ploch a v Tab. 4 a 5 je uvedeno chemické složení a mechanické vlastnosti používané oceli pro pojení.



Obr. 34 Opracované kovové destičky s různým opracováním ploch: a) nelakovaná destička, b) lakovaná destička bez zdrsňení, c) lakovaná destička zdrsňená smirkovým papírem, d) lakovaná destička zdrsňená laserem.

Kovové destičky jsou z nelegované ušlechtilé oceli s minimálním obsahem oleje, který zabraňuje dočasné oxidaci vůči vnějším vlivům. [42]

Tab. 4: Chemické složení kovové destičky [42]

C	Si	Mn	P max	S max	Cu max	Cr max	Ni max	Mo max
0,34 – 0,40	0,15 – 0,35	1,40 – 1,65	0,025	0,025	0,20	0,40	0,30	0,10

Tab. 5: mechanické vlastnosti kovových destiček poskytnuté výrobcem [42]

Název oceli	struktura	Povrchová úprava	Pevnost v tahu Rm [N/mm ²]
38Mn6	martenzit	cementace	1300 - 1400

14.1 Materiálové složení jednotlivých prostředků a zkušebních tělísek

14.1.1 Složení jednotlivých typů pryžových plotniček

Jako vstupní materiály byly pro účely diplomové práce dodány následující 4 druhy směsí a to vždy ve formě nezvulkanizované gumárenské směsi ve formě pásku a částečně zvulkanizovaných PV (post-vulkanizace) pryžových těles ve formě plotniček připravených pro navulkanizaci. Přesné složení zvulkanizovaných pryžových plotniček není známo, neboť se jedná o chráněnou recepturu. Pouze informativní složení směsí je uvedeno v Tab. 6.

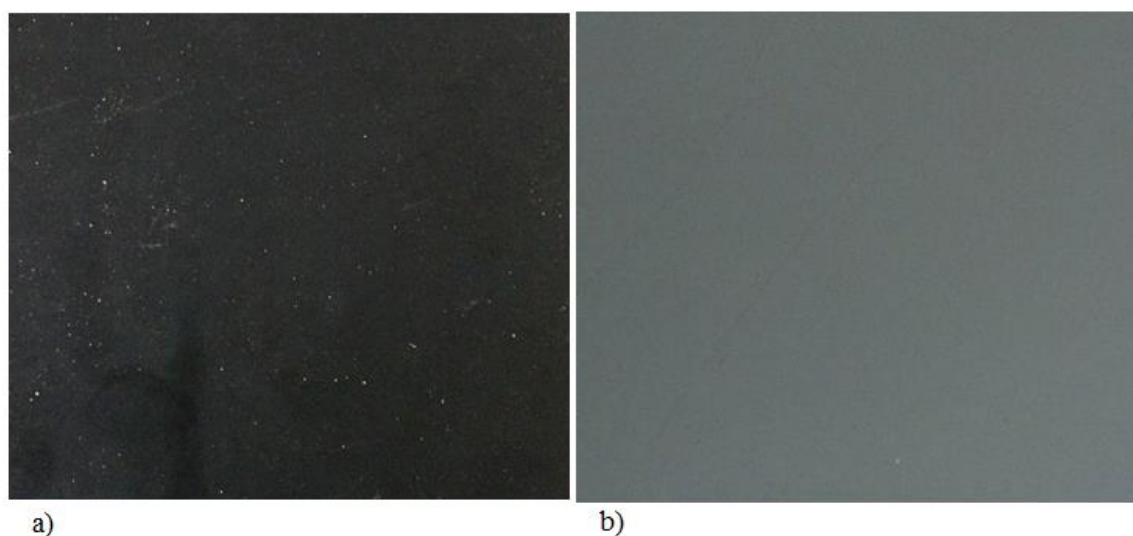
U pryžových plotniček s označením 51A50242 – 1791B a 51A50242 (2) -1739A jsou tyto čísla odlišné podle šarže, protože byl použit např. stejný silikát, ale od jiného výrobce nebo jedna směs byla smíchána a vulkanizována dřív než ta druhá (rozdílná úložná doba).

Tab. 6: Obecné materiálové složení pryžových plotniček poskytnuté jejich dodavatelem.

Označení pryže	51A55102B – 102B	51A50242 – 1791B	51A50242(2) - 1739A	51M55CK1 – CK1
NR	39 %	41 %	41 %	EPDM Vulkanizované sírou
SBR	17 %	27 %	27 %	
Saze	28 %	23 %	23 %	

14.1.2 Spojovací prostředky pro pojení

Na nástřik pryžových plotniček byl použit univerzální dvousložkový systém na bázi organických rozpouštědel (Obr. 35). Ve vrchním nátěru je obsažena první složka cover, v níž je namíchán Chemosil 411 se SILENTEM (xylen). Naproti tomu je podkladový nátěr tvořen druhou složkou, tj. primer, který byl získán kombinací Chemosilu 211 a MEK (methyl-ethyl- keton). Tyto spojovací prostředky jsou vyráběny společností Lord Corporation.



Obr. 35 Zvulkanizované pryžové plotničky: a) pryžová plotnička bez nástřiku, b) pryžová plotnička s nástřikem

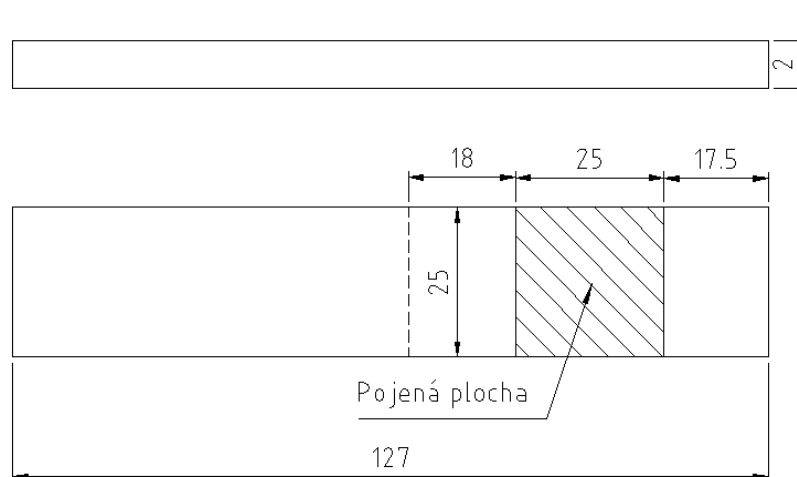
V Tab. 7 jsou obsaženy základní informace k jednotlivým spojovacím prostředkům převzaté od společnosti Lord Corporation.

Tab. 7: Složení dvojsložkového systému na bázi organických rozpouštědel. [39]

Označení produktu	Spojovací prostředky při pojení	Složení	Vlastnosti	Ředění před aplikací nátěru
Chemosil 211	Primer	Polymer a plnidla dispergované v xylenu	Dobrá pojící vlastnost s kovem, odolnost proti rzi a vodě	30 – 50% MEK
Chemosil 411	Cover	Polymer a plnidla dispergované v xylenu	Vysoká korozivzdornost a odolnost proti dynamickému odporu	40 – 60% Xylen

14.2 Pojení pryže s kovem na ručním vulkanizačním lisu

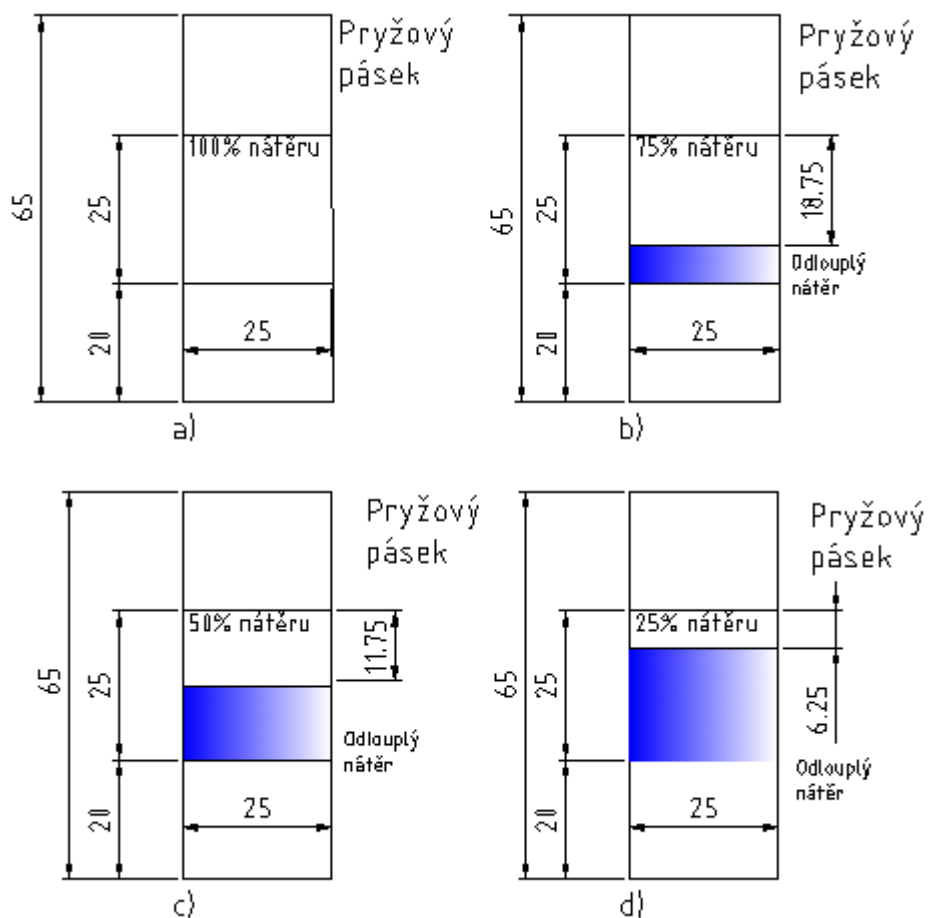
Před samotným pojením pryže s kovem na ručním lisu byly připraveny pryžové plotničky o rozměrech uváděných dle americké normy ASTM D429 - B (Obr. 36). Ty byly pojeny na kov pomocí ručního vulkanizačního lisu.



Obr. 36 Návrh zkušebního tělíska dle ASTM D429 – B [41]

Z nastříhaných pryžových pásků se z jednoho a druhého konce odstraní lak s pomocí skalpelu a takto upravené pásy se následně omotají alobalem na místech, na kterých bylo nežádoucí vytvoření spoje kov-pryž. Pouze prostřední část pryžové plotničky tedy byla pojena na kov. Před samostatnou vulkanizací bylo nutné dbát na to, aby byl vždy povrch kovové destičky čistý, bez prachu a vlhkosti.

Pro měření hysterezních zkoušek byla použita pryžová plotnička 51A55102B – 102B s oboustranným dvojsložkovým nástřikem primer a cover. Z této pryžové plotničky byly nastříhány 4 pryžové pásy o rozměrech 65x25x2 mm a pojená plocha byla 25x25 mm. Následně byly z horní plochy pryžových pásků odstraněny nátěry pomocí skalpelu a to tak, že jednotlivé 4 vzorky měly na horním povrchu nátěr v zastoupení 25 %, 50 %, 75 % a 100 % a spodní povrch u všech vzorků měl 100% nátěr (Obr. 37). Poté se připravené pryžové pásy pojily na osmi lakovaných kovových destičkách. Na závěr byla provedena navulkanizace pryžových pásků mezi lakovanými kovovými destičkami na bázi epoxidových pryskyřic.



Obr. 37 Procentuální zastoupení nátěru pro
 pryžové pásky a) 100% nátěr, b) 75%
 nátěr, c) 50% nátěr, d) 25% nátěr

Na ručním vulkanizačním lisu (Obr. 38) byly nastaveny parametry potřebné pro samotné pojení, tj. teplota 160 °C, čas 3 min pro odlupování a pro hysterezní testování byl nastaven čas 2:30 min. Po dosažení stanovené teploty se vyjmuly přehřáté lisovací desky a do spodní části lisovacích desek se vložil pryžový pásek na kovovou destičku a po překrytí vrchní lisovací deskou byla tato sestava umístěna do vulkanizačního lisu na předepsanou dobu.



Obr. 38 Ruční lis

Po procesu post–vulkanizace se zkušební tělíska vložila do druhého ručního lisu, který byl chlazený vzduchem. Před samotným testováním pevnosti vytvořeného spoje kov-pryž bylo nutné dle ASTM D246 – B ponechat zkušební tělíska po dobu 16 h před testováním uležet.

15 ZKOUŠKY PRYŽE A JEJICH CHARAKTERIZACE

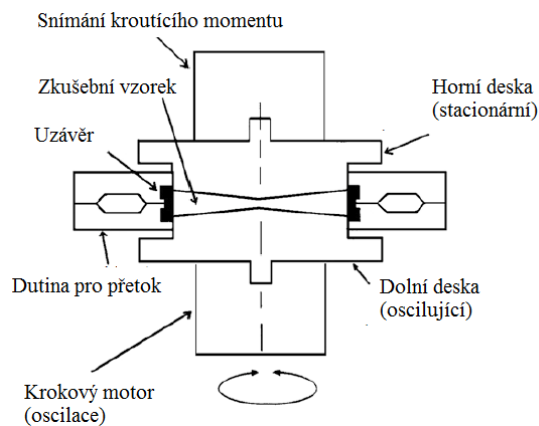
Při charakterizaci vlastností zkušebních vzorků se provedly následující postupy:

- U nezvulkanizované směsi se měřily průběhy vulkanizačních charakteristik na přístroji RPA 2000.
- U zvulkanizované směsi pojené na kov se měřila síla adheze na trhacím zařízení Testometric M350 a to metodou odlupování. Následně se provedlo vizuální hodnocení kvality spojů.
- U definované zvulkanizované směsi se provedla hysterezní zkouška na přístroji Tiratest 28100, jejímž cílem bylo porovnat rozdíly adhezní síly jednotlivých pryžových pásků v různém zastoupení nátěru, a to 25 %, 50 %, 75 % a 100 %, pojených mezi lakovanými kovovými destičkami. Z těchto získaných údajů bylo navrženo maximální adhezní napětí spoje, při kterém nedochází k protržení vazeb, tj. nedestruktivním způsobem.

15.1 Stanovení vulkanizační křivky

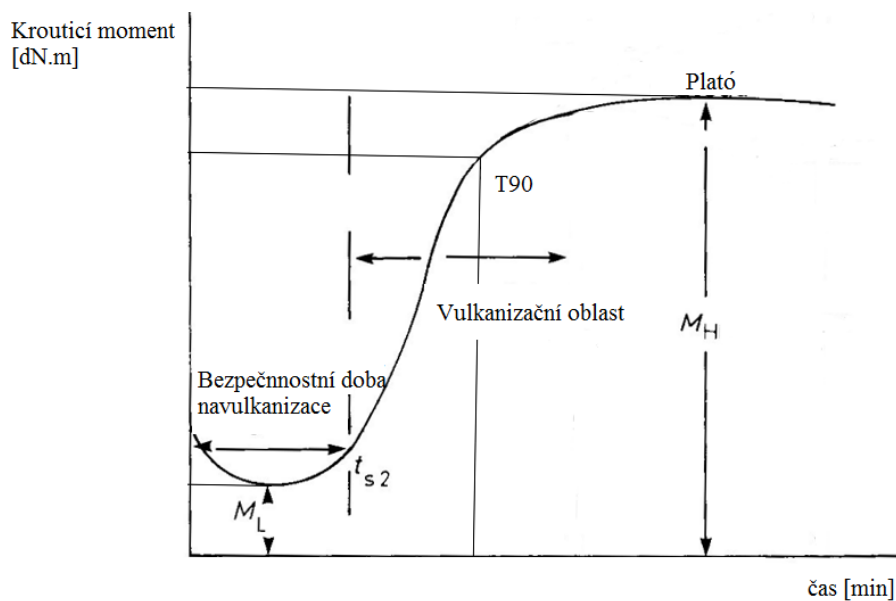
Pro stanovení základní vulkanizační charakteristiky pro 4 druhy nezvulkanizované kaučkové směsi byl použit přístroj Rubber Process Analyzer (RPA 2000), který je univerzálním přístrojem pro stanovení vulkanizačních charakteristik, dynamických a reologických vlastností kaučkových směsí ve zvulkanizovaném a nezvulkanizovaném stavu a to vše s možností nastavení teploty, frekvence, oscilace a časového úseku trvání zkoušky. Na tomto přístroji lze zkoušet vlastnosti v širokém rozsahu smykových vlastností. [42,43]

Přístroj je tvořen dvěma bikonickými deskami (Obr. 39), kdy spodní deska je poháněna krokovým motorem, kterým je vyvozena oscilace působící na zkušební vzorek pod určitou frekvencí oscilace a dochází tedy k deformaci ve smyku. Na horní desce je umístěn snímač, který indikuje krouticí moment, který je úměrný síle, která je vzorkem přenášena. Frekvence oscilace u přístroji RPA 2000 jsou standardně přednastavené na hodnotu 1,67 Hz. [43,44]



Obr. 39 Schéma měřícího reometru RPA 2000 [17]

Výsledná vulkanizační křivka je znázorněna graficky jako schéma závislosti kroučícího momentu na čase pro danou teplotu vulkanizace (Obr. 40). [43,44]



Obr. 40 Schéma vulkanizační křivky [17]

Parametry získané z vulkanizační křivky jsou poté následující:

S' Složka elastického kroučícího momentu [dN.m]

M_L Nejmenší kroučící moment [dN.m]

M_H Nejvyšší kroučící moment [dN.m]

t_{s2} Bezpečná doba vulkanizace [min]

T90 Optimum vulkanizace, tj. doba odpovídající dosažení 90% změny kroučícího momentu mezi minimální a maximální hodnotou. [min]

15.1.1 Stanovení vulkanizačních charakteristik pomocí RPA 2000

Určení vulkanizačních charakteristik pryží z nezvulkanizovaných směsí se provádělo na univerzálním přístroji RPA 2000. Před samotným měřením na zařízení RPA 2000 se vždy z testované gumárenské směsi vysekal testovací kolečko pomocí vysekávacího přístroje CUTTER 2000R.

Měření vulkanizační charakteristiky bylo prováděno při teplotě 160 C s frekvencí oscilace 1,67 Hz pod úhlem kmitání 6,97 % po dobu 14 minut. Zde je nutné podotknout, že dva vzorky, a to 51A50242(2) – 1739A a 51A50242 -1791B, měly stejné složení, lišily se pouze šarží uvedenou výrobcem.

15.2 Zkouška odlupováním

Univerzální trhací přístroj Testometric M350 (Obr. 41) řízený počítačem byl použit pro měření adhezní síly při odlupování zkušební vzorku. Cílem měření je vyhodnotit závislost síly na pevnosti (adhezi) při oddělování pojeného pryžového materiálu od kovové desčky.



Obr 41 Testometric M350 [45]

Tabulka 8 uvádí základní parametry přístroje Testometric M350.

Tab. 8: Technické parametry trhacího zařízení. [45]

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

15.2.1 Postup měření odlupování pod úhlem 90°

Zkušební vzorek byl před samotným měřením upnut k horizontální posuvné desce přístroje pomocí šroubového spoje. Horní část pryžového pásku byla upnuta vertikálně pod úhlem 90° k posuvné desce do upínacích čelistí (Obr. 42). Poté byly zadány veškeré potřebné parametry (rychlost posuvu, rozměry zkušebního tělesa apod.) do software daného testovacího zařízení. Po zapnutí přístroje se nejdříve pohybovala horní část upínací hlavy směrem vertikálním konstantní rychlostí 50 mm/min a tímto se současně začala posouvat horizontální deska s měřeným upnutým vzorkem taktéž konstantní rychlostí vodorovně. Síla adheze byla měřena až do konečného oddělení spojeného vzorku. Ze zaznamenaného průběhu zkoušky byla posléze vyhodnocena síla adheze při separaci pryžového pásku z kovové destičky. Následně byly také vyhodnoceny jednotlivé vady na povrchu kovové destičky a pryžového pásku vizuální metodou.



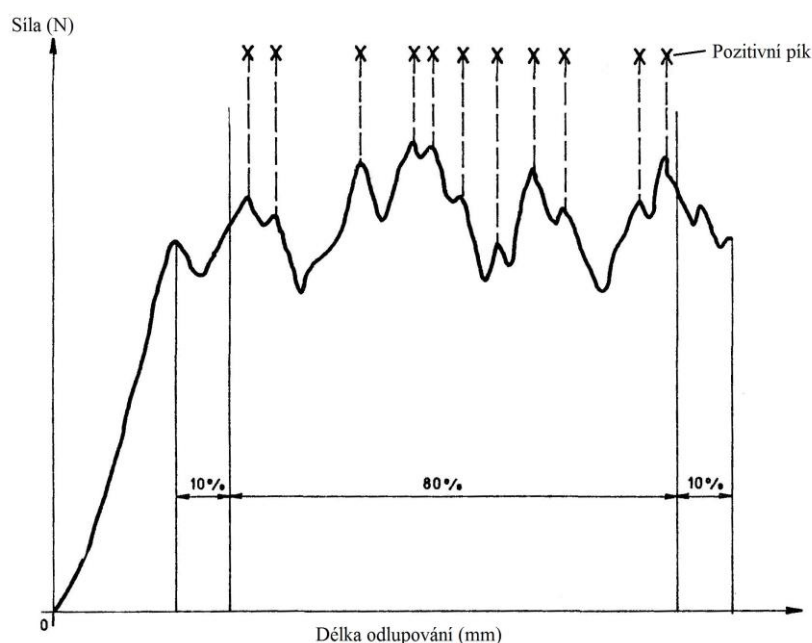
Obr. 42 Upnutí zkušebního vzorku do upínací čelisti

Získaná data z jednotlivých měření byla statisticky vyhodnocena a graficky zpracována příslušným programem. Jednotlivé dílčí výsledky adhezních sil byly porovnány pro 4 dru-

hy pryžových vulkanizátů pojených s kovovými lakovanými a nelakovanými destičkami, jež prošly různými povrchovými úpravami.

15.2.2 Metoda vyhodnocení soudržnosti adheze

Pro vyhodnocení jednotlivých píků při oddělování pryže s kovem bylo vycházeno z normy ČSN 62 1461. Síla při přetržení (F_b) se určuje z grafického průběhu závislosti aplikované síly na délce odlupování (Obr. 43). Pro určení průměrné maximální síly (přepočtená šířka b v mm zkušební vzorku) při odlupování se sčítají jednotlivé pozitivní píky, které se následně zprůměrují a vyhodnotí. Takto získané hodnoty lze poté využít ke stanovení soudržnosti pryže s kovem. [46]



Obr. 43 Ukázka vyhodnocení jednotlivých píků

Vzhledem k vyskytujícím se výkyvům, se pro výpočet píků bere pouze střední oblast v rozmezí 30 – 90 % z odlupovací délky zkušební vzorku.

$$R_B = F_b/b \text{ [N/mm]} \quad (3)$$

, kde F_b [N] je maximální síla při odlupování stanovená podle normy ČSN 62 1461 a b [mm] je šířka zkušební tělíska.

Výsledek je aritmetický průměr hodnot soudržnosti všech mediánů zkušebních těles pro daný typ pryže a povrchové úpravy kovových destiček. [46]

15.3 Hysterezní zkouška

Měření hysterezní zkoušky, bylo prováděno na univerzálním zkušebním přístroji Tiratest 28100 s maximálním zatížením 10 kN, který byl řízen počítačem (Obr. 44).



Obr 44 Univerzální zkušební zařízení [47]

Tabulka 9 uvádí základní technické parametry univerzálního zkušebního přístroje Tiratest 28100.

Tab. 9: Technické parametry trhacího zařízení Tiratest 28100. [47]

Pracovní zatížení	10 kN
Rychlost posuvu	0.001 – 500 mm/min
Dráha příčnicku	970 mm

15.3.1 Postup měření zkoušky

Zkušební vzorky byly upnuty na horní a dolní části upínacího přípravku, jenž byl připevněný utahovacími šrouby (Obr. 45). První část přípravku byla statická (nepohyblivá) a druhá část se posouvala cyklicky konstantní rychlostí 50 mm/min (zatížení a odlehčení).



Obr. 45 Upnutí vzorku na speciálním přípravku

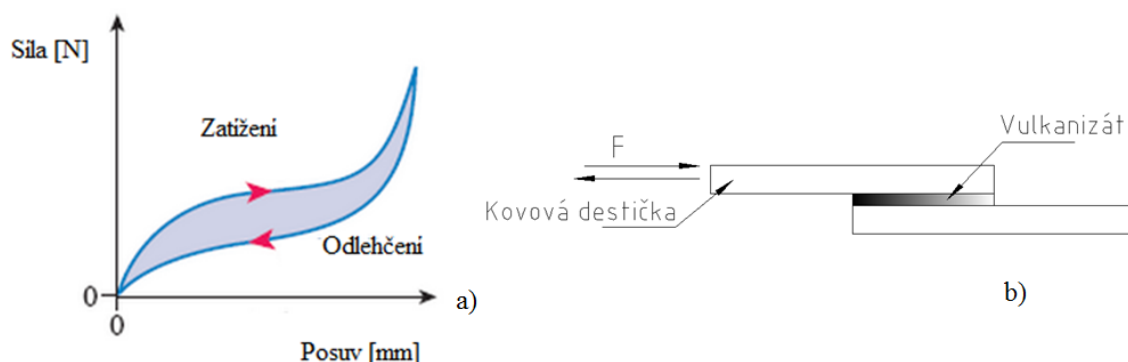
Před vlastním měřením se nastavily následující parametry. Prvním parametrem byla rychlost zatěžování a odlehčení 50 mm/min, druhým parametrem byla časová prodleva v intervalu 10 s a jako třetí parametr se nastavil počet cyklů n , jehož hodnota byla zvolena standardně na 5. Posledními zvolenými parametry byly síla a posuv. Jejich hodnoty byly voleny v různých kombinacích v závislosti na procentuálním zastoupení nátěru z horní plochy tj. 25 %, 50 %, 75 %, 100 % a spodní plocha měla 100 % nátěru pro 4 pryžové pásky s označením 102B na povrchu lakovaných kovových destiček. Po zadání uvedených parametrů proběhla zkouška zkušebních vzorků vždy po 5 cyklech s postupným zatížením a odlehčení v závislosti na změně dráhy posuvu v intervalu až do jeho přetržení.

Zkušební vzorky byly po celou dobu průběhu zkoušky namáhány tahovou silou při zatížení a odlehčení. Naměřená data získaná v průběhu měření se ukládala do počítače. Výsledky

hodnot hysterezních smyček adhezních napětí pro jednotlivé zkušební vzorky závislé na změně dráhy posuvu, podle náteru na pryžovém pásku a tahové zkoušce pro zkušební vzorky, jsou vyobrazeny na grafu dle příslušného programu. Výsledné hodnoty byly posléze zpracovány statisticky a matematicky.

15.3.2 Návrh hysterezní zkoušky pro stanovení průběhu adhezních sil při tahovém zatížení

Principem testování hysterezní zkoušky pro pryžové pásky pojené mezi lakované (na bázi epoxidových pryskyřic) kovové destičky, spočívá ve sledování změn adhezních sil dvojsložkového systému primer a cover při zatěžování a odlehčení tahovým zatížením pod vlivem určité síly a to v závislosti na určitém úseku posuvu nedestruktivním způsobem. Největší vliv na změnu hysterezní plochy adhezních sil měla dráha posuvu, lze tedy konstatovat, že při zvýšení vzdáleností v určitých krocích dochází k zúžení hysterezní plochy (Obr. 46).



Obr. 46 a) Typická hysterezní křivka, b) Pryžový pásek mezi kovovými destičkami zatížený cyklicky tahovou silou.

15.3.3 Stanovení napětí při zatěžování a odlehčování síly a plochy hysterezní smyčky

Na Obr. 47 je zobrazen graf mající na ose y sílu a osa x posuv. Tyto proměnné veličiny jsou důležité z toho důvodu, jelikož slouží pro vyhodnocení práce při zatížení a odlehčení soudržnosti spoje pryž - kov z křivek při zatěžování a odlehčování. Princip výpočtu adhezního napětí z obou křivek bude proveden pomocí polynomické funkce třetího řádu tj. proložením regresní křivky $y = f(x)$ třetího stupně tak, aby součet nejmenších čtverců, tedy body od této křivky měly co nejmenší odchylku.

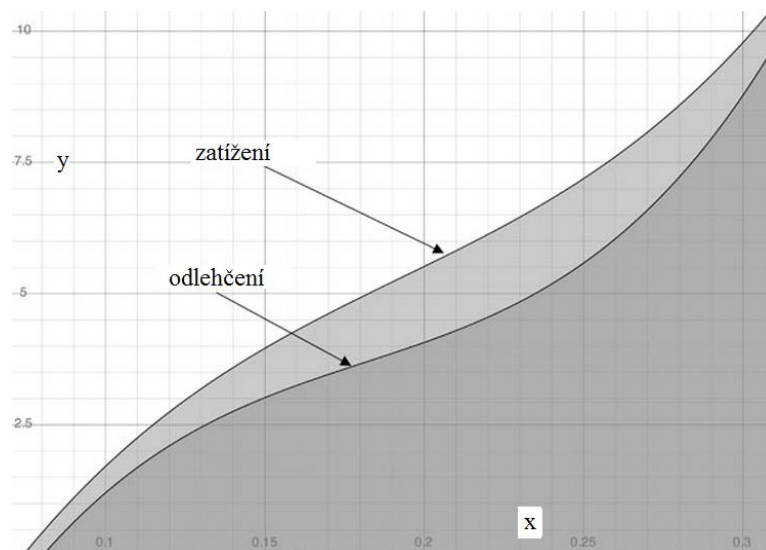
$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 \quad (4)$$

Kde c_0, c_1, c_2, c_3 jsou konstanty a x, x^2, x^3 vyjadřují proměnnou veličinu.

Poté se bude získaná regresní funkce třetího stupně pro zatěžování a odlehčení integrovat a výsledné hodnoty adhezního napětí obou křivek (zatěžování a odlehčení) budou použity ke stanovení hysterezní smyčky (disipovaná energie) a absorbované síly. [48,49]

$$\int_a^b y(dx) = \int_a^b (c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3) dx \quad (5)$$

, kde $\langle a;b \rangle$ jsou integrační meze (vzdálenosti posuvu při zatížení a odlehčení).



Obr. 47 Ukázka grafu reprezentující hysterezní křivky pro zatížení a odlehčení [48]

16 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE

Pro účely praktické části diplomové práce byly použity jak nezvulkanizované plátky 4 gumárenských směsí pro určení jejich vulkanizačních charakteristik tak také již zvulkanizované plotničky na 90 % pro samotné vyhodnocování pevnosti spoje kov-pryž a následné další zpracování.

U zvulkanizovaných směsí o různém složení ve formě pryžových plotniček s nastříkaným dvousložkovým systémem cover a primer se z pryžových plotniček nastříhalo celkem 68 kusů pryžových pásků, které byly následně podle normy ASTM D429 – B navulkanizovány na kov s různou drsností povrchů za využití ručního lisu. Poté se provedla odlupovací zkouška na přístroji Testometric M350, z níž se stanovila síla adheze pro každou variantu kov-pryž, kdy následně byla vizuálně také posuzována kvalita spojů vytvořených na lakových a nelakovaných kovových destičkách s odlišnou povrchovou drsností.

Na základě hodnot získaných při odlupovací zkoušce a vizuální kontrole kvality spoje byl vybrán vzorek 51A55102B – 102B, který vykazovala stabilní soudružnost s pojenými kovovými destičkami, pro měření hysterezní zkoušky. Měřila se adhezní síla pryžových pásků v různých zastoupeních nátěru v závislosti na změně dráhy posuvu s postupným tahovým zatížením, kde se následně vyhodnocovaly tvary hysterezních smyček.

Smyslem této práce je za podobných podmínek vyhodnotit vliv adhezní síly a kvality spoje s různými typy kaučukových směsí nastříkaných povrchovou vrstvou na bázi organických rozpouštědel a pojených pomocí post-vulkanizace na kovové destičky s různým opracováním a zdrsňením.

16.1 Výsledky průběhu vulkanizační charakteristiky

Následující tabulka uvádí hodnoty vulkanizačních charakteristik, které byly získány na přístroji RPA 2000.

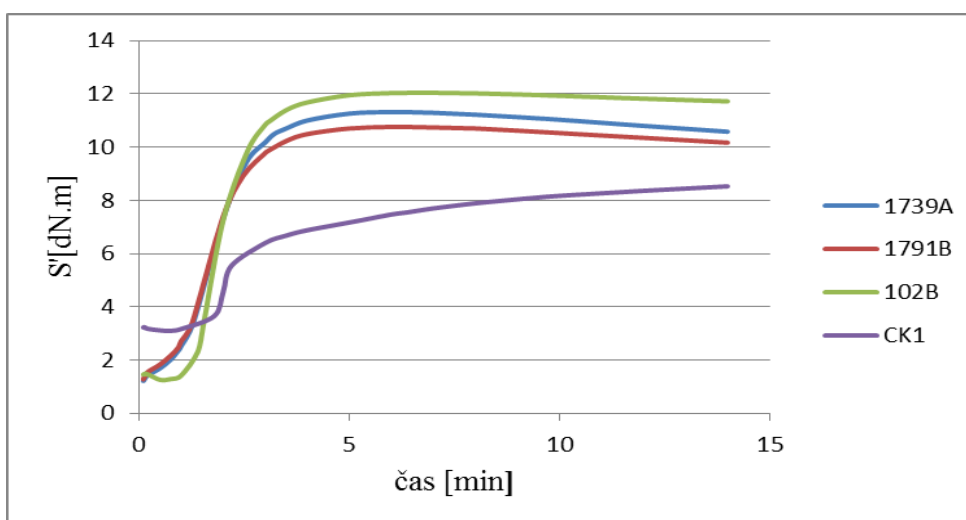
Směsi s označením 1739A, 1791B a 102B dosahovaly srovnatelných hodnot M_H (největší krouticí moment). U poslední zkoumané směsi, CK1 (EPDM), byla hodnota M_H nižší, což mohlo být způsobeno špatným dávkováním síry, který může ovlivnit tvorbu pevných spojů, a celkově jiným kaučukovým základem směsi.

Doby vulkanizačního optima byly u směsí 1739A, 1791B a 102B taktéž srovnatelné, což napovídá jejich podobné skladbě. U směsi CK1 byla opět tato hodnota vulkanizačního optima výrazně odlišná, kdy tato směs také zahrnovala delší zpracovatelskou bezpečnost, což zapříčinilo delší vulkanizační cyklus, který by ovlivňoval vytvoření pevného spoje při navulkanizování (Obr. 48).

Tab. 10: Hodnoty průběhu vulkanizační charakteristiky

Číslo směsi	Označení směsi	M_H [dN.m]	M_L [dN.m]	t_{80} [min]	t_{90} [min]	t_{s2} [min]
1	51A50242(2) - 1739A	11,32	1,43	2,55	3,12	1,29
2	51A50242 – 1791B	10,77	1,55	2,48	3,06	1,26
3	51A55102B – 102B	12,05	1,25	2,59	3,1	1,54
4	51M55CK1 – CK1	8,66	3,10	6,38	9,42	2,20

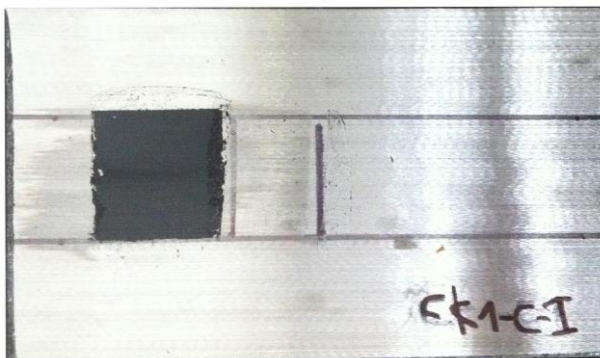
Z Obr. 48 je patrné, že u směsí 1739A, 1791B, 102B po dosažení M_H dochází k mírnému poklesu vulkanizačních křivek, který je způsobený tzv. reverzí. Pokles u těchto křivek byl zapříčiněn vyšším podílem přírodního kaučuku. U poslední směsi CK1 (EPDM) M_H dále vzrůstá a vzniká tzv. krácející modul, což může být způsobeno vysokým dávkováním aktiátoru (oxidy kovů) a také vysokým podílem syntetického kaučuku.



Obr. 48 Vulkanizační křivky pro zkoumané kaučukové směsi

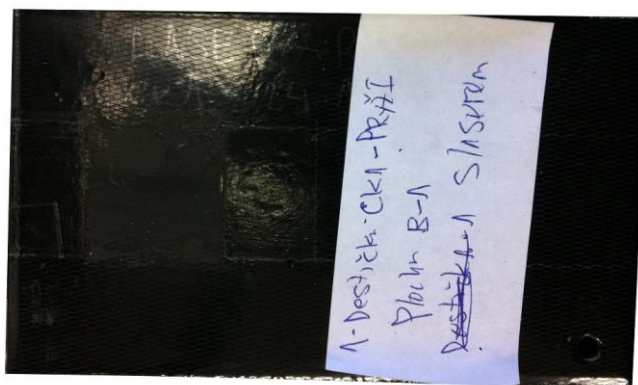
16.2 Zjištěné vady po post–vulkanizaci pryžových pásků na kov

První sada experimentů navulkanizování byla pro 3 pryžové směsi o různém složení provedena na nelakovaných destičkách s povrchovou úpravou brokováním, kde byl vytvořen pevný spoj. Nicméně, u všech 4 testovaných vzorků směsi s označením CK1 nedošlo ke tvorbě spoje po vulkanizaci, protože neproběhlo vytvrzení nátěru tj. mezi primerem a coverem (Obr. 49).



Obr. 49 Ukázka selhání (RC) pryže CK1 s nelakovaným kovem po vulkanizaci

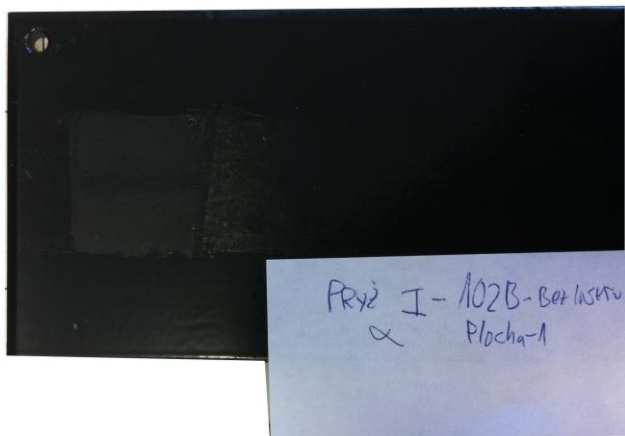
Druhá sada experimentů navulkanizování byla pro 3 pryžové směsi o různém složení na již lakovaných (epoxidová pryskyřice) kovových destičkách. Zde nastaly také určité komplikace při pojení. V první skupině byly lakované destičky s epoxidovou pryskyřicí zdrsňené laserem, kdy zde ještě proběhlo pojení v pořádku. Avšak opět u pryžových vulkanizátů s označením CK1 se po vulkanizaci vytvořily velice slabé nebo nulové spoje (Obr. 50).



Obr. 50 Ukázka selhání (RC) pryže CK1 s lakovaným kovem po vulkanizaci

Ve druhé skupině byly lakované destičky epoxidovou pryskyřicí, ale bez jakýchkoliv dalších povrchových úprav. Po post–vulkanizaci nedošlo ani u jedné ze 4 pryžových směsí o různém složení ke spojení, kdy lze jinými slovy říci, že se vytvořily nulové spoje. Prav-

děpodobně to bylo dáno nezdrsněným lesklým povrchem lakované destičky s epoxidovou práškovou barvou, která nebyla povrchově upravena (Obr. 51).



Obr. 51 Ukázka selhání (CM) pryže 102B s lakovaným kovem po vulkanizaci

V další části experimentů byly tedy vybrané kovové destičky lakované epoxidovou pryskyřicí, které neprošly laserovým zpracováním, zdrsněny pomocí smirkového papíru (Obr. 52). Vzniklé nečistoty byly dále očištěny acetonem. Po provedení navulkanizace došlo ke spojení všech 3 druhů pryžových směsí jako u brokovaných kovových destiček, tj. 102B, 1791B a 1739A. Navzdory nové formě zpracování povrchu opět směs CK1 nevykazovala žádné známky pojení. S velkou pravděpodobností je to způsobeno špatnou skladbou této směsi.



Obr. 52 Ukázka selhání (RC) pryže 102B s lakovaným kovem po vulkanizaci

Z důvodu přesného kvantifikování pevnosti spoje a vznikajících typů selhání spoje kov-pryž byly následně provedeny odlupovací zkoušky.

16.3 Hodnocení soudržnosti pryže s kovem metodou odlupováním

Hodnocení pevnosti spoje zkušebních vzorků se provádělo na testovacím zařízení Testometric M350 metodou odlupování pod úhlem 90°. Výsledky soudružnosti jsou uváděny v následujících tabulkách a zobrazeny v grafech. Všechny zkušební vzorky připraveny podle normy ASTM D429 – B.

Všechny pryžové pásy byly v intervalu od 3. 3. 2014 do 11. 3. 2014 nastříkány nátěrem dvojsložkového systému primer o tloušťce 14 μm a cover o tloušťce 22 μm na bázi rozpouštědel a každá dvojice lakovaných resp. nelakovaných kovových destiček byla na povrchu označena značkami A, B, C, D a E oboustranně (hodnota drsnosti nebyla známa) z důvodu lepší identifikace a postihnutí vlivu drsnosti na konečnou hodnotu pevnosti spoje.

16.3.1 Výsledky nelakovaných destiček pojené na pryžovém pásku

První skupina byla tvořena 13 pryžovými pásky s označením 102B a CK1 s nátěrem dvojsložkového systému cover a primer. Z výše zmíněné skupiny bylo 5 pryžových pásků 102B pojeno post-vulkanizací na přední straně a 5 pryžových pásků 102B na zadní straně kovové destičky. Zbýlých 3 pryžových pásků s označením CK1 se pojilo na přední straně nelakovaných destiček se zdrsňeným povrchem pomocí metody brokování.

Druhá skupina čítající 13 pryžových pásků s označením 1739A a 51A50242 – 1791B s nátěrem dvojsložkového systému coverem a primerem na bázi rozpouštědel 5 pryžových pásků 1791B a 3 pryžové pásy 1739A(1) na přední straně. Po post-vulkanizaci předchozích zkušebních vzorků se obrátila strana kovových destiček a poslední část o 5 pryžových páscích 1739(2) byla pojena na zadní straně brokováním zdrsňených kovových destiček.

Hodnoty soudružnosti pryže, R_a , s nelakovaným kovem zdrsňeným brokováním provedené pro 26 vzorků jsou zobrazeny v těchto Tab. 11 a 13. Pro výpočet F_b , tj. maximální síly při odlupování se vycházelo podle normy ČSN 62 1461. Stejný postup vyhodnocení F_b byl následně proveden také u všech zkušebních vzorků pojených na lakované a nelakované kovové destičky.

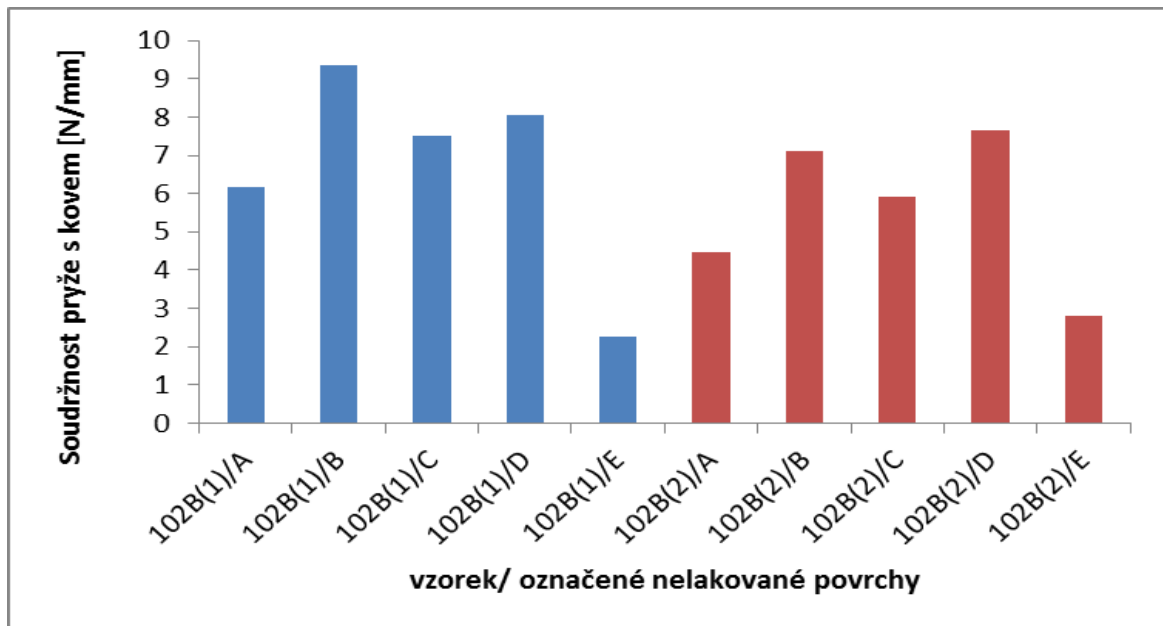
Pro grafické znázornění jednotlivých adhezních sil (Obr. 53 a 55) byl použit medián, který u daných vzorků lépe statisticky vyjadřoval střední hodnotu. Typy procentuálního zastoupení jednotlivých selhání pryž-kov jsou zobrazeny na Obr. 54 a 56.

Tab. 11: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem s opracovaným povrchem metodou brokování.

Pryžová plotnička 102B					Pryžový plotnička 102B					Pryžová plotnička CK1	
Vzorek	b [mm]	F_b [N]	R_b [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	b [mm]	F_b [N]	R_b [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	Typ vady [%]
102B(1)/A	25,79	159,09	6,17	75R, 10RC, 15CM	102B(2)/A	25,45	113,24	4,48	65R, 5RC, 30CM	CK1/A	100RC
102B(1)/B	25,83	241,84	9,36	SB	102B(2)/B	25,80	183,23	7,10	65R, 35CM	CK1/B	95RC, 5CM
102B(1)/C	25,76	193,18	7,50	80R, 5RC, 15CM	102B(2)/C	25,60	151,66	5,92	65R, 40CM	CK1/C	100RC
102B(1)/D	25,77	207,21	8,04	SB	102B(2)/D	25,47	194,56	7,64	SB		
102B(1)/E	25,55	57,86	2,26	25R, 70RC, 5CM	102B(2)/E	25,42	71,19	2,80	35R, 5RC, 60CM		
\bar{x}	25,74	171,84	6,67		\bar{x}	25,54	142,78	5,59			
\tilde{x}	25,77	193,18	7,50		\tilde{x}	25,47	151,66	5,92			
s	0,10	62,87	2,43		s	0,14	45,59	1,77			

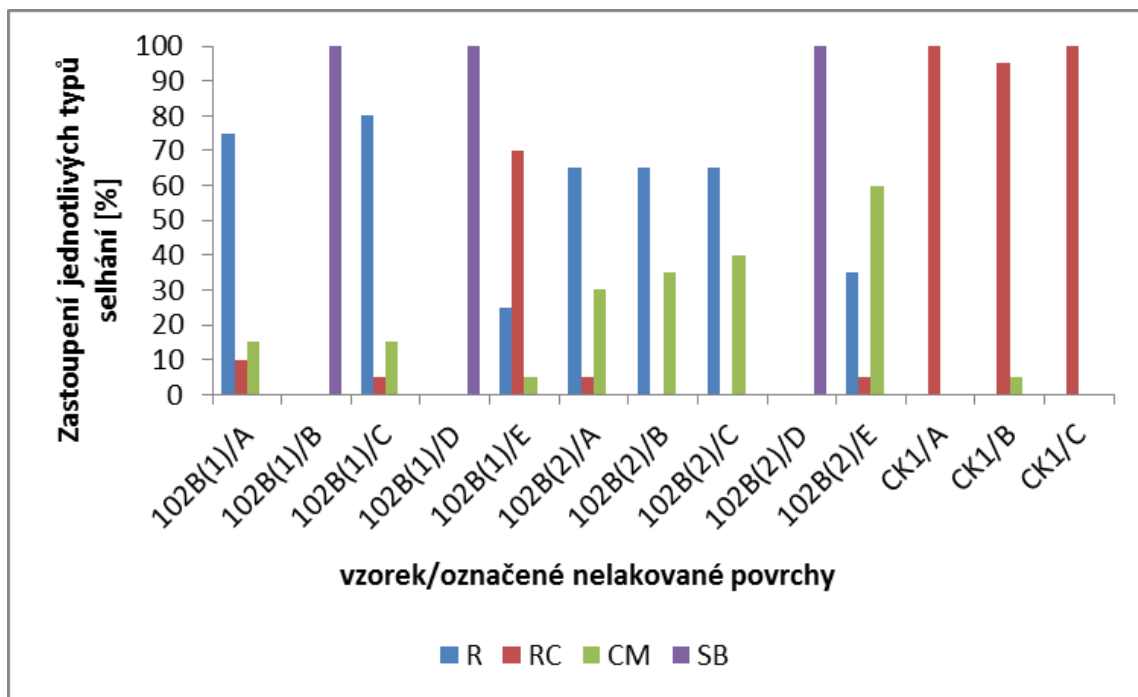
Pozn.: \bar{x} - arit. průměr, \tilde{x} – medián, s – směrodatná odchylka;

Selhání spoje je obvykle popisováno podle způsobu selhání, jako je SB – selhání mimo spoj pryž-kov, kde spoj měl větší pevnost, než byla pevnost pryže - roztržení pryže z kovu, RC pryž – adhezivum, CM podkladový nátěr – kov, a je vyhodnoceno procento odděleného kovového povrchu, který je stále pokryt odtrženou pryží R.



Obr. 53 Srovnání průměrných hodnot mediánu soudržnosti R_b pryží pojené s kovem na nelakovaných destičkách (Tab. 11)

U vulkanizátu CK1 nedošlo k vytvoření spoje, což je zapříčiněno selháním typu RC, kdy se pouze vytvrdil nátěr na kovovém povrchu. Z Obr. 53 lze konstatovat, že největší hodnotu adhezní síly R_b u daných vzorků 102B(1)/B a 102B(2)/D s nástřikem primer a cover při oddělování od kovu pod úhlem 90° vykazovaly povrchy kovů označené B a D, nejnižší hodnotu adhezní síly měl naopak povrch E u vzorků 102B(1)/E a 102B(2)/E, což bylo dáno úpravou kovových povrchů. Rozdíl těchto hodnot byl dán stupněm drsnosti jednotlivých kovových destiček zdrsňených brokováním a také jejich předúpravou proti ulpělým nečistotám před pojením.








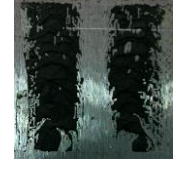







Obr. 54 Srovnání jednotlivých vad vytvořených při zkoušce odlupování

Z Obr. 54 vyplývá, že největší zastoupení vad SB a R vykazovaly vzorky směsi 102B viz. Tab. 12. R vada je vada, kdy dojde k protržení pryže na kovovém povrchu. Dále můžeme konstatovat, že u vzorků 102B(1)/A, 102B(1)/B, 102B(1)/C, 102B(2)/D se dosáhlo selhání R=80%, což odpovídá kvalitnímu spoji. Největší zastoupení vad RC vykazovala směs CK1 (Tab.12). Jedná se o selhání mezi pryží a adhezivem, kdy se vytvrdil pouze nátěr na kovovém povrchu, avšak celkový spoj byl nulový.

V Tab. 12 je možné pozorovat jednotlivé typy selhání na povrchu nelakované kovové desičky po odtržení na trhacím stroji metodou odlupování.

Tab. 12: Vzhled povrchů nelakovaných destiček narušených při zkoušce odlupování.

Označené povrchy nelak. destiček zdrsňené brokováním	Vzorky 102B(1)	Vzorky 102B(2)	Vzorky CK1
A			
B			
C			
D			
E			

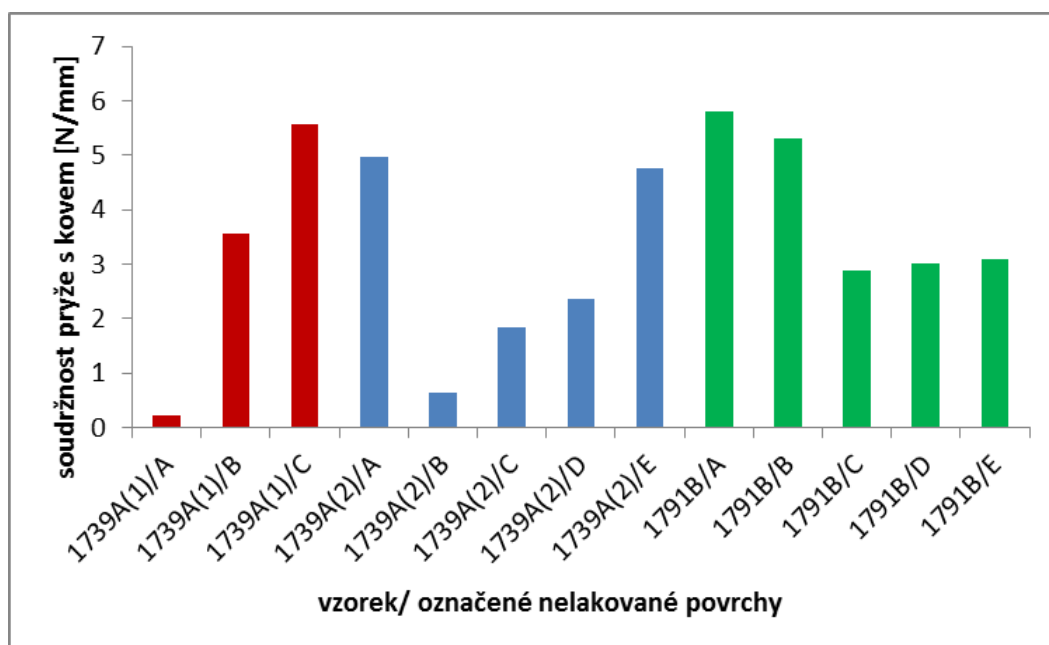
Tab. 13: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem s opracovaným povrchem metodou brokováním.

Pryžová plotnička 1739A					Pryžová plotnička 1739A					Pryžová plotnička 1791B				
Vzorek	b [mm]	F_b [N]	R_b [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	b [mm]	F_b [N]	R_b [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	b [mm]	F_b [N]	R_b [N/mm]	Typ vady [%]
1739A(1)/A	25,53	5,37	0,21	100RC	1739A(2)/A	25,45	126,48	4,97	SB	1791B/A	25,94	146,28	5,81	SB
1739A(1)/B	25,91	94,97	3,56	45R,50RC, 5CM	1739A(2)/B	25,49	16,08	0,63	15R,80RC, 5CM	1791B/B	25,91	138,02	5,32	SB
1739A(1)/C	25,96	144,90	5,58	SB	1739A(2)/C	25,79	47,83	1,85	30R,65RC, 5CM	1791B/C	25,75	74,33	2,89	35R,60RC, 5CM
					1739A(2)/D	25,54	60,50	2,37	35R, 60RC, 5CM	1791B/D	25,67	77,35	3,01	25R,70RC, 5CM
					1739A(2)/E	25,40	121,17	4,77	65R, 30RC, 5CM	1791B/E	25,95	79,92	3,08	40R,50RC, 10CM
\bar{x}	25,80	81,75	3,12		\bar{x}	25,53	74,41	2,92		\bar{x}	25,84	103,18	4,02	
\tilde{x}	25,91	94,97	3,56		\tilde{x}	25,49	60,50	2,37		\tilde{x}	25,91	79,92	3,08	
s	0,19	57,73	2,21		s	0,14	42,90	1,69		s	0,11	31,97	1,27	

Pozn.: \bar{x} - arit. průměr, \tilde{x} – medián, s – směrodatná odchylka;

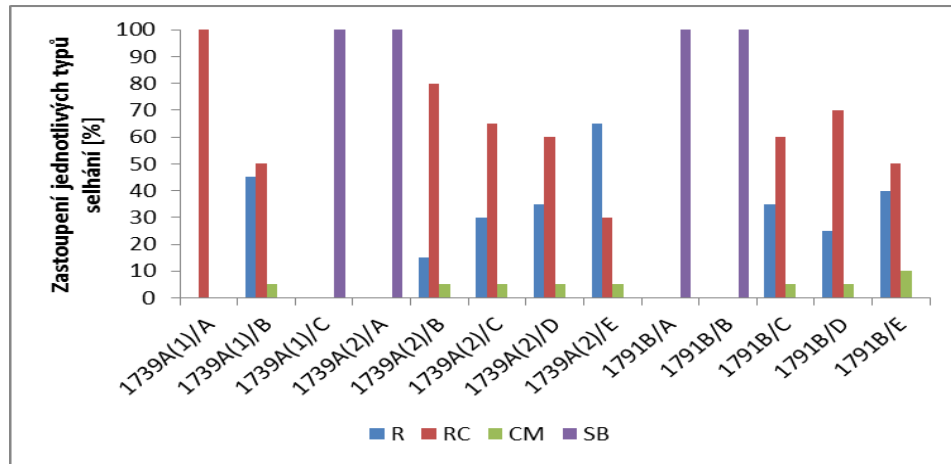
Selhání spoje je obvykle popisováno podle způsobu selhání, jako je SB – selhání mimo spoj pryž-kov, kde spoj měl větší pevnost, než pevnost byla pryže, RC pryž – adhezivum, CM podkladový nátěr – kov, a je vyhodnoceno procento odděleného kovového povrchu, který je stále pokryt odtrženou pryží R.

U Obr. 55 lze konstatovat, že výkyvy soudržnosti pryže na bázi dvousložkového systému primer a cover pojené s kovem, jehož povrch byl před pojením opracován brokováním, byly dány jednak drsností povrchu kovových destiček, a také úpravou pryžových pásků před navulkanizováním. Nejvyšší adhezní síla byla zaznamenána u vzorků 1739A(1)/C, 1791B/(A). Naproti tomu nejmenší adhezní síly vykazovaly vzorky pro povrchy A a B směsi 1739A (1)/A, 1793A(2)/B, které měly na nátěru částičky nečistot, a na kraji se jim odlupoval lak při drobné manipulaci.



Obr. 55 Srovnání průměrných hodnot mediánu soudržnosti R_b pryží pojené s kovem na nelakovaných destičkách (Tab. 13)

Z Obr. 56 je zřejmé, že největší zastoupení měla vada RC pryž a adhezivum u směsí 1739A(1)/A, 1739A(2)/B a 1791B/D. Příčinou této vady byla nejčastěji předúprava pryžových pásků a kovového povrchu, neboť při stříhu docházelo k odlupování části laku na krajích pryžového vzorku, což mělo negativní dopad na tvorbu spoje. Vada SB protržené pryže byla detekována u vzorků 1739A(1)/C, 1793A(2)/A, 1791B/A a 1791B/B, což indukuje, že pevnost spoje je vyšší než pevnost pryže (Tab. 14). Vada R protržené pryže u všech směsí nepřesáhla 80 % kvality spoje, což bylo způsobeno nízkým přitlakem, tj. docházelo k selhání RC vady mezi pryží a adhesivem.



Obr.56 Porovnání jednotlivých vad vzniklé při zkoušce odlupování

V Tab. 14 vidíme jednotlivé typy selhání na povrchu nelakované kovové destičky po odtržení na trhacím stroji metodou odlupování

Tab. 14: Vzhled povrchů nelakovaných destiček narušených při zkoušce odlupováním.

Označ. povrchy nelak. destiček zdrsňené brokováním	Vzorky 1739A (1)	Vzorky 1739A (2)	Vzorky 1731B
A			
B			
C			
D			
E			

16.3.2 Výsledky pro pryžové pásky pojené na lakovaných destičkách

Třetí sada pryžových pásků s označením 102B, 1791B, 1739A a CK1 s nátěrem dvousložkového systému cover a primer, se navulkanizovala na 8 lakovaných kovových destiček bez zdrsňeného povrchu, a také na 8 lakovaných destiček s povrchem zdrsňeným laserem. Všechny kovové destičky byly lakované vytvrzenou epoxidovou pryskyřicí (prášková barva).

Ve čtvrté sadě dvanácti lakovaných destiček bez povrchových úprav bylo na zadní straně provedeno zdrsňení pomocí brusného papíru 3 – 4 tahy a nečistoty vzniklé po zdrsňení byly odstraněny acetonem. Poté byla provedena post-vulkanizace pryžových pásků 102B, 1739A a 1791B, kdy lakované destičky byly označeny A, B, C. Tato sada experimentů byla provedena na základě faktů z předešlých měření (Tab. 15 a 16), které prokázaly, že k vytvoření vazby je potřebná povrchová úprava kovů. Dalším krokem bylo pojení 3 typů pryží (102B, 1739A a CK1 s nátěrem) k 6 lakovaným destičkám s laserovým opracováním označené na povrchu D,E. Výsledky soudružnosti při odlupování pryže s kovem provedené ze třetí a čtvrté sady vzorků jsou zobrazeny v Tab. 15 a 17.

Pro grafické znázornění jednotlivých adhezních sil byl použit medián, který u daných vzorků lépe statisticky vyjadřoval střední hodnotu (Obr. 57 a 59). Typy procentuálního zastoupení jednotlivých selhání pryž-kov jsou zobrazeny na Obr. 58 a 60.

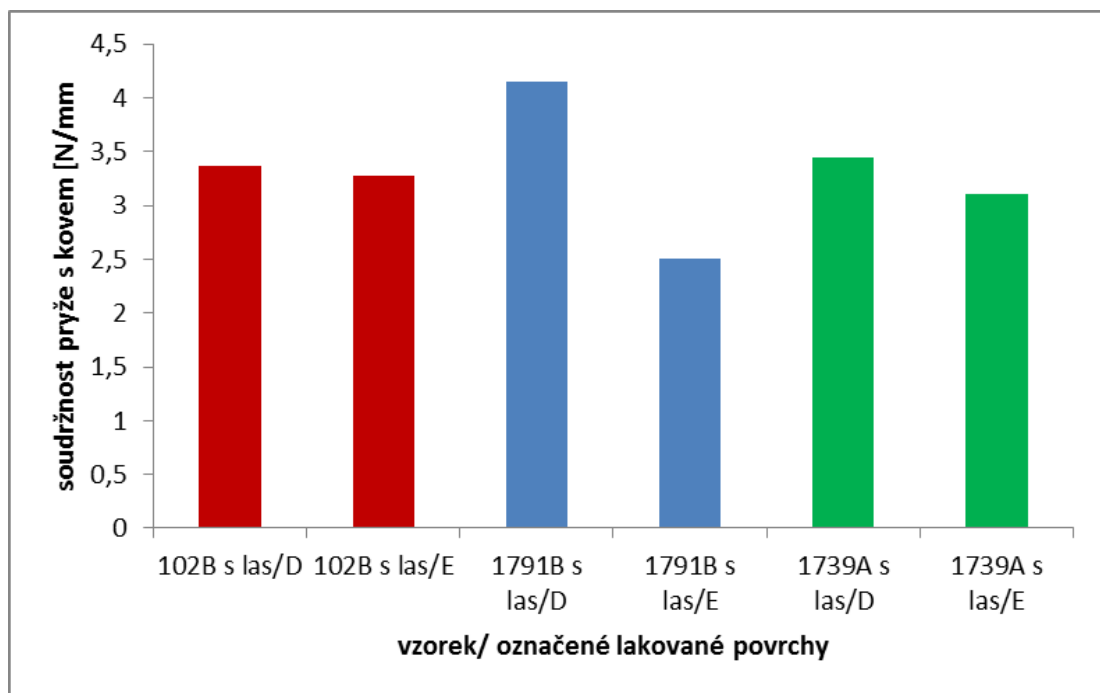
Tab. 15: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s lakovaným kovem bez povrchové úpravy a zdrsněným laserem

Pryžová plotnička 102B					Pryžová plotnička 1791B					Pryžová plotnička 1739A					Pryžová plotnička CK1	
Vzorek	<i>b</i> [mm]	<i>F_b</i> [N]	<i>R_b</i> [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	<i>b</i> [mm]	<i>F_b</i> [N]	<i>R_b</i> [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	<i>b</i> [mm]	<i>F_b</i> [N]	<i>R_b</i> [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek CK1	Typ vady [%]
102B bez las/A	-	-	-	100CM	1791B bez las/A	-	-	-	100CM	1739A bez las/A	-	-	-	100CM	CK1 bez las/A	95RC, 5CM
102B bez las/B	-	-	-	100CM	1791B bez las/B	-	-	-	100CM	1739A s las/D	25,95	89,74	3,45	35R, 15RC, 50CM	CK1 bez las/B	95RC, 5CM
102B bez las/C	-	-	-	100CM						1739A s las/E	26,11	81,10	3,10	35R, 20RC, 45CM		
102B s las/D	26,21	88,49	3,37	30R,10RC, 60CM	1791B s las/D	25,81	107,50	4,15	SB						CK1 S las/D	95RC, 5CM
102B s las/E	25,54	83,81	3,28	35R,10RC, 55CM	1791B s las/E	25,84	64,59	2,50	55R,25RC, 20CM						CK1 S las/E	95RC, 5 CM
\bar{x}	25,875	86,15	3,33		\bar{x}	25,825	86,04	3,33		\bar{x}	26,03	85,42	3,28			
\tilde{x}	25,875	86,15	3,33		\tilde{x}	25,825	86,04	3,33		\tilde{x}	26,03	85,42	3,28			
s	0,335	2,34	0,05		s	0,015	21,45	0,83		s	0,08	4,32	0,18			

Pozn.: \bar{x} - arit. průměr, \tilde{x} – medián, s – směrodatná odchylka;

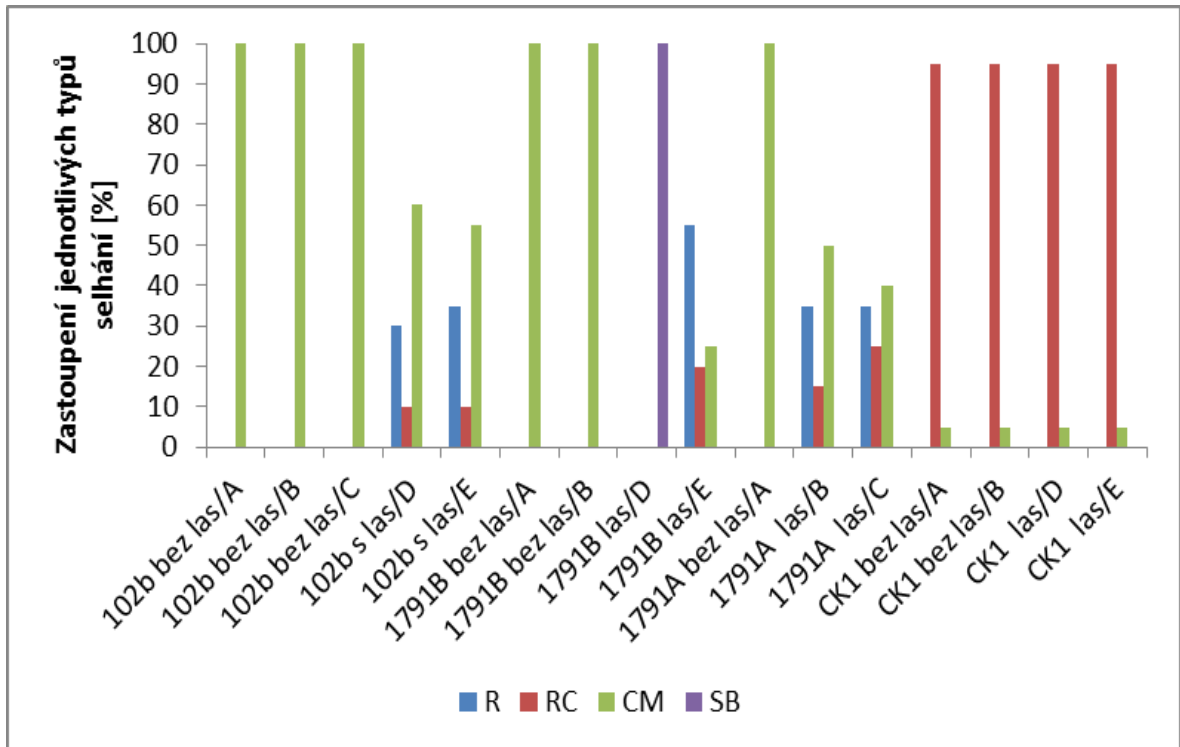
Selhání spoje je obvykle popisováno podle způsobu selhání, jako je SB – selhání mimo spoj pryž-kov, kde spoj měl větší pevnost, než byla pevnost pryže, RC pryž – adhezivum, CM podkladový nátěr – kov, a je vyhodnoceno procento odděleného kovového povrchu, který je stále pokryt odtrženou pryží R.

Na Obr. 58 lze vidět, že povrchy lakovaného kovu na bázi epoxidových pryskyřic (prášková barva) A, B, C, které nebyly zdrsňené před post-vulkanizací pryžových pásků 1739A, 102B a 1791B se vytvořily nulové vazby, což bylo důsledkem lesklých a neupravených povrchů, tudíž jsme nemohli naměřit pevnost spoje. Pryžové pásky s označením CK1 měly na všech površích opět nulové vazby. Stejný problém byl u tohoto vzorku pozorován také při měření na lakovaných destičkách zdrsňených laserem a smirkovým papírem. Z Obr. 57 plyne, že u povrchů lakovaných destiček D a E, které byly povrchově opracované laserem (finální úprava před post-vulkanizací) a pojeny na pryžových pásech, došlo ke vzniku spojů.



Obr. 57 Porovnání průměrných hodnot mediánu soudržnosti R_b pryže pojené s kovem na lakovaných destičkách zdrsňených laserem na povrchu D a E

















Z Obr. 58 je patrné, že největší podíl selhání u zkoumaných vzorků měla vada typu CM, která udává selhání mezi podkladovým nátěrem a kovem a to pro všechny čtyři typy pryžových pásků nastříkaných nátěrem, které byly navulkanizovány na neupravené povrchy lakovaných kovových destiček. Po post-vulkanizaci vykazovaly vždy nulové spoje, které byly zapříčiněny nezdrsňeným lesklým povrchem. U směsi CK1 pojené na lakovaných destičkách s laserovým opracováním nedošlo k vytvoření spojů, což odpovídá vadě RC na rozhraní pryže a adhesiva a selhání CM mezi podkladovým nátěrem a kovem. Ostatní vzorky se nicméně pojily na povrchy D a E (lakované destičky zdrsňené laserem) bez problému, a vzorek 1791B las/D dokonce vykazoval vadu SB.



Obr. 58 Porovnání jednotlivých vad spojů zkoušce odlupování na lakovaných destičkách

V Tab. 16 jsou zobrazeny jednotlivé typy selhání na povrchu nelakované kovové destičky po odtržení na trhacím stroji metodou odlupování.

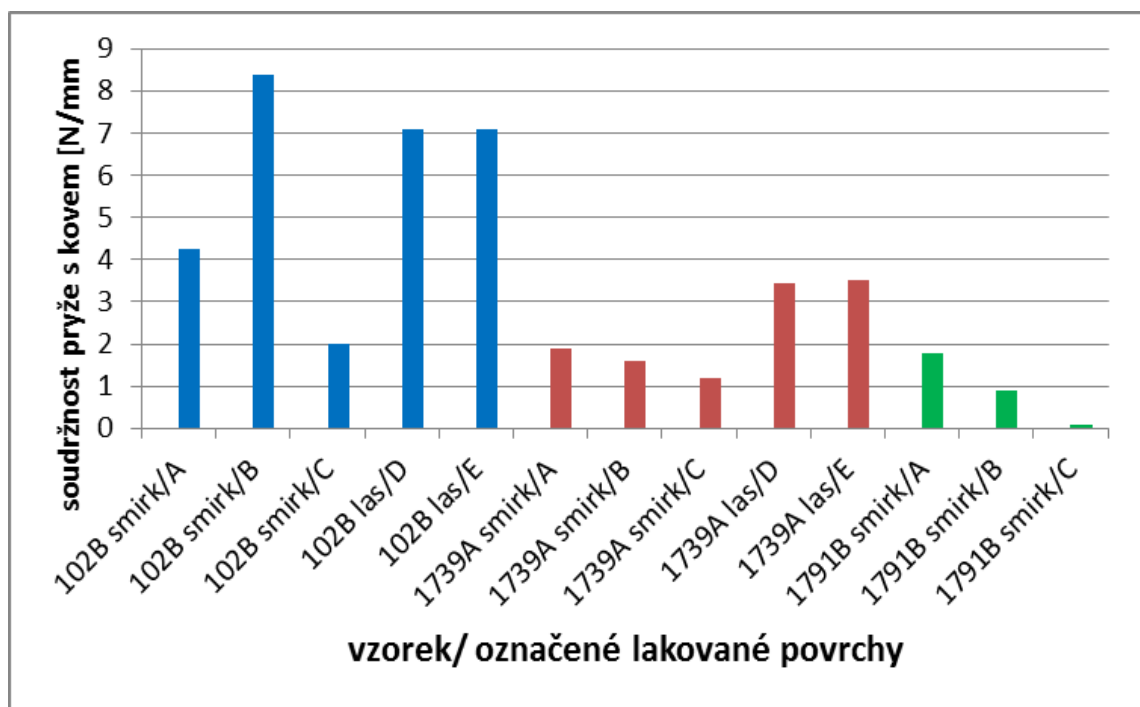
Tab. 16: Vzhled povrchů lakovaných destiček narušených při zkoušce odlupováním.

Označené povrchy lak. destiček	Vzorky 102B (1)	Vzorky 1791B (1)	Vzorky 1739A (1)	Vzorky CK1
A bez las opracování				
B bez las opracování			Nevulkanizováno získali bychom CM vadu	
C bez las opracování		Nevulkanizováno získali bychom CM vadu	Nevulkanizováno získali bychom CM vadu	Nevulkanizováno získali bychom CM vadu
D s las opracováním			 -	
E s las opracováním				

Tab. 17: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s lakovaným kovem zdrsněným smirkovým papírem a laserem

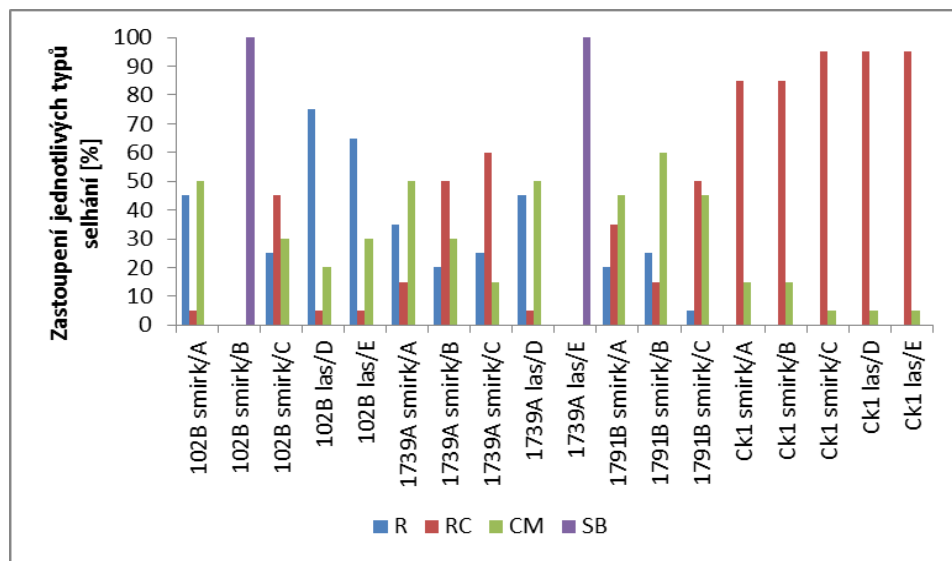
Pryžová plotnička 102B					Pryžová plotnička 1739A					Pryžová plotnička 1791B					Pryžová plotnička CK1	
Vzorek	<i>b</i> [mm]	<i>F_b</i> [N]	<i>R_a</i> [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	<i>b</i> [mm]	<i>F_b</i> [N]	<i>R_a</i> [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek	<i>b</i> [mm]	<i>F_b</i> [N]	<i>R_a</i> [N/mm]	Typ vady [%]	Vzorek č. CK1	Typ vady [%]
102B smirk. papír	25,46	107,96	4,24	45R, 5RC,50CM	1739A smirk. papír	25,41	47,93	1,89	35R, 15RC, 50CM	1791B smirk. papír	25,55	45,53	1,78	20R, 35RC, 45CM	CK1 smirk. papír	85RC, 15CM
102B smirk papír	25,5	214,24	8,38	SB	1739A smirk. papír	25,68	41,26	1,61	20R, 50RC, 30CM	1791B smirk papír	25,63	22,92	0,89	25R, 15RC, 60CM	CK1 smirk. papír	85RC, 15CM
102B smirk papír	25,59	51,38	2,01	25R, 45RC, 30CM	1739A smirk. papír	25,72	30,84	1,20	25R, 60RC, 15CM	1791B smirk. papír	25,58	2,04	0,08	5R, 50RC, 45CM	CK1 smirk. papír	95RC, 5CM
102B s las	25,60	181,49	7,09	75R, 5RC, 20CM	1739A s las	25,31	87,44	3,45	45R, 5RC, 50CM						CK1 s las	95RC, 5CM
102B s las	25,47	180,04	7,07	65R, 5RC, 30CM	1739A s las	25,51	89,31	3,50	SB						CK1 s las	95RC, 5CM
\bar{x}	25,52	124,53	4,88	smirk. papír	\bar{x}	25,53	40,01	1,61	smirk. papír	\bar{x}	25,59	23,50	0,92			
\tilde{x}	25,50	107,96	4,24		\tilde{x}	25,51	41,26	1,57		\tilde{x}	25,58	22,92	0,89			
<i>s</i>	0,06	67,51	2,64		<i>s</i>	0,16	7,03	0,28		<i>s</i>	0,03	17,76	0,69			
\bar{x}		180,77	7,08	las.	\bar{x}		88,38	3,48	las.							
\tilde{x}		180,77	7,08		\tilde{x}		88,38	3,48								
<i>s</i>		0,73	0,01		<i>s</i>		0,94	0,03								

U Obr. 59 lze konstatovat, že povrchy zdrsňené ručně smirkovým papírem vykazovaly různé hodnoty soudružnosti pryže s kovem u povrchu vzorků A, B, C pro jednotlivé směsi 1791B, 1739A a 102B. Bylo to zapříčiněno rozdílnou povrchovou úpravou kovu a také i tím, že se při přípravě normalizovaných pryžových pásků se odlupovaly částičky laku na krajích těchto tělísek. Nejvyšších adhezních hodnot vykazovala směs 102B smirk/B na lakovaných destičkách zdrsňených smirkovým papírem. U lakovaných destiček s laserovým opracováním hodnoty soudružnosti pro směs 102B las/D a 102B las/E výrazně převyšovaly hodnoty pro ostatní směsi a tento spoj vykazoval nejvyšší pevnost.



Obr. 59 Porovnání průměrných hodnot mediánu soudružnosti R_b pojené na lakovaných destičkách zdrsňené smirkovým papírem a laserem

Z Obr. 60 lze pozorovat, že velmi vysokou pevnost spoje vykazovaly vzorky 102B smirk/B a 1739A las/E se selháním SB. Nejčastější vadou byla ve zkoumaných sadách vzorků RC a CM u všech pryžových pásků 102B, 1739A, 1791B a CK1. Opět zde byla nevhodná příprava pryžových plotniček při vystřižení na pryžové pásky, neboť se při stříhu odlupoval lak. Nejčastěji vyskytující se vadou byla RC, která je zapříčiněna nečistotami na pryžovém pásku a kovovém povrchu. U směsi CK1, která vždy vykazovala vady v kombinaci RC a CM u předcházejících měření, bylo toto pravděpodobně dáno špatným výběrem dvojsložkového systému



Obr. 60 Srovnání jednotlivých vad vzniklé při zkoušce odlupování

Tab. 18: Vzhled povrchů lakovaných destiček narušených při zkoušce odlupováním.

Označené povrchy lak. destiček	Vzorky 102B (2)	Vzorky 1739A (2)	Vzorky 1791B (2)	Vzorky CK1
A zdrsněn smirk				
B zdrsněn smirk				
C zdrsněn smirk				
D s las opraco- váním				
E s las opraco- váním				

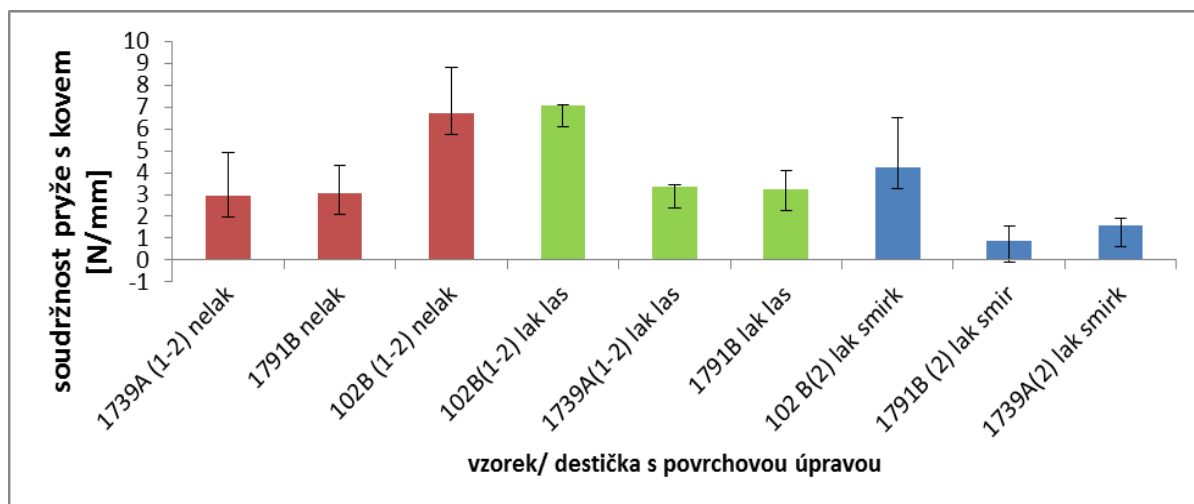
16.3.3 Výsledné hodnoty soudržnosti pryžových pásků o různém složení pojených na lakovaných a nelakovaných destičkách s odlišnou povrchovou úpravou

Výsledky soudržnosti pryže s kovem jsou pro jednotlivé tabulky podle mediánu, neboť vykazovaly lepší střední hodnoty z hlediska statistického.

Tab. 19: Naměřené a vypočtené hodnoty soudržnosti pro různé druhy pryže s nelakovaným a lakovaným kovem s různou povrchovou úpravou.

kovová destička	Vzorek	zdrsněný povrch	\tilde{x} [N/mm]	s [N/mm]
nelakovaná	1739A (1-2)	brokování	2,96	1,95
nelakovaná	1791B	brokování	3,08	1,27
nelakovaná	102B (1-2)	brokování	6,71	2,10
lakovaná	102B (1-2)	laser	7,08	0,01
lakovaná	1739A (1-2)	laser	4,24	0,76
lakovaná	1791B	laser	3,35	0,83
lakovaná	102B (2)	smirkový papír	4,24	2,27
lakovaná	1791B (2)	smirkový papír	0,89	0,69
lakovaná	1739A (2)	smirkový papír	1,61	0,28

Pozn: \tilde{x} – medián, s – směrodatná odchylka



Obr. 61 Porovnání celkových hodnot soudržnosti R_b u různých pryží pojené na nelakovaných a lakovaných kovových destičkách

Z Tab. 19 a Obr. 61 vyplývá, že 3 druhy pryžových směsí o různém složení s dvousložkovým systémem pojeným na nelakované destičky zdrsňené brokováním, a lakované destičky na bázi epoxidových pryskyřic upravené laserem, měly podobné hodnoty soudržností pryže s kovem. Lišily se však skladbou směsi vulkanizátu a povrchovou úpravou kovových destiček. Vzorky, které se pojily na lakované destičky leštěné abrazivním materiálem (smirkový papír), projevovaly rozdílné hodnoty adhezních napětí, což bylo ovlivněno vlastní předúpravou kovů. Účelem povrchové úpravy na bázi epoxidových pryskyřic bylo zamezit extrémním vlivům vnějšího prostředí (povětrnostní a chemické). Nutno také podotknout, že vrstva epoxidové pryskyřice poskytuje dobré adhezní vlastnosti a trvanlivost spojů.

Směsi 102B (1-2) pojené na nelakované a lakované destičky s různou povrchovou úpravou dosahovaly největších hodnot. Z toho vyplývá, že se jedná o stabilní směs při pojení na všechny povrchy. Výsledek lze diskutovat v tom smyslu, že daný vzorek vyšší podíl NR v kaučukové směsi a vulkanizát byl polárnější v porovnání s ostatními zkoumanými vzorky, což způsobilo lepší smáčení vzorku nátěrem dvousložkového organického systému nastříkaného na tento pryžový pásek. Ten se dále navulkanizoval na nelakované i lakované destičky na bázi epoxidových pryskyřic (prášková barva) zdrsňené smirkovým papírem a laserem mnohem snáze a při procesu se tedy vytvořila silná adhezní vazba.

Směsi 1739A (1-2) a 1791B získaly menší hodnotu adhezního napětí než 102B (1-2), protože měly větší zastoupení syntetické kaučuku v gumárenské směsi a taky byly méně polární než směsi 102B (1-2). Tuto skutečnost lze pozorovat u vzorků 1791B (2) a 1739A (2), které dosahovaly nejnižších adhezních hodnot. Tyto pryžové pásy s nástřikem dvousložkového systému navulkanizované na lakovaný kov, který byl zdrsňený smirkovým papírem, byly ovlivněny jednak stupněm drsnosti při ručním zdrsňení, tak i nevhodnou předúpravou povrchu kovu.

U směsí CK1 zmíněné v předešlých kapitolách (Tab. 12, 14, 16 a 18), se při pojení na všech površích nevytvořila vazba, i když pryžové pásy byly nastříkané nátěrem dvousložkového typu a navulkanizovalo se na všech površích. Vždy zde docházelo pouze k vytvrzení nátěru na povrchu u nelakovaných destiček a lakovaných se zdrsňením laserem. U lakovaných bez zdrsňení se nátěr ani nevytvrdil na kovovém povrchu. Důvod nulových vazeb po navulkanizaci na různých kovových površích byl ve složení kaučukové směsi, kdy se jednalo o směs EPDM (Tab. 6), který byl nepolární a také měl vyšší optimální vulkanizační stupně a delší zpracovatelskou bezpečnost. Nelze tvrdit, že se jednalo o

špatný vulkanizát. Problémem byl hlavně od počátku ve špatně zvoleném typu dvousložkového systému, který nebyl kompatibilní se směsí CK1 s vysokým podílem syntetického kaučuku. Proto by bylo vhodné změnit například Chemosil 211 za Chemosil 205 pro syntetické kaučuky u složky cover, kde by poté pravděpodobně došlo k vytvoření požadované vazby na kovovém povrchu.

Vzhled povrchu jednotlivých spojů, které byly porušeny zkoušením, vykazuje některé zajímavé odlišnosti (Tab. 12, 14, 16 a 18). Tři typy vzorků (102B, 1739A a 1791B) vykazovaly velkou míru kohezního selhání pryže vzhledem k roztržení indikujícího materiálu, což znamená, že k

Zkoumané 4 typy zvulkanizovaných směsí se lišily především složením a také skladbou pro pojení lakovaných a nelakovaných destiček. Potvrdilo se tedy, že pojení pryže s kovem je komplikovaný proces, jež je ovlivněn chemickými vlastnostmi směsi, spojovací prostředky a vlastnostmi podkladu, avšak i to, že tento proces není při různém složení snadno předvídatelný.

16.4 Hodnocení hysterezní zkoušky

K provedení hysterezní zkoušky byla použita pryžová plotnička 102B nastříkaná nátěrem primer a cover oboustranně. Právě tato směs vykazovala nejlepší pojící vlastnost na všech površích včetně lakované destičky bez jakýchkoliv úprav. Z této pryžové destičky se nastříhaly 4 pryžové pásy, které se následně pojily při teplotě 160 °C pod dobu 2:30 min na 8 lakovaných destiček, které byly leštěny smirkovým papírem.

Úkolem bylo vyhodnotit rozdíly adhezních sil a tvary hysterezních smyček pro čtyři pryžové pásy s označením 102B, které měly na horní ploše 25 %, 50 %, 75 %, 100 % a spodní ploše 100 % nátěru v závislosti na zvoleném postupném cyklickém zatížení na dráhu posuvu. K měření hysterezní zkoušky se použilo zkušební zařízení Tiratest 28100. Pro měření hysterezní charakteristiky byly zvoleny následující parametry, mezi něž patří rychlost zatěžování 50 mm/min, časová prodleva 10 s po 5-ti cyklech. Síla a dráha posuvu se nastavily dle procentuálního zastoupení nátěru nastříkaného na daný povrch.

16.4.1 Nastavení parametrů hysterezních smyček pro pryžový pásek s nátěrem 100 %

Pryžový pásek s nátěrem 100 % pojený na kovových destičkách.

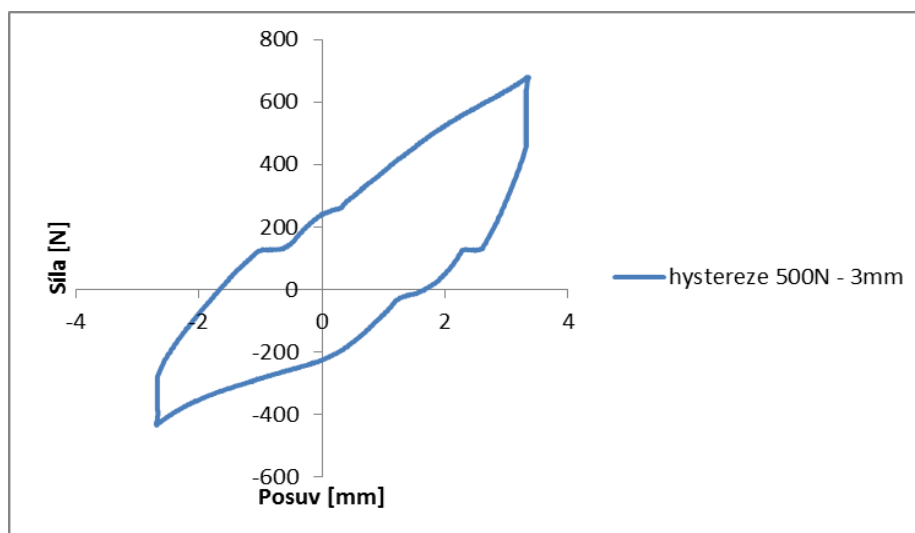
Tab. 20: Zvolené zatížení a dráha posuvu

Č. kombinace	Zvolené zatížení [N]	Posuv [mm]	Posuv při zatížení [mm]	Posuv při odlehčení [mm]
1	500	3	6	2,68
2	700	3	6	2,68
3	1000	6	12	5,28
4	1300	7	14	5,01

V první řadě se provedla zkouška nanečisto u pryžových pásků se 100% nátěrem, aby se zjistilo maximální napětí při přetržení pryžového pásku na kovu. Na základě získaných údajů byla volena dráha posuvu a zatížení s ohledem na nedestruktivní zkoušku pro ostatní pryžové pásky.

Ukázka výpočtu pro první zatížení 500 N a dráhu posuvu 3 mm

Výpočet zatěžující a odlehčující práce z křivek hysterezních smyček se provedl dle rovnice polynomiální funkce 3. stupně (4), (5), kdy se křivky zatěžující a odlehčující proložily regresní křivkou třetího řádu (Obr. 62). Díky této funkci byla získána čára nejlepší shody, jejíž charakter bylo možno integrovat.



Obr. 62 Ukázka hysterezní smyčky v závislosti síly na posuvu

- Polynomiální funkce třetího stupně pro výpočet zatěžující a odlehčující práce:

Tvar zatěžující křivky:
$$y_1 = 8,3588x^3 + 15,745x^2 + 68,25x - 212,41 \quad (6)$$

Tvar odlehčující křivky: $y_2 = -1,6276x^3 - 22,195x^2 + 163,22x + 272,81$ (7)

- Matematické stanovení práce dané zatěžující křivkou pomocí určitého integrálu

Zatěžující křivka y_1 :

$$y_1 = 8,3588x^3 + 15,745x^2 + 68,25x - 212,41 \quad (8)$$

$$\int_{2,68}^6 y_1 dx = \int_{2,68}^6 (-212,41 + 68,25x + 15,745x^2 + 8,3588x^3) dx \quad (9)$$

$$\int_{2,68}^6 y_1 dx = \int_{2,68}^6 [-212,41 + 68,25x + 15,745x^2 + 8,3588x^3]_{2,68}^6 dx \quad (10)$$

Po dosažení integrační meze posuvu, tj. vzdálenost při zatížení od 2,68 do 6, dostaneme zatěžující práci $\int_{2,68}^6 y_1 dx = 3911,27 \text{ N.mm} \doteq 3,91 \text{ [N.m]}$

- Stanovení odlehčující křivky pomocí integrálu

Zatěžující křivka:

$$y_2 = -1,6276x^3 - 22,195x^2 + 163,22x + 272,81 \quad (11)$$

$$\int_{2,68}^6 y_2 dx = \int_{2,68}^6 (-1,6276x^3 - 22,195x^2 + 163,22x + 272,81) dx \quad (12)$$

$$\int_{2,68}^6 y_2 dx = \int_{2,68}^6 [-1,6276x^3 - 22,195x^2 + 163,22x + 272,81x^3]_{2,68}^6 dx \quad (13)$$

Po dosažení integrační meze posuvu, tj. vzdálenost při odlehčení 2,68 až 6, dostaneme odlehčující adhezní sílu $\int_{2,68}^6 y_2 dx = 1295,55 \text{ N.mm} \approx 1,30 \text{ [N.m]}$

Celková absorbovaná práce je dána rozdílem horní zatěžující a dolní odlehčující práce a činí $= 2615,71 \text{ N.mm.} \approx 2,62 \text{ [N.m]}$.

Výpočet pevnosti pro nátěr 100 % zatížený silou a dráhou posuvu 3 mm

Jedná se pouze o informativní charakter výpočtu adhezního napětí s nátěrem 100 %, neboť nám nejsou dostupné základní mechanické vlastnosti dvousložkového systému pro přesnější stanovení adhezního napětí (tj. modul pružnosti, mez pevnosti apod.), protože tyto vlastnosti podléhají výrobnímu tajemství výrobce.

$$\sigma = \frac{F_{zat}}{A} = \frac{W_{zat}}{s \cdot A} = \frac{3,91}{0,003 \cdot 0,000625} = 2,08[MPa] \quad (13)$$

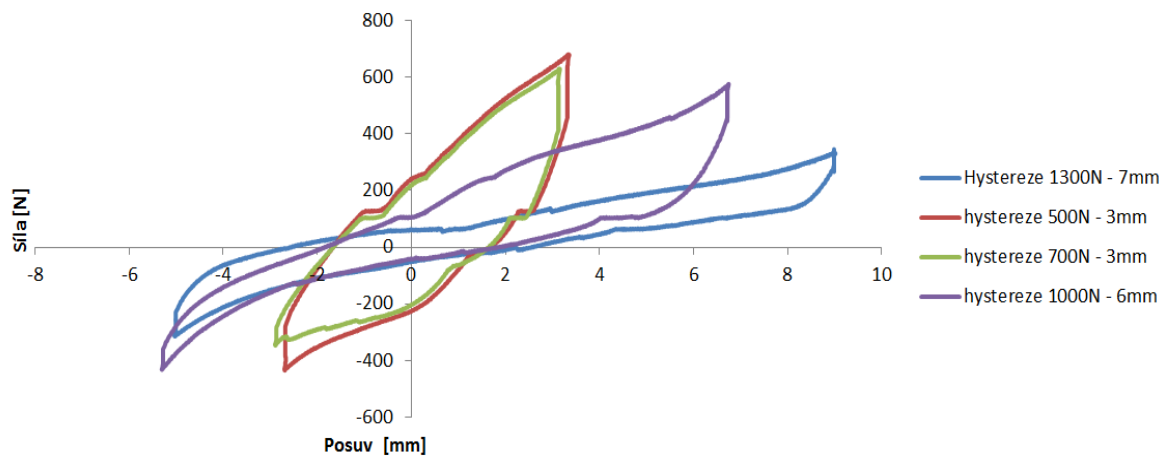
σ vyjadřuje adhezní napětí, F_{zat} je zatěžující práce a A plocha nátěru (25x25 mm), W_{zat} práce při zatížení, s dráha posuvu

Tento postup výpočtu pro hysterezní smyčky a adhezní napětí byl proveden pro všechny varianty s procentuálním zastoupením nátěru na lakovaných destičkách na bázi epoxidových pryskyřic.

Tab. 21: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy posuvu a zatížení

Č. kombinace	Zatěžující práce [N.m]	Odlehčená práce [N.m]	Absorbovaná práce [N.m]	Hysterezní plocha smyčky [%]	Adhezní napětí [Mpa]
1	3,91	1,30	2,62	66,88	2,08
2	3,96	0,84	3,12	78,80	2,11
3	8,13	3,71	4,42	54,31	2,17
4	3,94	3,22	0,73	18,40	0,90

Tvar hysterezních smyček pro pryžový pás se 100% nátěrem dvojsložkového systému mění se podle dráhy posuvu a při zvoleném zatížení a konstantní rychlosti 50 mm/min s časovou prodlevou 10 s a počtem kmitů 5 je zobrazen na Obr. 63. Tyto parametry se neměnili po celou dobu zkoušení pro všechny zkušební vzorky. U kombinace č. 1 a č. 2 se hysterezní smyčky nelišily tvarově a to i při zvětšení zatěžující síly, při němž docházelo k mírnému prodloužení vzorku a z toho vyplývá, že při zvětšení síly a dráhy posuvu se zvětší hysterezní plocha minimálně. Spojení pojené při tomto zatížení drží svůj tvar a nedochází k protržení vazeb mezi pryží a kovem.



Obr. 63 Porovnání hysterezních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 100 %.

Při zvýšeném zatížení na 1000 N a s posuvem 6 mm u kombinace č. 3 došlo k prodloužení křivek při zatížení a odlehčení a zároveň se zúžila hysterezní smyčka o 54,3 %, což bylo následkem protržení spoje v krajní části plochy lakovaných kovových destiček. Pro kombinaci č. 4 byla zvýšena síla na 1300 N a posuv 7 mm. Vlivem předchozího selhání se hysterezní smyčka zmenšila rapidně o 18,4 % a tuhost adhezni síly těchto křivek při zatížení a odlehčení již byla nižší, poněvadž vzrostlo kohezní selhání.

Zkoušky pryžových pásků budou dále probíhat v postupných zatěžováních 700 až 1200 N ze vzdálenosti posuvu od 2 do 4 mm za konstantní rychlosti 50 mm/min při zatížení a odtížení s časovou prodlevou 10 s a počet cyklů je standardě nastaven na 5.

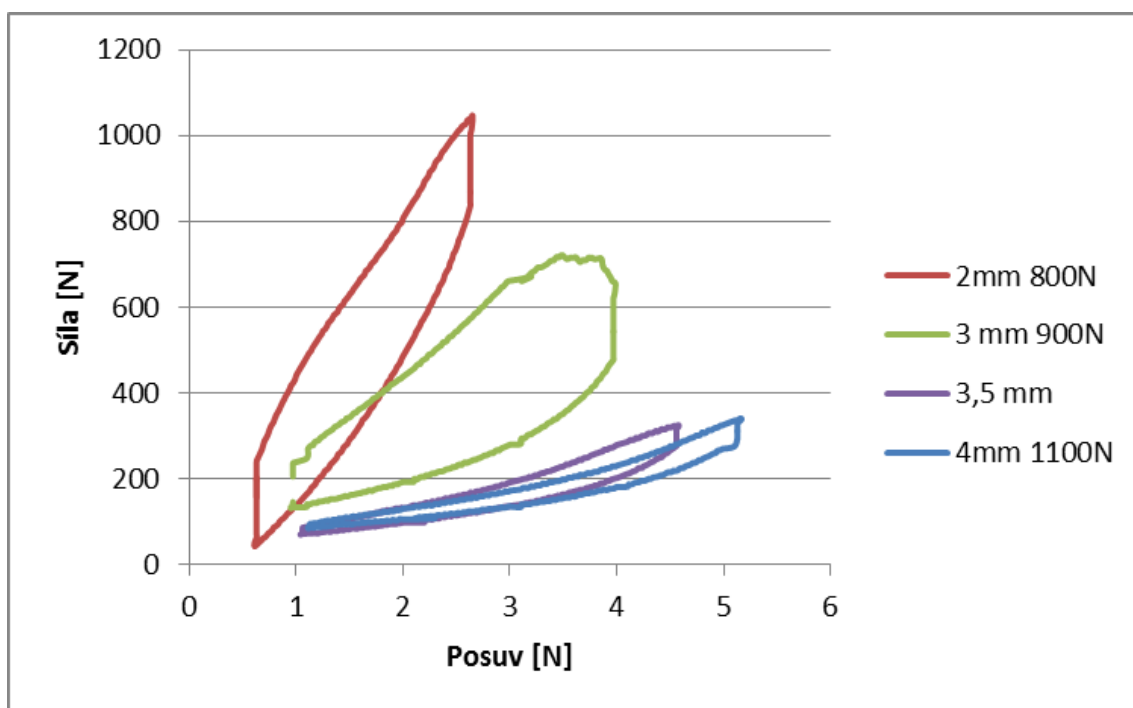
16.4.2 Výsledky hysterezních smyček pro pryžový pásek s nátěrem 100 %

Pryžový pásek s nátěrem 100 % pojený na lakovaných kovových destičkách.

Zde došlo k výrazné změně tvaru hysterezních křivek a pouze kombinace č. 2 byla stabilní, kdežto u kombinace č. 3 již dochází k protržení vazeb jak v krajní části tak i v prostřední části působením cyklickým namáháním (Obr. 64). Tato selhání už ovlivňovala adhezni napětí pro kombinaci s č. 3 a 4. Této skutečnosti odpovídá úzká hysterezní plocha, která indikovala nízkou elasticitu a také menší pružnost při zatěžování a odlehčování.

Tab. 22: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy a zatížení pro nátěr 100 %.

Č. kombi-nace	Zvolené zatížení [N]	Posuv [mm]	Zatěžující práce [N.m]	Odlehčená práce [N.m]	Absorbovaná práce [N.m]	Hysterezní plocha smyčky [%]	Adhezní napětí [Mpa]
1	800N	2	1,34	0,77	0,57	42,52	1,10
2	900N	3	1,56	0,35	0,12	77,80	0,83
3	1000N	3,5	0,66	0,50	0,16	24,76	0,30
4	1100N	4	0,76	0,62	0,14	18,57	0,30



Obr. 64 Srovnání hysterezních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 100 %

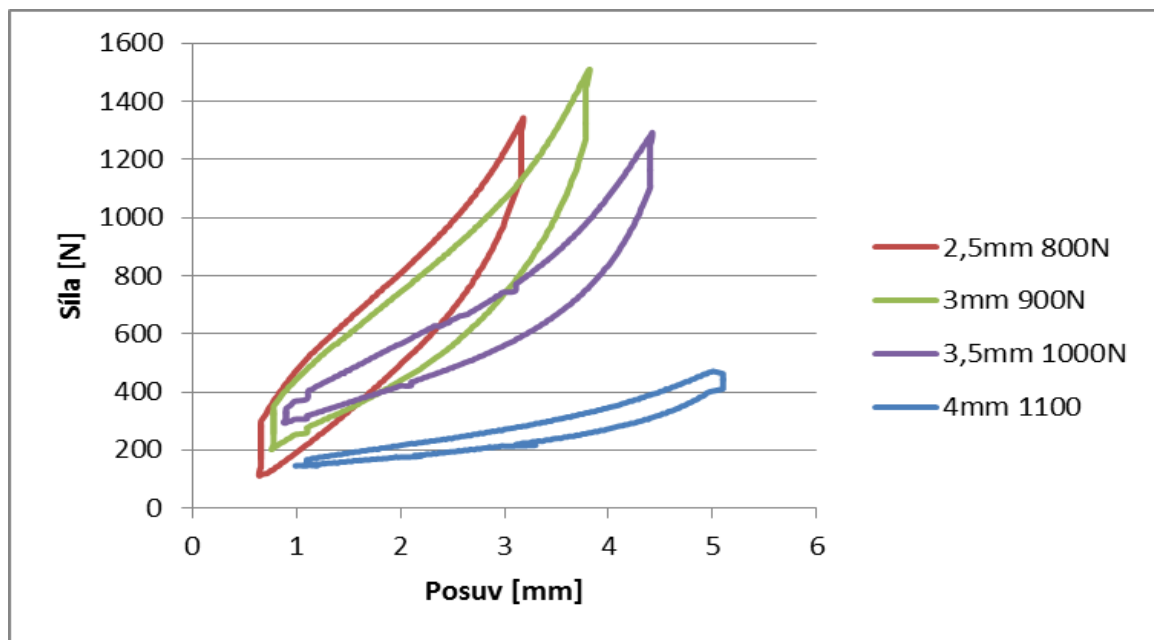
16.4.3 Výsledky hysterezních smyček pro pryžový pásek s nátěrem 75 %

Pryžový pásek s nátěrem 75 % byl pojený na lakovaných kovových destičkách.

Tab. 23: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy posuvu a zatížení pro nátěr 75 %.

Č. kombinace	Zvolené zatížení [N]	Posuv [mm]	Zatěžující práce [N.m]	Odlehčená práce [N.m]	Absorbovaná práce [N.m]	Hysterezní plocha smyčky [%]	Adhezní napětí [Mpa]
1	800N	2,5	1,80	1,30	0,67	33,85	1,15
2	900N	3	2,55	1,75	0,80	31,31	1,36
3	1000N	3,5	2,52	1,98	0,54	21,49	1,15
4	1100N	4	1,12	0,96	0,21	18,29	0,45

Výsledné hodnoty kombinací pro č. 1. a 2 měly totožný průběh, kdy rozdíl těchto hysterezních ploch činil 2,54 %. Kombinace č. 2 s posuvem 3 mm vykazovala větší elasticitu (Obr. 65). Adhezní napětí bylo zachováno bez vzniku porušení. Při zvětšení posuvu na 3,5 mm a zatížení silou 1000 N došlo k mírnému popraskání prostřední části nátěru a hysterezní křivka se zmenšila o 21,49 %. Spoj, který byl pojen na kovovou destičku, již vykazoval nižší přilnavost a pružnost. Při poslední kombinaci č. 4, která byla zatížena silou 1100 N a posuvem 4 mm, již došlo ke vzniku trhlinek při protažení a to do té míry, až se pryžový pásek s nátěrem protrhl z kovu v prostřední části. Plocha hysterezní křivky se zmenšila o 18,29 %, tj. ztracená energie.



Obr. 65 Srovnání hysterezních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 75 %

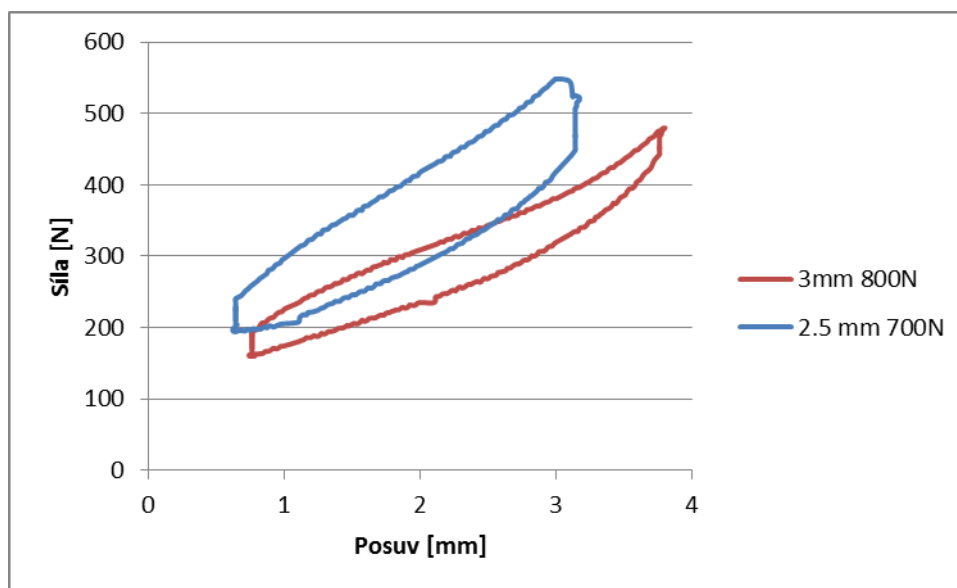
16.4.4 Pryžový pásek s nátěrem 50% pojený na kovových destičkách

Pryžový pásek s nátěrem 50 % byl pojený na lakovaných kovových destičkách.

Tab. 24: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy posuvu a zatížení pro nátěr 50 %.

Č. kombinace	Zvolené zatížení [N]	Posuv [mm]	Zatěžující práce [N.m]	Odlehčená práce [N.m]	Absorbovaná práce [N.m]	Hysterezní plocha smyčky [%]	Adhezní napětí [Mpa]
1	700	2,5	0,99	0,73	0,26	26,52	0,63
2	800	3	0,98	0,83	0,15	15,46	0,52

Na Obr. 66 lze pozorovat průběhy hysterezních křivek v závislosti na adhezním napětí. Při zvýšení zátěžové síly dochází u obou křivek k zúžení hysterezní plochy a začínají se objevovat na krajním místě první trhlinky, které vykazují selhání CM, tj. selhání mezi adhezivem a kovem. To může být zapříčiněno buď špatným přitlakem nebo se nedodrželá daná teplota při navulkanizování.



Obr. 66 Porovnání hysteretických křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 50 %

16.4.5 Pryžový pásek s nátěrem 25 % pojený na kovových destičkách

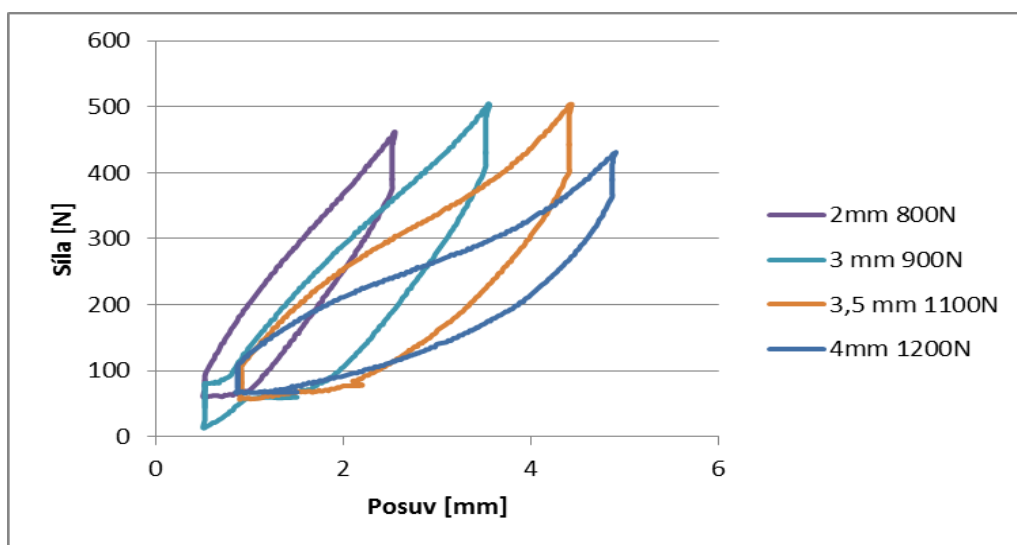
Pryžový pásek s nátěrem 25 % byl pojený na lakovaných kovových destičkách.

Tab. 25: Výsledné hodnoty z hysteretní smyčky při změně dráhy posuvu a zatížení pro nátěr 25 %.

Č. kombinace	Zvolené zatížení [N]	Posuv [mm]	Zatěžující práce [N.m]	Odlehčená práce [N.m]	Absorbovaná práce [N.m]	Hysteretní plocha smyčky [%]	Adhezní napětí [Mpa]
1	800	2	0,56	0,35	211,36	37,59	0,45
2	900	3	0,97	0,47	505,89	52,00	0,51
3	1100	3,5	1,11	0,56	494,37	46,96	0,50
4	1200	4	1,04	0,63	410,55	39,29	0,42

Na Obr. 67 jsou znázorněny hysteretní tvary pro různé kombinace zatížení a posuvu pro vzorky s 25% nátěrem na pryžovém vzorku. Kombinace č. 2 vykazovala vyšší hodnotu hysteretní plochy, narůstající elasticitu a také absorbovanou energii oproti předcházející kombinaci č. 1. Tvar hysteretní smyčky u kombinace č. 3, při které byl vzorek zatížen 1100 N, udává, že zde nedocházelo k výraznému zvýšení hysteretní plochy odpovídající

její absorbované ploše, tudíž nevznikaly trhliny na povrchovém nátěru. U poslední kombinace č. 4 je patrné, že plocha hysterezní smyčky má podobný průběh jako kombinace č. 1, avšak při postupném zatížení docházelo k mírnému popraskání nátěru pryž-kov a souběžně měla křivka klesající tendenci. Při zvětšení délky posuvu by vznikala deformace adhezni síly.



Obr. 67 Srovnání hysterezních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pás s nátěrem 25 %

16.4.6 Diskuze k výsledkům

Bylo změřeno celkem 5 pryžových pásků s nátěrem 25 %, 50 %, 75 % a 100 % pojených mezi lakované destičky na bázi epoxidových pryskyřic. Na základě získaných údajů z měření adhezních sil (Tab. 21) byly zkušební hodnoty použity jako podklad pro hodnocení adhezních sil a jejich chování v nedestruktivním způsobu pro nadcházející měření.

Hodnoty vypočtené z tvarů hysterezních smyček ukázaly, že největší vliv na chování spojů měla změna dráhy posuvu s postupným zatížením. Bylo potvrzeno (z Tab. 21), že pro optimální vyhodnocení adhezních napětí pro různé procentuální zastoupení s nedestruktivním způsobem by bylo vhodné zvolit zatěžující sílu v intervalu 1 až 1,1 KN a dráha posuvu 3,5 mm

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit pevnost a pružnost adhezních sil a posoudit kvalitu spoje pro různé typy pryží nastříkaných dvojsložkovým systémem primer a cover, které byly pojeny na kovové destičky s odlišnou povrchovou úpravou a drsností.

Ve vlastní experimentální části byly nejdříve vyhodnoceny vulkanizační charakteristiky pro 4 typy nezvulkanizovaných směsí na RPA, kde se získaly hodnoty optimálního vulkanizačního stupně. Z naměřených nezvulkanizovaných směsí s nejlepšími vlastnostmi pro pojení byl pryžový pásek s označením 102B s velice mírnou reverzí. Naopak jako vzorek s nejhoršími vlastnostmi byl označen vzorek CK1, u něhož byl prokázán viditelný negativní dopad při následném pojení na všechny typy kovových destiček, z důvodu větší zpracovatelské bezpečnosti a tudíž i delší doby vulkanizačního cyklu.

Na základě získaných parametrů vulkanizačních charakteristik z předešlých měření byla provedena vulkanizace na ručním lisu pro 4 druhy zvulkanizovaných pryžových plotniček nastříkaných dvojsložkovým typem primere a cover na bázi rozpouštědel, které se pojily na nelakovaných a lakovaných kovových destičkách. Po post-vulkanizaci na kovových destičkách s odlišnou povrchovou úpravou se pro 3 druhy pryžových plotniček, a to konkrétně 102B, 1791B a 1739A, vytvořil slabý až silný spoj. Tyto rozdíly byly dány nízkým přítlakem ručního lisu, špatnou předúpravou kovů a pryžových pásek avšak i nátěrem nastříkaným na pryžové pásy, který byl znečištěn prachem. Naproti tomu však pryžová plotnička s označením CK1 při pojení na všechny povrchy kovových destiček nevykazovala žádné spojení. Lze tedy konstatovat, že u tohoto vzorku byl zvolen nesprávný dvojsložkový systém, neboť jeho základní kaučuková směs byla ryze syntetická a nepolární. Dalším příčinou nevytvoření spoje byla skutečnost, že zmiňovaná směs nebyla vulkanizovaná sírou ale peroxidem, kdy ovšem v práci použité dvousložkové systémy primer a cover na bázi rozpouštědel reagují pouze se směsmi vulkanizovanými sírou. Pro lepší zjištění této směsi by bylo dobré provést analýzu složení, aby bylo možno zvolit správný dvojsložkový systém.

Další kapitolou experimentální části bylo vizuální hodnocení jednotlivých typů vad a pevnosti adheze pomocí odlupovací zkoušky u spoje pryž-epoxidová pryskyřice (prášková barva lakovaná na kov). Post-vulkanizace pryžové plotničky 102B vykazovala nejvyšší adhezní sílu na všech pojených površích, což bylo dáno vyšším podílem přírodního kaučuku, kdežto vzorků 1791B, 1739A bylo dosaženo značně nižší pevnosti adheze, jelikož mě-

ly vyšší podíl syntetického kaučuku. U pryžové plotničky CK1 mající nulovou tvorbu spoje nebylo možné vyhodnotit adhezní sílu, z toho důvodu se hodnotila pouze vizuálně.

Podíl zastoupení jednotlivých vad pro 4 typy pryžových plotniček bylo následující. Selhání RC (rozhraní mezi pryží a adhezivem) a CM (rozhraní podkladového nátěru na kov) byly nejčastější. CM a RC bylo způsobeno nesprávně zvoleným přitlakem na ručním lisu a nevhodnou předúpravou kovového povrchu, neboť měl ulpělé nečistoty, jako jsou prach a vlhkost, a také měl poničený nátěr při vystřihávání z pryžového pásku. U směsi CK1 byly pouze vady RC a CM, což indikuje špatně zvolený dvojsložkový systém na bázi rozpouštědel. Po vizuální stránce je možné konstatovat, že po stránce pojivosti byla pryžová směs 102B nejstabilnější. Pro eliminaci vzniklých selhání je tedy nutné dodržet správný technologický postup, předúpravu kovového a pryžové povrchu, a v neposlední řadě i správné namíchání a ředění nátěru při pojení mezi pryží a kovem.

Poslední část experimentálního měření byla věnována navržení statické hysterezní zkoušky, jejíž cílem bylo určit rozdíl adhezních sil a chování spoje pro jednotlivé pryžové pásy s procentuálním zastoupením 25 %, 50 %, 75 % a 100 % nátěru nedestruktivním způsobem. Výpočet hysterezních křivek byl proveden matematicky. Bylo zjištěno, že na základě měření zkušebních vzorků a následného vyhodnocování adhezní síly by se měla volit pevnost při zatížení v rozmezí 1 až 1,1 KN se vzdáleností 3 mm.

Pro exaktní vyhodnocení vlivu adhezních napětí pro nátěry dvojsložkového systému na bázi rozpouštědel s procentuálním zastoupením je zapotřebí využít daleko větší četnosti měření, kde by byla získána lepší představa a predikovala by se nejen chování spojovacích prostředků ale i adhezní napětí, tj. kdy dochází k protržení vazeb mezi zkušebními vzorky nedestruktivním způsobem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALÁČ, J., 2. *kaučuky* [online]. [21.6.2010] [cit. 7-10-2013]. Dostupné z WWW: <<http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/kaucuky.pdf>>
- [2] CASTANO, N., de GREIFF, M., NARANJO, C. A., *Applied Rubber Technology*, Hanser Verlag, München, 2001, 128 p., ISBN 9781569903292
- [3] ŠVORČÍK, V., *polymery* [online]. [19.10.2009] [cit. 7-10-2013]. Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/ip/osebni/svorcik/Polymery.pdf>>
- [4] BARUM CONTINENTAL, Gumárenská technologie. Barum Otrokovice 2008. 100 p
- [5] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Naturkautschuk: Wikipedia foundation, last modified on 5.9.2013 [cit. 7-10-2013]. Dostupné z WWW <<http://de.wikipedia.org/wiki/Naturkautschuk>
- [6] WHITE, R. J., SADHAN, K D., NASKAR, K., *Rubber technologist's handbook*, iSmithers Rapra Publishing, Shrewsbury, 2009, 452 p., ISBN: 9781847351005
- [7] KOMÁREK, Z. *Přehled výroby pryže*, SNTL Praha, 1973, 326 p., ISBN: 0461373
- [8] Transport Information Service, “*Natural Rubber*” [online]. [17.6.2013] [cit. 7-10-2013]. Dostupné z WWW: <http://www.tisgdv.de/tis_e/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm>
- [9] DUCHÁČEK, V., HRDLIČKA Z., *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*, VŠCHT Praha, 2009, 199 p., ISBN: 978-80-7080-713-2
- [10] CIESELSKI, A., *An Introduction to Rubber Technology*, Rapra Technology, Shrewsbury, 1999, 189 p., ISBN: 9781859571507
- [11] *Elastomer Engineering Guide* – James Walker, “*Elastomer Engineering Guide*” [online]. [20.9.2012] [cit. 7.10.2013]. Dostupné z WWW: <http://www.jameswalker.biz/en/pdf_docs/148-elastomer-engineering-guide>
- [12] REIFF Technische Produkte, *Elastomer Engineering Guide* [online]. [22.7.2004] [cit. 7-10-2013]. Dostupné z WWW: <<http://www.reiff-tp.de/uploads/media/Kap11.pdf>>

- [13] Polymerové typy, *kaučuk* [online]. [cit 7-10-2013] Dostupné z WWW: <<http://www.resinex.cz/polymerove-typy/natural-rubber.html>>
- [14] DVOŘÁK, Z., *Zpracovatelské procesy gumárenské* [online]. [7.5.2013] [cit 7-10-2013] Dostupné z WWW: <<http://www.utb.cz/file/41195/>>
- [15] MALÁČ, J., 4. *směsi* [online]. [21.6.2010] [cit. 7-10-2013] Dostupné z WWW: <<http://www.home.karneval.cz/0323339201/>>
- [16] HOLUB, J., *Pryž jako konstrukční materiál*, SNTL Praha, 1965, 268 p.
- [17] MARK, J.E., ERMAN, B., *Science and Technology of Rubber*, 3rd Ed., Elsevier Academic Press, Boston, 2005, 768p , ISBN 9780080456010
- [18] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Vulkanisation: Wikipedia foundation, last modified on 1.10.2013 [cit 7.10.2013]. Dostupné z WWW: <<http://de.wikipedia.org/wiki/Vulkanisation>>
- [19] KRÁLOVÁ, A., KLIMÁNEK, L., *Zpracování polymeru*, SNTL Praha, 1986, 272 p.
- [20] CHANDRASEKARAN, V. C., *Rubber as a Construction Material for Corrosion Protection: A Comprehensive Guide for Process Equipment Designers*, Wiley, Hoboken, 2010, 312 p, ISBN 9780470625941
- [21] MALÁČ, J., 5. *Procesy* [online]. [21.6.2010] [cit. 7-10-2013].Dostupné z WWW: <<http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/procesy.pdf/>>
- [22] KREIBICH, V., HOCH, K., *Koroze a technologie povrchových úprav*, ČVUT
- [23] ORBONS, G, *Gluing guide* [online]. [18.5.2010] [cit 7-10-2013]. Dostupné z WWW: <http://www.dsm.com/en_US/downloads/dep/Gluing_Guide.pdf>
- [24] KRAUS, V., *Povrchy a jejich úpravy* [online]. [8.7.2006] [cit 7-11-2013]. Dostupné z WWW: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>>
- [25] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Epoxidharz: Wikipedia foundation, last modified on 2.11.2013 [cit 12.11.2013]. Dostupné z WWW: <<http://de.wikipedia.org/wiki/Epoxidharz>>
- [26] Organická chemie, *Epoxidové pryskyřice* [online]. 2013c [cit 12.11.2013] Dostupné z WWW: <http://www.mojechemie.cz/Soubor:Epoxidove_priskyrice.png>

- [27] OK Color, *Práškové barvy* [online] 2013c [cit 12.11.2013]. Dostupné z WWW:<<http://www.okcolor.cz/cz/praskove-barvy/>>
- [28] ŠŮLA, M., *Pojení pryže s kovem*, ČSPCH Zlín, 63 p., ISBN 978-80-02-01934-3
- [29] COGNARD, P. *Handbook of Adhesives and Sealants*, Elsevier, Burlington, 2005, 512 p, ISBN 9780080447087
- [30] RAPRA TECHNOLOGY LIMITED, *Rubber Bonding 2006: Düsseldorf, Germany, 21-22 February 2006*, Rapra Technology, Shawbury, 2006, 200 p, ISBN 1859575552
- [31] OSTEN, M., *Práce s lepidly a tmely*, SNTL Praha, 1982, 288 p.
- [32] DAŘOUREK, K., *Adhezní síly v kompozitech* [online]. [15.9.2010] [cit. 5-11-2013]. Dostupné z WWW: <http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NKM/02adheze.pdf>
- [33] TESAŘOVÁ, D., *Plasty, lepidla a nátěrové hmoty*, LDF Brno. Skripta, 2009. 52 p
- [34] LANGMAIER, F., *Adheze a adheziva*, FT VUT Zlín. Skripta, 1999, 106 p
- [35] KREIBICH, V., *Teorie a technologie povrchových úprav*, ČVUT Praha, 1999, 89 p
- [36] KREIBICH, V., *Povlaky z práškových plastů bezchybně* [online]. 2013c [cit 12.11.2013]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne.html>>
- [37] CROWTHER, G. B., *Handbook of Rubber Bonding*, iSmither Rapra Publishing, Shawbury, 2001, 317 p., ISBN 1859573940
- [38] STULL, D. B., *Perfomance of rubber – to substrate – adhesives and coatings*, Rubber world, Vol 242, No. 1, p. 18 – 20, 2010.
- [39] Lord, *LORD Chemlok® Rubber-to-Substrate Adhesives* [online] 2013c [cit 12.11.2013]. Dostupné z WWW:<<http://www.lord.com/emea/markets/energy/wind/rubber-to-substrate-adhesives> >
- [40] Automotive systems, *speciality adhesives*, [online] [2.7.2012] [cit 12.11.2013]. Dostupné z WWW:<http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08a4/0901b803808a4671.pdf?filepath=automotive/pdfs/noreg/299-51993>

pdf&fromPage=GetDoc>

- [41] ASTM D – 429. *Standard Test Methods for Rubber Property—Adhesion to Rigid Substrates*. USA, 2008, 22 p
- [42] Shuniteststeel, *38mn61*, [online] 2014c [cit 13.3.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.shuniteststeel.com/38mn61-11271340-hollow-bar-mechanical-tubing-hot-rolled/>>
- [43] Alpha Technologies, *RPA 2000*, [online] 2014c [cit 13.3.2014]. Dostupné z WWW:<<http://www.alpha-technologies.com/rubber-process-analyzer-rpa-2000-dynamic-mechanical-rheological-tester>>
- [44] Rubber-foundation, *Natuurebber 23* [online] 2014c [cit 13.3.2014]. Dostupné z WWW:<http://www.rubber-foundation.org/docu/Natuurrubber_23.pdf>
- [45] Labor machine, *Testometric M350-5 AT* [online] 2014c [cit 13.3.2014]. Dostupné z WWW: <http://www.labor-labor.cz/zkusebni_stroje/15_model-at/30_m350-5-at/>
- [46] ČSN 62 1461. *Př.ž. Metoda stanovení soudržnosti mezi vrstvami při separaci*. Praha, 1989, 12 p
- [47] Festigkeitsprüfung - Amic, *Tiratest 28100* [online] 2014c [cit 21.4.2014]. Dostupné z WWW: <http://www.amic-berlin.de/cms/front_content.php?idcat=11>
- [48] FAMILY, A., *Hysteresis and Rubber Bands* [online]. [13.5.2006] [cit 22.4.2014]. Dostupné z WWW: <http://www.madphysics.com/exp/hysteresis_and_rubber_bands.htm>
- [49] FIALKA, M., *Diferenciální počet funkcí více proměnných s aplikacemi*, UTB Zlín, 2008, 145 p. ISBN 9788071386654

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

RSS		Ribbed Smoked Sheets
USS		UnSmoked Sheets
PC		Pale Crepe
ADS		Air Dried Sheets
SBR		Butadien-styrenový kaučuk
BR		Butadienový kaučuk
IIR		Butyl kaučuk
EPM		Ethylen-propylenový kaučuk
EPDM		Ethylen-propylenový terpolymer kaučuk
DSK		Počet dílů látky na sto dílů kaučuku
EP		Epoxidová pryskyřice
Primer		Nátěrová hmota
PV		Postvulkanizace
ASTM		American Society for Testing and Materials
RC	[%]	Vada pryže a spojovacího prostředku
CM	[%]	Vada spojovacího prostředku a kovového povrchu
CP	[%]	Vada spojovacího prostředku a nátěrové hmoty
R	[%]	Vada pryže
SB	[%]	Selhání mimo spoj pryž - kov
R_a	[N/mm ²]	Hodnota soudržnosti pryže s kovem tahem
F_a	[N]	Maximální síla při přetržení
A_a	[mm ²]	Plocha zkušebního tělesa
R_b	[N/mm]	Hodnota soudržnosti pryže s kovem odlupováním
F_b	[N]	Maximální síla při přetržení

b	[mm]	Šířka zkušební vzorku
MEK		Methyl-ethyl- keton
nPK		Počet pík
S'	[dN.m]	Složka elastického krouticího momentu
M_L	[dN.m]	Nejmenší kroutící moment
M_H	[dN.m]	Nejvyšší kroutící moment
t_{s2}	[min]	Bezpečnostní doba navulkanizace
t_{90}	[min]	Optimum vulkanizace
f	[Hz]	Frekvence
\bar{x}		Aritmetický průměr
\tilde{x}		Medián
s		Směrodatná odchylka
W_{zat}	[N.m]	Práce
F_{zat}	[N]	Síla při zatížení
σ	[MPa]	Adhezní napětí
s	[m]	Posuv dráhy
A	[m ²]	Plocha

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Základní rozdělení polymerů [3]</i>	13
<i>Obr. 2– Řetězec přírodního kaučuku [4]</i>	14
<i>Obr.3- Čepování latexu ze stromu [6]</i>	14
<i>Obr. 4 – Uzené listy</i>	15
<i>Obr. 5 – Světlá krepa</i>	15
<i>Obr. 6 Tvorba prostorové sítě v průběhu vulkanizace [10]</i>	20
<i>Obr. 7 Vulkanizační křivka [12,14]</i>	22
<i>Obr. 8 Uzavřená forma [21]</i>	24
<i>Obr. 9 Vstříkovací forma [21]</i>	24
<i>Obr. 10 Epoxidová pryskyřice [26]</i>	27
<i>Obr. 11 Stabilizační tyč potažená práškovou barvou</i>	27
<i>Obr. 12 Pryžový díl</i>	28
<i>Obr. 13 Schéma spojení pryže s kovem mechanickým způsobem [30]</i>	29
<i>Obr. 14 Schéma spojení pryže s kovem vulkanizačním způsobem [30]</i>	30
<i>Obr. 15 Znázornění adhezí a kohezí síly mezi lepidlem a adherentem</i>	31
<i>Obr. 16 – Schéma povrchového napětí, jakožto síly potřebné ke zvětšení povrchu obvodu o jednotku, a povrchové energie, jakožto energie potřebné ke zvětšení plochy povrchu o jednotku, pro obecné těleso. [32]</i>	32
<i>Obr. 17 Ukázka smáčivosti na povrchu</i>	33
<i>Obr. 18 – Schéma smáčení</i>	33
<i>Obr. 19 – Smáčení povrchu kapalinami</i>	33
<i>Obr. 20 – Polarita látek, kdy (a) značí molekuly bez aktivních míst – nepolární, (b) Molekuly s aktivně negativními místy – pozitivně polární, (c) Molekuly s aktivně pozitivními místy – pozitivně polární, (d) Molekuly s aktivně pozitivními a aktivně negativními místy – pozitivně a negativně polární [31]</i>	35
<i>Obr. 21 Schéma van der Waalsovy interakce [29]</i>	36
<i>Obr. 22 Znázornění vzniku chemické vazby [29]</i>	36
<i>Obr. 23 Princip elektrického nanášení práškové barvy [36]</i>	39
<i>Obr. 24 Schéma principu tribostatického nabíjení práškového plastu [36]</i>	39
<i>Obr. 25 Schéma vulkanizačního procesu při pojení [37]</i>	40
<i>Obr. 26 Proplétání molekul rozpustných v rozpouštědel [30]</i>	45
<i>Obr. 27 Schéma polymerních micel Obr. 28 Schéma polymerních micel</i>	45

Obr. 29 Jednotlivé typy vad spojů [40]	46
Obr. 30 Ukázka vad typu RC a CM.	47
Obr. 31 Metoda A – zkouška tahem	48
Obr. 32 Metoda B – zkouška odlupování.....	49
Obr. 33 Ukázka jednotlivých typů selhání	51
Obr. 34 Opracované kovové destičky s různým opracováním ploch: a) nelakovaná destička, b) lakovaná destička bez zdrsnění, c) lakovaná destička zdrsněná smirkovým papírem, d) lakovaná destička zdrsněná laserem.	55
Obr. 35 Zvulkanizované pryžové plotničky: a) pryžová plotnička bez nástřiku, b) pryžová plotnička s nástřikem	57
Obr. 36 Návrh zkušebního tělíska dle ASTM D429 – B [41]	58
Obr. 37 Procentuální zastoupení nátěru pro	59
Obr. 38 Ruční lis	60
Obr. 39 Schéma měřicího reometru RPA 2000 [17]	62
Obr. 40 Schéma vulkanizační křivky [17]	62
Obr. 41 Testometric M350 [45]	63
Obr. 42 Upnutí zkušebního vzorku do upínací čelisti	64
Obr. 43 Ukázka vyhodnocení jednotlivých píků	65
Obr. 44 Univerzální zkušební zařízení [47]	66
Obr. 45 Upnutí vzorku na speciálním přípravku	67
Obr. 46 a) Typická hysterezní křivka, b) Pryžový pásek mezi kovovými destičkami zatížený cyklicky tahovou silou.....	68
Obr. 47 Ukázka grafu reprezentující hysterezní křivky	69
Obr. 48 Vulkanizační křivky pro zkoumané kaučukové směsi	71
Obr. 49 Ukázka selhání (RC) pryže CK1 s nelakovaným kovem po vulkanizaci.....	72
Obr. 50 Ukázka selhání (RC) pryže CK1 s lakovaným kovem po vulkanizaci	72
Obr. 51 Ukázka selhání (CM) pryže 102B s lakovaným kovem po vulkanizaci	73
Obr. 52 Ukázka selhání (RC) pryže 102B s lakovaným kovem po vulkanizaci	73
Obr. 53 Srovnání průměrných hodnot mediánu soudržnosti R_b pryží pojené s kovem na nelakovaných destičkách (Tab. 11)	76
Obr. 54 Srovnání jednotlivých vad vytvořených při zkoušce odlupování.....	77
Obr. 55 Srovnání průměrných hodnot mediánu soudržnosti R_b pryží pojené s kovem na nelakovaných destičkách (Tab. 13)	80

<i>Obr.56 Porovnání jednotlivých vad vzniklé při zkoušce odlupování.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 57 Porovnání průměrných hodnot mediánu soudržnosti R_b pryže pojené s kovem.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 58 Porovnání jednotlivých vad spojů zkoušce odlupování na lakovaných destičkách</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 59 Porovnání průměrných hodnot mediánu soudržnosti R_b pojené na lakovaných.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 60 Srovnání jednotlivých vad vzniklé při zkoušce odlupování</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 61 Porovnání celkových hodnot soudržnosti R_b u různých pryží pojené na nelakovaných a lakovaných kovových destičkách</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 62 Ukázka hysterenzní smyčky v závislosti síly na posuvu.....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 63 Porovnání hysterenzních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 100 %</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 64 Srovnání hysterenzních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 100 %.....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 65 Srovnání hysterenzních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 75 %.....</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 66 Porovnání hysterenzních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 50 %.....</i>	<i>100</i>
<i>Obr. 67 Srovnání hysterenzních křivek závislých na dráze posuvu pro pryžový pásek s nátěrem 25 %.....</i>	<i>101</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Porovnání výhod a omezení některých druhů syntetických kaučuků [13].....	17
Tab. 2: Dávkování vulkanizačního činidla v disk pro jednotlivé typy pryží [9,14]	23
Tab. 3: Ukázka doporučených hodnot tloušťky nátěru spojovacích systému [37].....	44
Tab. 4: Chemické složení kovové destičky [42].....	56
Tab. 5: mechanické vlastnosti kovových destiček poskytnuté výrobcem [42].....	56
Tab. 6: Obecné materiálové složení pryžových plotniček poskytnuté jejich dodavatelem.....	56
Tab. 7: Složení dvojsložkového systému na bázi organických rozpouštědel. [39]	57
Tab. 8: Technické parametry trhačího zařízení. [45].....	64
Tab. 9: Technické parametry trhačího zařízení Tiratest 28100. [47].....	66
Tab. 10: Hodnoty průběhu vulkanizační charakteristiky.....	71
Tab. 11: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem s opracovaným povrchem metodou brokování.....	75
Tab. 12: Vzhled povrchů nelakovaných destiček narušených při zkoušce odlupováním.....	78
Tab. 13: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s kovem s opracovaným povrchem metodou brokováním.....	79
Tab. 14: Vzhled povrchů nelakovaných destiček narušených při zkoušce odlupováním.....	81
Tab. 15: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s lakovaným kovem bez povrchové úpravy a zdrsňeným laserem	83
Tab. 16: Vzhled povrchů lakovaných destiček narušených při zkoušce odlupováním.	86
Tab. 17: Výsledky hodnot soudržnosti pryže s lakovaným kovem zdrsňeným smirkovým papírem a laserem	87
Tab. 18: Vzhled povrchů lakovaných destiček narušených při zkoušce odlupováním.	89
Tab. 19: Naměřené a vypočtené hodnoty soudržnosti pro různé druhy pryže s nelakovaným a lakovaným kovem s různou povrchovou úpravou.	90
Tab. 20: Zvolené zatížení a dráha posuvu	93
Tab. 21: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy posuvu a zatížení	95
Tab. 22: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy a zatížení pro nátěr 100 %.....	97

Tab. 23: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy posuvu a zatížení pro nátěr 75 %	98
Tab. 24: Výsledné hodnoty z hysterezní smyčky při změně dráhy posuvu a zatížení pro nátěr 50 %	99