

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Bc. Štěpán Havelka

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Optimalizace lepení střešních dílů autobusů- SOR Libchavy

Štěpán Havelka

Diplomová práce
2013

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Štěpán Havelka**
Osobní číslo: **D11840**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Optimalizace lepení střešních dílů autobusů - SOR Libchavy**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í : .

- 1) Analýza současného stavu
- 2) Praktická část - modifikace technologického postupu; testy adheze a pevnosti lepených spojů
- 3) Ekonomické zhodnocení a přínos pro praxi

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

PETRIE, Edward M. Handbook of Adhesives and Sealant. 2nd. ed. New York : McGraw-Hill, 2007. 1077 s. ISBN 978-0-07-147916-5.

PETERKA, Jindřich. Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Vydání první. Praha : SNTL, 1980. 792 s.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Švanda, Ph.D.**

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2013**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

Ve Březí dne 3. 4. 2013

Štěpán Havelka

Na tomto místě bych rád poděkoval především svým rodičům za podporu během mého studia na Univerzitě Pardubice. Dále bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Pavlu Švandovi, za jeho podnětné rady při zpracování této práce. Mé poděkování patří také konzultantovi mé bakalářské práce, panu Ing. Tomáši Halamíkovi, MBA, z firmy SIKA CZ za poskytnutí odborných rad a materiálů v oboru lepení. V neposlední řadě bych rád poděkoval technologovi, panu Ing. Vojtěchu Jarošovi z firmy SOR Libchavy za zaslání do problematiky lepení střešních panelů u autobusů SOR a za přípravu zkušebních vzorků. Tato diplomová práce vznikla v rámci řešení projektu „IVINTEP - Inženýrské vzdělávání jako interakce teorie a praxe“, reg. č. CZ.1.07/2.2.00/15.0352

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem optimální lepicí technologie na lepení střešních panelů při výrobě autobusů v podmínkách SOR Libchavy.

Cílem je navrhnout takové řešení, které je ekonomicky výhodnější než stávající.

Klíčová slova

lepený spoj, pevnost, úspora, experiment

Title

Bonding optimization of the roof parts of buses - SOR Libchavy

Annotation

This diploma thesis deals with designing of the optimal adhesive bonding technology for the roof panels in the manufacture of buses in terms of SOR Libchavy.

The aim is to design a solution that is more economical than the current one.

Keywords

glued joint, strength, saving, experiment

Obsah

Seznam ilustrací a tabulek.....	10
0 Úvod	13
1 Základní pojmy.....	14
1.1 Adheze.....	14
1.2 Koheze.....	15
1.3 Smáčivost	15
1.4 Adhezivo	16
1.5 Adherend	16
1.6 Porušení lepeného spoje	16
1.7 Výhody a nevýhody použití lepení	17
2 Teorie lepení.....	18
3 Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje	20
3.1 Vhodné lepidlo	20
3.2 Úprava lepených ploch.....	20
3.3 Tloušťka vrstvy lepidla	21
3.4 Typ zatěžování	22
3.4.1 Výpočet pevnosti lepených spojů.....	23
3.5 Konstrukce lepených spojů	24
3.6 Doba vytvrzení lepidla	26
4 Přípravky firmy Sika	27
4.1 Sika Aktivátor- 205 (Sika Cleaner- 205) [7].....	27
4.2 Sika Primer- 206 G+P [7]	28
4.3 Sikaflex- 265+ Sika Booster [7].....	29
4.4 SikaForce- 7720 L45 [7]	31
5 Zkoušky lepidel a lepených spojů podle firmy Sika CZ	34
5.1 Převíslá smyková pevnost v tahu [6]	34
5.2 Housenková přilnavost [6]	35
5.3 Zkušební podmínky pro přilnavost housenky [6]	37
6 Analýza současného stavu	39
6.1 Lepené materiály	39
6.2 Postup lepení	39
6.2.1 Očištění lepených ploch	39
6.2.2 Zvýšení přilnavosti lepených ploch.....	40

6.2.3	Aplikace lepidla.....	41
6.2.4	Slepení dílů střechy	42
7	Experimentální část	43
7.1	Lepené materiály	43
7.2	Příprava vzorků	43
7.3	Zkouška přepislé smykové pevnosti v tahu pro Sikaflex- 265	45
7.3.1	1. skupina vzorku	45
7.3.2	2. skupina vzorků	47
7.3.3	3. skupina vzorků	48
7.3.4	4. skupina vzorků	50
7.4	Adhezní zkoušky pro Sikaflex- 265	52
7.4.1	Adhezní zkoušky na ocelovém plechu	52
7.4.2	Adhezní zkoušky na laminátu	53
7.5	Zkouška přepislé smykové pevnosti v tahu pro SikaForce- 7720 L45 .	54
7.5.1	1. skupina vzorků	55
7.5.2	2. skupina vzorků	56
7.5.3	3. skupina vzorků	58
7.5.4	4. skupina vzorků	60
8	Ekonomické zhodnocení	63
8.1	Výpočet pevnosti.....	63
8.2	Porovnání stávající technologie lepení s technologií SIKA.....	65
9	Vyhodnocení.....	67
10	Závěr	68
11	Použitá literatura	69

Seznam ilustrací a tabulek

Obr. 1 - vztah lepidla k lepenému materiálu [1]	14
Obr. 2 - řez lepeným spojem [6]	15
Obr. 3 - druhy smáčení povrchu lepidlem [4].....	16
Obr. 4 - základní druhy porušení lepeného spoje [5].....	16
Obr. 5 - molekuly kapaliny [1]	19
Obr. 6 - závislost mezi tloušťkou vrstvy lepidla a pevnosti spoje ve smyku [6].....	21
Obr. 7 - typy namáhání lepených spojů [6]	22
Obr. 8 - namáhání lepeného spoje na smyk [1]	22
Obr. 9 - smykové zatížení lepeného spoje [6]	23
Obr. 10 - konstrukční možnosti plochých a koutových spojů [1].....	24
Obr. 11 - vliv délky přeplátování spoje na nosnost a pevnost ve smyku [1]	25
Obr. 12 - alternativní způsoby spojení lepených dílů[6]	26
Obr. 13 - nárůst pevnosti při různých podmínkách [6].....	26
Obr. 14 - technická data Sika Aktivátoru [7].....	27
Obr. 15 - technická data Sika Primeru- 206 G+P [7].....	28
Obr. 16 - technická data Sikaflex- 265+ Sika Booster [7].....	29
Obr. 17 - závislost pevnosti na času vytvrzování [7].....	30
Obr. 18 - doporučená velikost housenky [7].....	31
Obr. 19 - technická data SikaForce- 7720 L45 [7]	32
Obr. 20 - zkušební vzorek [6]	34
Obr. 21 - zkušební vzorek včetně formy [6].....	35
Obr. 22 - adhezní zkouška [6].....	36
Obr. 23 - standardní skladovací podmínky [6]	37
Obr. 24 - standardní skladovací cykly [6].....	38
Obr. 25 - konečná podoba slepené střechy	39
Obr. 26 - technická data přípravku Dinitrol 520 [9].....	40
Obr. 27 - krycí laminátový plášť připravený k lepení	40
Obr. 28 - technická data přípravku Dinitrol multiprimer 550 [9].....	41
Obr. 29 - technická data přípravku Dinitrol 515 A/B [9]	41
Obr. 30 - aplikace lepidla na nosný rám střechy pomocí pneumatických pistolí	42
Obr. 31 - speciální přípravek k lepení střechy	42
Obr. 32 - slepené vzorky zatížené lisovací silou	44

Obr. 33 - vzorky po absolvování testovacího prostředí	44
Obr. 34 - 1. skupina vzorků	45
Obr. 35 - průběh trhací zkoušky u 1. skupiny vzorků.....	46
Obr. 36 - výsledky z trhací zkoušky pro 1. skupinu vzorků	46
Obr. 37 - 2. skupina vzorků	47
Obr. 38 - průběhy trhací zkoušky u 2. skupiny vzorků.....	47
Obr. 39 - výsledky z trhací zkoušky pro 2. skupinu vzorků	48
Obr. 40 - příklad kohezního lomu.....	48
Obr. 41 - 3. skupina vzorků	48
Obr. 42 - průběhy trhací zkoušky u 3. skupiny vzorků.....	49
Obr. 43 - výsledky z trhací zkoušky pro 3. skupinu vzorků	49
Obr. 44 - smíšený lom na vzorku 3.4.T	50
Obr. 45 - 4. skupina vzorků	50
Obr. 46 - narušení základního materiálu na vzorku 4.7M	50
Obr. 47 - průběhy trhací zkoušky u 4. skupiny vzorků.....	51
Obr. 48 - výsledky z trhací zkoušky pro 4. skupinu vzorků	51
Obr. 49 - adhezní zkoušky na ocelovém plechu	52
Obr. 50 - detail vzorku s > 95% kohezním porušením	53
Obr. 51 - adhezní zkoušky na laminátu	53
Obr. 52 - vytrhaná vlákna z laminátu	54
Obr. 53 - 1. skupina vzorků	55
Obr. 54 - průběhy trhací zkoušky u 1. skupiny vzorků.....	55
Obr. 55 - výsledky z trhací zkoušky pro 1. skupinu vzorků	56
Obr. 56 - adhezní porušení na vzorku 1.6T	56
Obr. 57 - 2. skupina vzorků	57
Obr. 58 - průběhy trhací zkoušky u 2. skupiny vzorků.....	57
Obr. 59 - výsledky z trhací zkoušky pro 2. skupinu vzorků	58
Obr. 60 – smíšené porušení na vzorku 2.4T	58
Obr. 61 - 3. skupina vzorků	58
Obr. 62 - průběhy trhací zkoušky u 3. skupiny vzorků.....	59
Obr. 63 - výsledky z trhací zkoušky pro 3. skupinu vzorků	59
Obr. 64 - narušení základního materiálu na vzorku 3.7M	60
Obr. 65 - 4. skupina vzorků	60
Obr. 66 - průběhy trhací zkoušky u 4. skupiny vzorků.....	61

Obr. 67 - výsledky z trhací zkoušky pro 4. skupinu vzorků	61
Obr. 68 - adhezní porušení na vzorku 4.4T	62
Obr. 69 – hodnoty pevnosti při teplotě místnosti.....	62
Obr. 70 – ekonomické zhodnocení	66

0 Úvod

Lepení je jednou ze základních technologií nerozebíratelného spojování nejrůznějších materiálů (např. plastů, kovů, ...) skoro ve všech průmyslových odvětvích. Tato technologie spojování dílů prošla v poslední době velkým rozvojem a to hlavně v dopravním průmyslu. Ve srovnání s klasickými metodami spojování dílů (např. svařováním, pájením, nýtováním, šroubováním, ...) nabízí lepení mnoho výhod a dovoluje dosáhnout spoje různých tvarů a vlastností, které klasickými metodami spojování dílů jsou nedosažitelné.

Pevnost lepidla je oproti pevnosti kovů malá. Podle lepených materiálů se vybírá takové lepidlo, které lepené díly kvalitně a pevně spojí. Nelze ovšem očekávat, že jakékoliv lepidlo poskytne pevné spojení na různých materiálech. Univerzální lepidlo prostě neexistuje. Pevnost lepeného spoje také ovlivňuje úprava lepených ploch, která se může provádět mechanicky nebo pomocí různých aktivátorů a primerů.

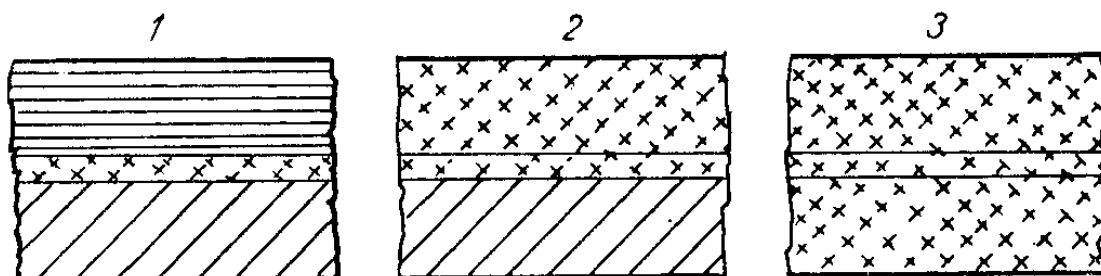
1 Základní pojmy

1.1 Adheze

Adheze je vzájemné přitahování dvou povrchů adhezními silami. Kdyby se dosáhlo přiblížení dvou tuhých materiálů na molekulární vzdálenost, což je méně než $3 \cdot 10^{-8} \text{ m}$, tak by se vyvolala taková vzájemná přitažlivost, že by nebylo potřeba použití lepidla. Tuto podmínku nelze prakticky splnit, protože kontaktní plochy by musely být absolutně rovné, souběžné a čisté. Další problém, který může nastat, i když máme povrch spojovaných součástí ideálně hladký a čistý, je znečištění povrchu stopami plynů a vodních par absorbovaných v jeho mikropórech.

Mezi pevnými látkami a tekutými nebo měkkými látkami vzniká adheze daleko snadněji, neboť kapalina se přizpůsobí povrchu pevné látky a dokáže z mikropórů povrchu vypudit většinu pohlcených plynů a par. Aby se z kapaliny stalo lepidlo a plnilo svoji funkci, tak musí lepené povrchy dobře smáčet a musí za určitých podmínek změnit skupenství z kapalného na pevné.

Rozlišujeme různé způsoby adheze, které mohou nastat. Závisí to na složení lepidla a lepených dílců. Je-li lepidlo a spojovaný materiál stejného složení, tak se jedná o autoadhezi jednostrannou nebo oboustrannou (Obr. 2.). [1]



1 — složení lepidla je odlišné od složení lepených dílců, běžný adhezní vztah;
2 — lepidlo a jedna z lepených ploch mají shodné chemické složení — jednostranná (částečná) autoadheze; 3 — lepidlo a oba lepené materiály mají shodné chemické složení — úplná autoadheze.

Obr. 1 - vztah lepidla k lepenému materiálu [1]

Pevnost lepeného spoje ovlivňuje nejen adheze lepidla k lepenému materiálu, ale i koheze, což je soudržnost filmu lepidla po vytvrzení nebo ztuhnutí. Hodnoty koheze závisí na složení filmu lepidla v konečné fázi lepení. [1]

1.2 Koheze

Koheze neboli soudržnost nebo tzv. vnitřní adheze je druhý hlavní činitel, který ovlivňuje kvalitu lepeného spoje. Souhrn sil, které drží jednotlivé molekuly lepidla (adheziva) pohromadě. Velikost koheze, velikost síly potřebné k odtržení jedné částičky od ostatních, udává tzv. kohezí energie. Hodnota koheze dále závisí na pevnosti spoje a dobrých mechanických vlastnostech lepidla.

Povrchové napětí, které se vyskytuje na povrchu kapalin, se také uplatňuje u lepidel, kde společně s viskozitou lepidla stanovují lepivost lepidla. Dále s kohezí souvisí tzv. tažnost lepidla neboli délka vlákna. Podle délky vlákna se lepidla dělí na krátká lepidla a dlouhá lepidla. Čím je lepidlo kratší, tím je nižší viskozita a větší povrchové napětí a naopak. [2]

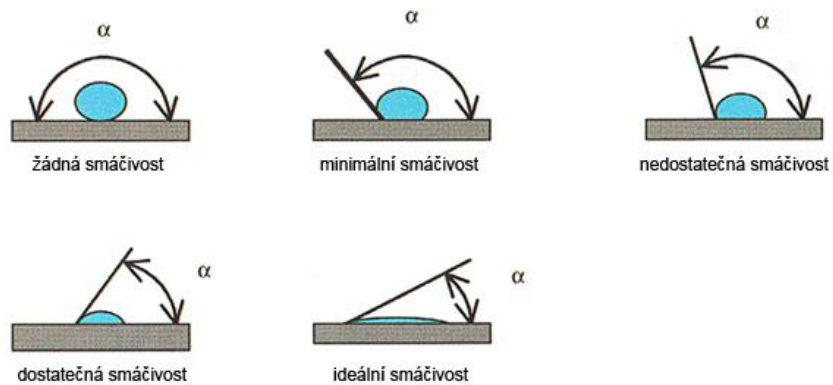


Obr. 2 - řez lepeným spojem [6]

1.3 Smáčivost

Smáčivost udává povrchové napětí lepidla. Kvalitní lepený spoj musí mít povrchové napětí lepených dílů vyšší než povrchové napětí lepidla. Poměr smáčení povrchu se měří pomocí okrajového úhlu α . Úhel α je svíráán mezi lepeným povrchem a povrchem lepidla. Se zmenšujícím se úhlem se zvyšuje smáčivost lepeného povrchu.

Nedostatečná smáčivost se projeví velkým okrajovým úhlem, pokud okrajový úhel překročí hodnotu 90° , změní se smáčivost v odpudivost. Proto je smáčivost jednou ze základních podmínek dobré lepivosti lepidla. Materiál se může dobře spojovat jen takovým lepidlem, které má vůči němu dobrou smáčivost. [2]



Obr. 3 - druhy smáčení povrchu lepidlem [4]

1.4 Adhezivo

Adhezivo neboli lepidlo je chemická látka, která utkvívá na povrchu spojovaných materiálů a slouží k jejich spojování. [1]

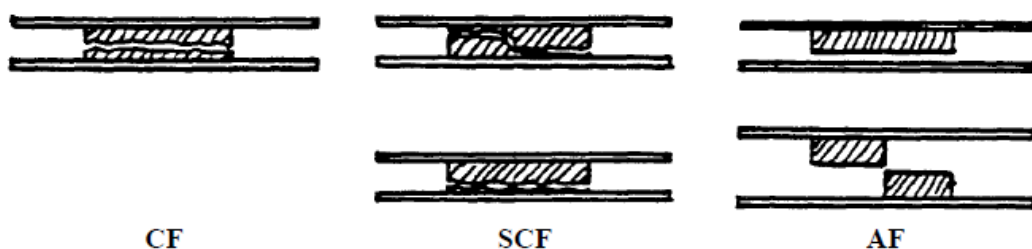
1.5 Adherend

Spojovaný materiál, na který je nanášeno lepidlo a jehož povrch se před lepením různě upravuje. [1]

1.6 Porušení lepeného spoje

U lepeného spoje můžou nastat čtyři základní způsoby porušení.

- Adhezní lom- lepidlo (adhezivo) se oddělí od lepeného povrchu (adherendu)
- Kohezní lom- dojde k porušení vrstvy lepidla. Adheze lepidla k lepenému povrchu je větší než koheze lepidla.
- Smíšený lom- jedná se o kombinaci předešlých porušení a uvádí se procentuální podíl jednotlivých typů porušení
- Lom adherendu- lepený spoj se poruší, ale k poruše dojde ve struktuře adherendu (laminát) [5]



CF- kohezní lom, SCF- kohezní lom na hranici substrátu, AF- adhezní lom

Obr. 4 - základní druhy porušení lepeného spoje [5]

1.7 Výhody a nevýhody použití lepení

Lepení se vyznačuje mnoha výhodami, ale i některými nevýhodami. Při rozhodování, jestli využít lepení, či klasické metody spojování materiálů, je třeba zvážit všechny výhody a nevýhody.

Výhody lepených spojů:

- lepení dovoluje spojovat stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku a vyrovnat jejich případné výrobní tolerance
- lepením je možné zhotovit vodotěsné i plynotěsné spoje
- použitím lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců
- lepený spojovaný materiál se nijak nedeformuje, nedochází k narušení vnitřní struktury materiálu a ovlivnění mechanických vlastností materiálu
- lepený spoj brání vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů
- lepený spoj zvyšuje tuhost a vzpěrnou pevnost konstrukce a tlumí vibrace
- lepením nezvyšuje hmotnost konstrukce
- lepené spoje se mohou povrchově upravovat nebo mohou zůstat průhledné
- lepené spoje mohou dosáhnout vysoké pevnosti, především při namáhání ve smyku, tahu a rázové pevnosti
- lepením není narušen estetický vzhled lepeného souboru
- zatížení a napětí se rozloží po celé ploše spoje a rovnoměrně se přenesou i statické a dynamické zatížení a nikde se nekonzcentruje, jako je tomu u šroubovaných a nýtovaných spojů [1]

Nevýhody lepených spojů:

- klade vysoké nároky na rovinnost a čistotu povrchu lepených materiálů
- u adherendů, se špatnými adhezními vlastnostmi, se musí povrch speciálně upravovat
- lepením se vytváří nerozebíratelné spojení
- lepené spoje jsou málo odolné na namáhání v odlupování
- životnost reaktivních lepicích směsí je časově omezena
- je nutné vytvrzení lepeného spoje, aby dosáhl maximální pevnosti
- lepené spoje jsou málo odolné vůči vyšším teplotám
- lepení v průmyslovém měřítku je náročné na vybavení pracoviště, neboť jsou potřeba nanášecí zařízení, přípravky, lis, atd. [1]

2 Teorie lepení

Teorie lepení je založena na molekulové struktuře, zajímá se vztahy molekul a jejich vzájemného působení a i o vztahy vyplývající z nadmolekulární struktury. S molekulovou strukturou souvisí síly, které se souhrmně označují jako adheze. Uplatňují se zde fyzikální síly, chemické vazby a mezimolekulární síly. V současnosti se nejvíce využívají tyto teorie adheze. [1],[3]

1. Teorie mechanická- ve dvacátých letech minulého století pánové McBain a D. G. Hopkins vyslovili teorii adheze. Tato teorie je založena na představě, že lepidlo nejprve pronikne do pórů a nerovností povrchu, kde po vytvrzení vytvoří mechanicky prolnutý systém. Systém podobný spojení velkého počtu miniaturních kuliček. Pro objasnění adheze k neporézním povrchům (kov, sklo) je tato teorie nepoužitelná. V dnešní době se tato teorie využívá jen ve specifických případech, jako např. adheze textilních vláken k pryžovým směsím či výroba překližek. [1]

2. Teorie elektrostatická- v letech 1948 až 1950 zjistili Derjagin, Krotovová a Morozovová, že přilnavost filmu lepidla závisí na rychlosti odtrhávání spoje. Hodnoty naměřené při odtrhávání spoje byly vyšší než účinky mezimolekulární přitažlivosti a zároveň byla pozorována emise elektronů. To vedlo k názoru, že při úzkém kontaktu dvou materiálů dochází k přechodu elektronů. Jedna hraniční vrstva se stává chudší a druhá bohatší na elektrony, což vede k vytvoření dvojvrstvy, která funguje jako mikrokondenzátor. Rozdílně nabitě desky se přitahují a při oddálení se vzniklý potenciálový rozdíl buď vybijí, nebo vyzáří jako elektronová emise. Nedokázalo se dokázat souvislost mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností odpovídajících adhezních spojení. [1],[3]

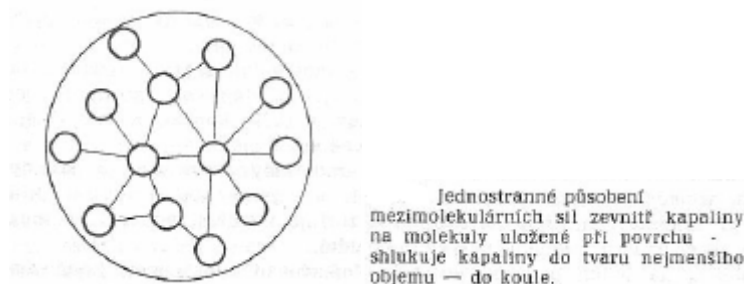
3. Teorie difuze- v letech 1959 až 1963 ji vypracoval S. S. Vojuckij. Základem této teorie je mikro- Brownův pohyb molekul, který umožňuje přechod molekul lepidla do lepeného materiálu a naopak. Platí za podmínek:

- polymerní látky obsažené v lepidle a lepeném materiálu jsou rozpustné a vzájemně mísitelné
- makromolekuly lepidla a lepeného materiálu mají dostačnou pohyblivost

Pevnost lepeného spoje závisí na průběhu difuze. Průběh difuze ovlivňují tyto faktory: doba kontaktu, tlak, teplota, viskozita, relativní molekulová hmotnost polymerů, kompatibilita

adherendu a adheziva. Touto teorií nelze vysvětlit spojení materiálů, které vzájemně nedifundují (sklo, kov), ale normálně se spojují. [1],[3]

4. Teorie absorpce- tato teorie byla publikována v roce 1963 Sharpem a Schonhornem. Vychází z termodynamických úvah o smáčení pevného povrchu kapalinami. Při styku pevného substrátu a kapaliny vzniká mezifázové rozhraní, v němž se vyskytuje volná energie, která je výsledkem, toho že přitažlivé síly mezi molekulami na povrchu nejsou kompenzovány jako uvnitř hmoty. Molekuly pevného substrátu a kapaliny (lepidla) na sebe vzájemně působí, pokud oba druhy molekul mají polární funkční skupiny. U kapalin to způsobí, že se na povrchu vytváří blanka, která se snaží sbalit kapalinu do koule. U pevných látek ovlivňuje volná povrchová energie roztečení kapaliny nebo lepidla, čímž dochází k různému stupni smáčení povrchu.



Obr. 5 - molekuly kapaliny [1]

Máme dvě stádia vzniku adhezního spojení:

- 1. přenos molekul lepidla k lepenému povrchu
- 2. přiblížení molekul lepidla na vzdálenost menší než 0,5 nm vznikne vzájemné působení mezimolekulárních sil neboli tzv. Van der Waalsových sil [1],[3]

5. Teorie přímých chemických vazeb- podle této teorie je potřebné, aby lepené materiály, reagovaly vytvořením primárních chemických (kovalentních) vazeb napříč rozhraním. Takové vazby vznikají jen výjimečně, všeobecně lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. Stejně nelze tvrdit, že tyto vazby zvyšují pevnost lepeného spoje. I snahy přidávat do adheziv nebo adherendů reakce schopné funkční skupiny často nevedly ke zdokonalení vlastností adhezního spojení. [1]

3 Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje

3.1 Vhodné lepidlo

V současnosti si můžeme vybrat z různých druhů lepidel, která se liší materiálovými vlastnostmi v závislosti na ceně. U dopravních prostředků se nejčastěji používají polyuretanová a epoxidová lepidla. Tyto lepidla se mohou dále vylepšovat pomocí různých přísad, jako např. přísady na zlepšení meze pevnosti, meze kluzu, odolnosti proti rozpouštědlům a dalším vlivům. Výběr vhodného lepidla závisí především na druhu užití a požadovaných vlastnostech lepeného spoje.

Faktory ovlivňující výběr vhodného lepidla:

- výsledné mechanické vlastnosti lepeného spoje
- vlastnosti povrchu lepených materiálů (tvrdost, pórovitost)
- vliv okolního prostředí (UV záření)
- teplota nutná k vytvrzení lepidla
- estetický vzhled lepeného souboru
- cena [6]

3.2 Úprava lepených ploch

Úprava lepených ploch má výrazný vliv na pevnost lepeného spoje. Úpravy se provádí, tak aby se dosáhlo co největší přilnavosti mezi lepidlem a lepeným materiálem neboli adheze. Nevhodně zvolená úprava lepených ploch může naprosto znehodnotit celkový lepený spoj. Způsoby zvýšení adheze:

- odstraněním nežádoucích nečistot z lepených ploch mechanicky nebo pomocí odmaštění
- pomocí primeru vytvořit nový aktivní povrch [6]

1. Odmaštění- pokud chceme mít lepený spoj co nejkvalitnější, tak je potřeba z lepených ploch odstranit oleje, tuky, prach a jiné nečistoty. Využívají se k tomu přípravky většinou na bázi alkoholů nebo rozpouštědel. Tyto přípravky se dají aplikovat ručně pomocí hadru či papírové utěrky, ale i pomocí parních odmašťovacích systémů. U těchto systémů je přípravek ohříván na bod varu. Vzniklá pára působí na lepený povrch, kde kondenzuje a vzniklá kapalina odplavuje všechny nečistoty. Těchto systémů se využívá hlavně ve velkosériové výrobě. U většiny aplikací v praxi postačuje použít na očištění povrchu různé

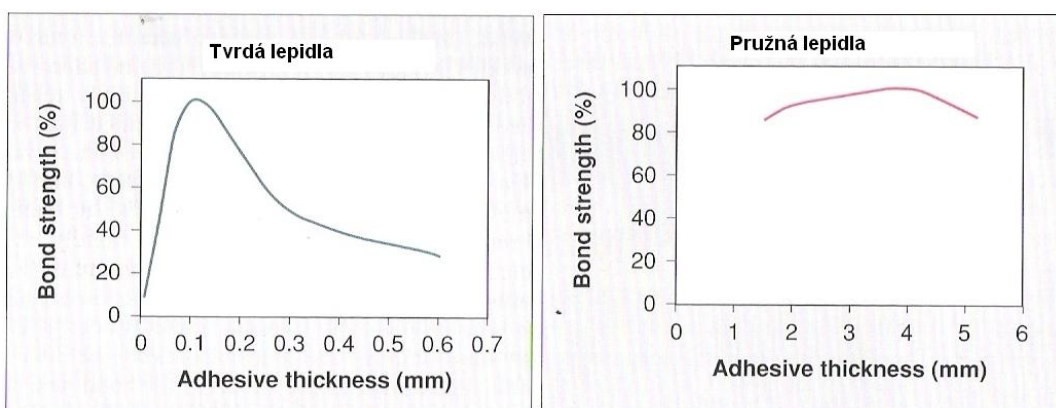
rychločističe, jako např. Sika Aktivátor- 205. V krátkém čase odstraní z lepených ploch tuky, oleje, prach a jiné nečistoty. Povrch je připraven k aplikaci lepidla. [6]

2. Mechanická příprava- mezi mechanickou přípravu lepeného povrchu spadají hlavně metody otryskávání, broušení a kartáčování. Tyto metody se používají na odstranění takových nečistot z lepených ploch, u kterých odmaštění selhalo. [6]

3. Primery- používají se hlavně ke zvýšení adhezní složky lepeného spoje. Jedná se o pigmentové nebo transparentní roztoky, které přilnou na lepený povrch a po vytvrnutí vytvoří ideálně adhezní povrch na nanesení lepidla. Jejich aplikace se provádí štětcem, nástřikem nebo speciálním aplikátorem na důkladně očištěný povrch. Poté se musí nechat předepsanou dobu odvětrat, aby došlo k vyvzlínání rozpouštědla a na povrchu zůstaly jenom aktivní látky.[6]

3.3 Tloušťka vrstvy lepidla

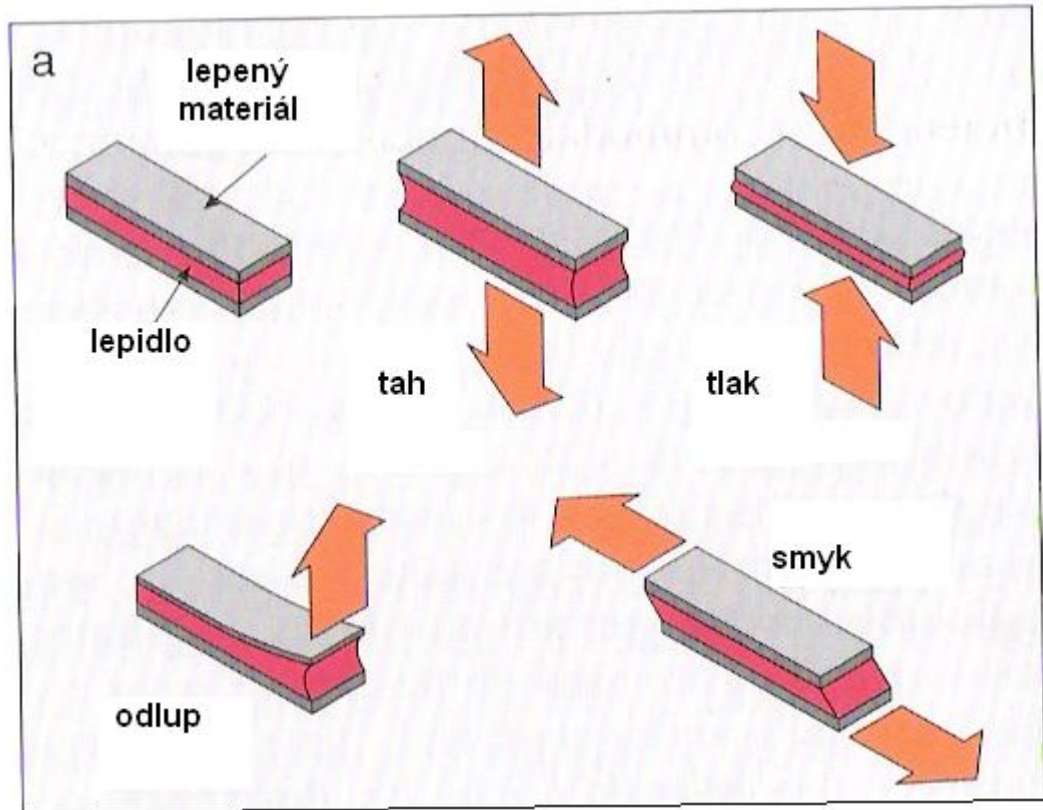
Tloušťka vrstvy lepidla je důležitým faktorem, který ovlivňuje výslednou pevnost lepeného spoje. Teoreticky se tloušťka vrstvy lepidla pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,25mm. V praxi toto ovšem neplatí, neboť každé lepidlo má svoji maximální pevnost při určité tloušťce vrstvy lepidla. Nelze pro všechny lepidla stanovit optimální vrstvu lepidla. Logicky u tmelů a pružných lepidel je tloušťka vrstvy lepidla vyšší než u tvrdých lepidel. Proto se při lepení v praxi vychází z doporučených hodnot tloušťky vrstvy lepidla, které uvádí výrobce lepidla v technickém listu lepidla. [6]



Obr. 6 - závislost mezi tloušťkou vrstvy lepidla a pevností spoje ve smyku [6]

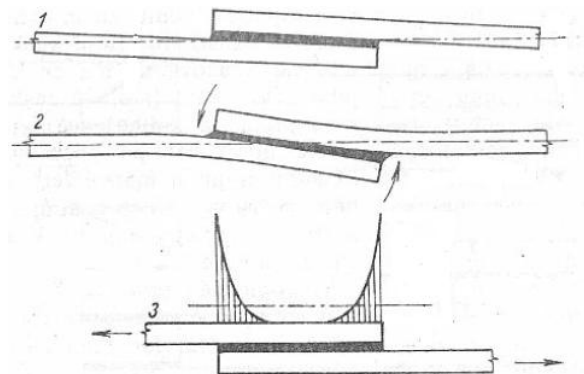
3.4 Typ zatěžování

Lepené spoje mohou být namáhány na tah, tlak, smyk, odlup, rázovou pevnost, krut, atd. Nejméně lepidla odolávají namáhání na odlup, štípání a kroucení. V těchto případech se namáhání soustřeďuje jen do určitých míst spoje, což má za následek lokální přetížení a poškození filmu lepidla [1]



Obr. 7 - typy namáhání lepených spojů [6]

Odlup je kombinované namáhání, které namáhá lepený spoj na ohyb a smyk. Je prokázáno, že hodnoty ohybového napětí na koncích lepeného spoje mohou být několikrát vyšší, než hodnoty smykového napětí ve spoji. Tento typ namáhání může způsobit, při nevhodné konstrukci spoje, tzv. loupání (peel).

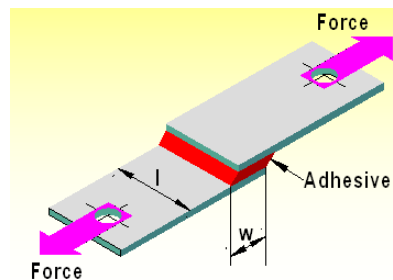


Obr. 8 - namáhání lepeného spoje na smyk [1]

Lepené spoje mají nejvyšší únosnost při namáhání na smyk. V praxi se tohoto hojně využívá a lepené spoje konstruuji, tak aby byly primárně namáhány na smyk. Vyšší únosnost mají lepené spoje při namáhání na tah a nejnižší únosnost při namáhání na odlup. [8]

3.4.1 Výpočet pevnosti lepených spojů

U lepených spojů lze vypočítat jejich pevnost, jako u jiných metod spojování dílců. Bude následovat výpočet pro maximální teoretické silové zatížení lepeného spoje, který je namáhán na smyk.



Obr. 9 - smykové zatížení lepeného spoje [6]

$$F = A \cdot \tau_{D2} \cdot f_{ges}$$

F= axiální síla [N]

A= lepená plocha [mm²]

$$A = w \cdot l$$

w= šířka lepeného spoje [mm]

l= délka lepeného spoje [mm]

τ_{D2} = smykové napětí [MPa]

f_{ges} = celkový faktor vlivu

Celkový faktor vlivu se skládá z dílčích faktorů vlivu.

$$f_{ges} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 \cdot f_7 \cdot f_8$$

f1= druh lepeného materiálu

f2= tloušťka spáry

f3= drsnost povrchu

f4= spojovaná plocha

f5= směr zatížení

f6= druh zatížení

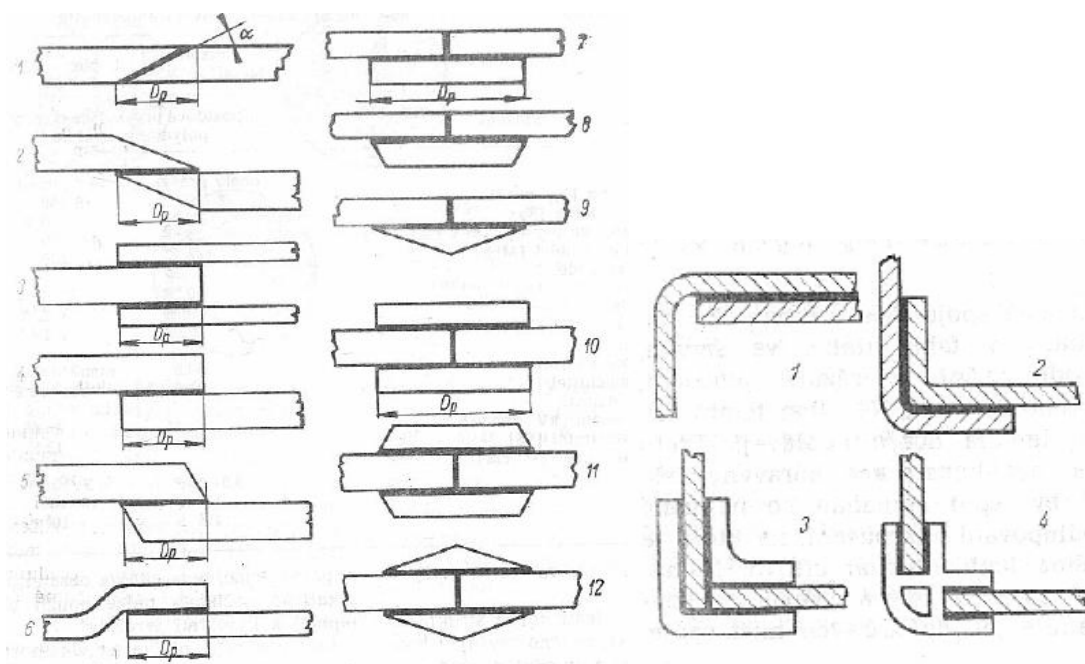
f7= provozní teplota

f8= způsob vytvrzení lepidla [6]

3.5 Konstrukce lepených spojů

Lepný spoj musí mít takovou konstrukci, aby bylo rozložení napětí ve spoji co nejrovnoměrnější.

Zvýšení pevnosti lepeného spoje, abychom dosáhli optimálních hodnot pevnosti, dosáhneme použitím spojů s uměle zvětšenou spárou. Zejména u spojů jednostranně a oboustranně přeplátovaných, u spojů s jednostrannými nebo oboustrannými příložkami, u spojů čelních ploch s tzv. spárou tvaru V, u spojů násuvných atd. Těmito úpravami se docílí zvětšení dotykových ploch a dosáhne se takového rozložení sil, že spoj je zatěžován převážně ve smyku. [1]



Obr. 10 - konstrukční možnosti plochých a koutových spojů [1]

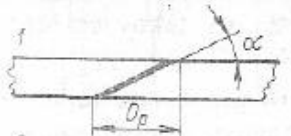
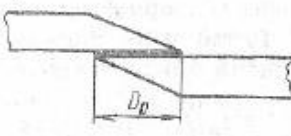
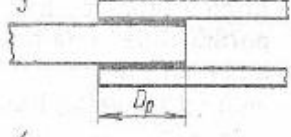

1. Velkoplošné spoje- jsou nejjednodušším typem spojení. Velmi často se používají při povrchových úpravách deskových materiálů a sendvičových konstrukcí za pomoci tapet, folií a plechu. Dále se používají při výrobě vícevrstevných materiálů- laminátů.

U velkoplošných spojů je důležité respektovat materiálové symetrie, hlavně když se spojují materiály s rozdílnou délkovou roztažností a materiály objemově nestálé (bobtnající nebo smršťující se podle změn vlhkosti). [1]

2. Přeplátované spoje- jednostranně přeplátované spoje jsou plošné spoje a využívají se při lepení tenkých materiálů (folií z plastu, plechů, tkanin,...), neboť v těchto případech lze zanedbat ohybový moment, který vzniká následkem excentrického zatížení. Tahové napětí se

kumuluje na koncích překlátování a působí jako síla, která podporuje odlupování. Při zvětšování zatížení se na obou koncích překlátování zvětšuje napětí až po kritickou hodnotu, kdy se lepený spoj od konců překlátování roztrhne.

Délka překlátování závisí především na druhu lepeného materiálu a tloušťce lepených dílců. Matematicky vyjádřit délku překlátování je velmi obtížné, neboť nemůžeme podchytit všechny děje. Při lepení v praxi se dá řídit pravidlem, že délka překlátování má být nejméně pětinásobkem tloušťky lepených dílců.

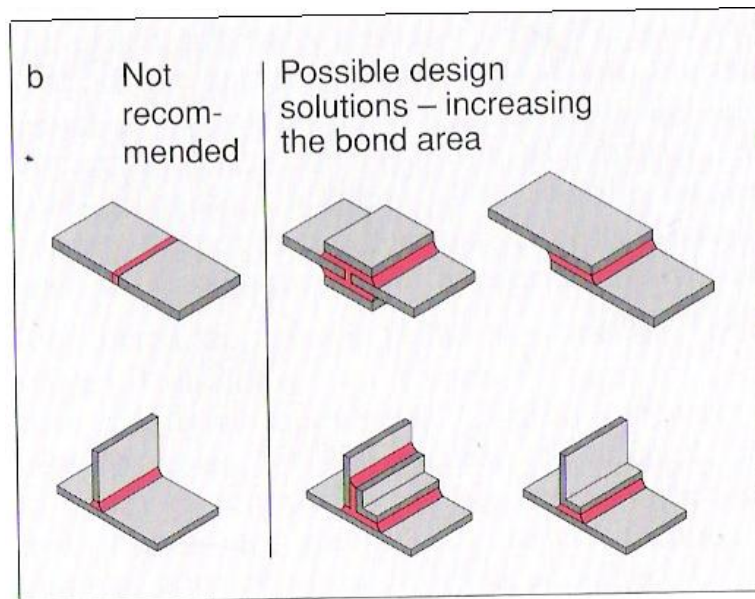
Typ spoje	Nosnost $N \text{ mm}^2$ (%)		Pevnost ve smyku MPa (%)	
	při $D_p = 10 \text{ mm}$	při $D_p = 20 \text{ mm}$	při $D_p = 10 \text{ mm}$	při $D_p = 20 \text{ mm}$
	100	100	100	100
	61	100	67	56
	70	88	79	44
	56	64	54	32

Obr. 11 - vliv délky překlátování spoje na nosnost a pevnost ve smyku [1]

Oboustranně překlátované spoje a spoje s oboustrannými příložkami zamezují vlivu excentricnosti. Pomocí úkosů na koncích překlátovaných dílců se částečně snižují rozdíly v napětí a roztažnosti adherendů. Oproti jednostranně překlátovaným spojům jsou oboustranně překlátované spoje asi o 30 % odolnější na smykovou pevnost. [1]

3. Spoje čelních ploch(na tupo)- tyto spoje se dají použít jen na dostatečně tlusté materiály. Jak musí být materiál tlustý, aby se mohl spojovat na tupo bez úprav, závisí především na vlastnostech lepených dílců a požadované odolnosti spoje. Obecně spodní limit

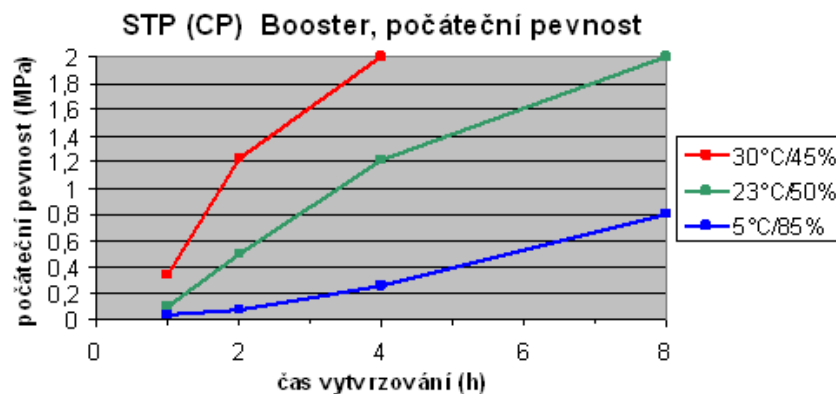
se pohybuje v rozmezí 30 až 50 mm. Na spojování tenčích materiálů se musí spojované plochy řádně upravit zvětšením geometrického povrchu. Mezi úpravy patří různě tvarované drážky nebo úkoso. [1]



Obr. 12 - alternativní způsoby spojení lepených dílů[6]

3.6 Doba vytvrzení lepidla

Lepení oproti klasickým způsobům spojování (např. šroubování, nýtování,...) nedosahuje okamžitě po aplikaci maximální pevnost lepeného spoje. Hodnota doby nutné k vytvrzení lepidla je vždy udávána výrobcem lepidla. Doba vytvrzování zpravidla vzrůstá spolu s nároky na pevnost. Vytvrzení se nechá urychlit zvýšením teploty, anebo použitím přídatného urychlovače Booster. [6],[8]



Obr. 13 - nárůst pevnosti při různých podmínkách [6]

4 Přípravky firmy Sika

Přípravky od firmy Sika bych rád nahradil stávající přípravky firmy Dinol, které nyní používá SOR Libchavy na lepení střešních dílců. V experimentu byly použity přípravky: Sika Aktivátor- 205, Sika Primer- 206 G+P, Sikaflex- 265+ Sika Booster a SikaForce- 7720 L45.

4.1 Sika Aktivátor- 205 (Sika Cleaner- 205) [7]

Sika Aktivátor- 205 je čistící a aktivační prostředek na bázi alkoholu s aktivačními přísadami k přípravě spojovaných ploch před lepením nebo tmelením produkty Sikaflex řady 1-k PUR.

V experimentu byl použit přípravek s číslem dávky 3000303547 a trvanlivostí do 06/2013.

Sika Aktivátor- 205 je vyráběn v souladu s normami systému kvality ISO 9001/14001 a v souladu s programem „Responsible Care“.

chemická báze	alkyltitanát v alkoholu
barva (CQP ¹⁾ 001-1)	transparentní, čirý
hustota (CQP006-3 / ISO 2811-1)	ca 0,8 kg / l
bod vzplanutí (CQP007-1 / ISO 13736)	+12°C
teplota aplikace	+5°C to +40°C
způsob aplikace	setřete utěrkou, která nepouští vlákna (textilní nebo papírová)
vydatnost	ca 30 - 60 ml / m ²
odvětrací čas ^{2/3)} minimálně	10 min ⁴⁾
podmínky skladování	v uzavřené nádobě na chladném suchém místě
skladovatelnost	12 měsíců

¹⁾ CQP = Corporate Quality Procedures ²⁾ při 23°C a 50% relativní vzdušné vlhkosti ³⁾ ve specifických teplotních případech může být odvětrací čas odlišný

⁴⁾ Aktivace trvá po dobu 2 hodin

Obr. 14 - technická data Sika Aktivátoru [7]

Využívá se na čištění a zvýšení aktivity ploch neporézních materiálů, jako např. kovů, plastů, lakovaných povrchů, glazovaných keramických povrchů atd.

Aplikace se provádí setřením spojovaných ploch čistým nejlépe světlým hadrem, nebo papírovou utěrkou (nesmí pouštět vlákna nebo barvu) mírně namočenou v přípravku. Po každém setření se utěrka musí otočit nebo vyměnit. Je nutné, aby byl přípravek aplikován jen v minimální vrstvě. Pokud není na ošetřenou plochu do 2 hodin procesu aktivace nanášeno lepidlo je třeba ošetření opakovat (max. 2x). Optimální teplota při zpracování je + 15°C až + 25°C.

4.2 Sika Primer- 206 G+P [7]

Sika Primer- 206 G+P je základový roztok speciálně určen pro přípravu lepených ploch, převážně skel, před aplikací Sika polyuretanových lepidel. Slouží i k přípravě povrchu kovových materiálu. Roztok je černě pigmentovaný a vytvrzuje vzdušnou vlhkostí.

V experimentu byl použit přípravek s číslem dávky 3000376176 a trvanlivostí do 05/2013.

Sika Primer- 206 G+P je vyráběn v souladu s normami systému kvality ISO 9001 a 14001 a v souladu s programem „Responsible Care“.

chemická báze	pigmentovaný roztok polyisokyanátů v rozpouštědlech	
barva (CQP ¹⁾ 001-1)	černá	
hustota (CQP 006-3 / ISO 2811-1)	ca 1,0 kg / l	
viskozita ²⁾ (CQP 029-3 / ISO 3219)	ca 10 mPas	
bod vzplanutí (CQP 007-1 / ISO 13736)	-4°C	
obsah sušiny	40 %	
aplikační teplota ³⁾	+5°C až +40°C	
způsob aplikace	štětec, filc	
vydatnost	ca 50 - 150 ml / m ² závisí na pórovitosti podkladu	
odvětrací čas ^{2,3)}	nad 15°C pod 15°C maximum	10 min. 30 min 24 hod
podmínky skladování	skladovat v dobře uzavřené nádobě, v suchu a chladu	
skladovatelnost	9 měsíců	

¹⁾CQP =Corporate Quality Procedures ²⁾ při 23°C a 50% relativní vlhkosti vzduchu ³⁾ u specifických aplikací, teplota a odvětrací čas mohou být odlišné

Obr. 15 - technická data Sika Primeru- 206 G+P [7]

Používá se pro zlepšení adheze na sklo a na sklo s keramickou ochrannou vrstvou. Také se dá využít i na jiné substráty jako jsou některé plasty a kovy.

Aplikace se provádí na plochu, která je absolutně čistá, suchá a bez stop prachu a mastnot, ošetřenou přípravkem Sika Aktivátor. Před použitím je potřeba řádně protřepat nádobu se Sika Primerem 206 G+P, aby ocelová kulička v nádobě byla volná a slyšitelná. Nanášení na lepenou plochu se provádí pomocí jemného čistého štětce nebo filcového primer aplikátoru. Je nutné, aby byl nanesen dostatečně sytý a zároveň velmi tenký film přípravku pouze v jedné vrstvě. Optimální teplota při zpracování je + 15°C až + 25°C.

4.3 Sikaflex- 265+ Sika Booster [7]

Sikaflex- 265 je rychle vytvrzující systém s dobrou odolností proti stárnutí a povětrnostním podmínkám pro autobusy, kabiny nákladních aut a kolejovou techniku.

Sikaflex- 265 patří mezi jednokomponentní, pružné, vzdušnou vlhkostí vytvrzující lepidla. Je založeno na bázi polyuretanu a je určeno na přímé zasklívání s gapfilling schopností. S použitím Sika Booster se stává do značné míry nezávislé na povětrnostních podmínkách.

V experimentu bylo použito lepidlo Sikaflex- 265 s číslem dávky 3000369798 a dobou použitelnosti do 05/2013. Sika Booster s číslem dávky 0012515319 a trvanlivostí do 04/2013

Sikaflex- 265 je vyráběn dle standardu ISO 9001/ 14001 a v souladu s programem „Responsible Care“.

vlastnosti		s Boosterem	bez Boosteru
chemická báze		urychlovaný 1-k polyuretan	1-k polyuretan
barva (CQP ¹⁾ 001-1)		černá	
mechanismus vytvrzení		vzdušnou vlhkostí ²⁾	vzdušnou vlhkostí
hustota (CQP 006-4) (před vytvrzením)		ca 1,2 kg/l	
poměr míchání	objemový	2% (1,8 – 2,2%)	
stabilita		dobrá	
teplota při aplikaci	kartuše / sáčky sud / hobok	60 - 80°C 10 - 35°C	10 - 35°C 10 - 35°C
čas tvorby povrchové kůže ³⁾ (CQP 019-1)			cca 45 min
otevřený čas ^{3),4)} (CQP 526-1)	kartuše / sáčky sud / hobok	ca 10 min ca 20 min	
rychlost vytvrzení (CQP 049-1)			ca 3,5 mm / 24 hod
počáteční pevnost (CQP 063-2)		viz tabulka 1	
objemová změna (CQP 014-1)		ca1%	
tvrdost Shore A (CQP 023-1 / ISO 868)		cca 50	
pevnost v tahu (CQP 036-1 / ISO 37)		cca 6 N/mm ²	
prodloužení při přetržení (CQP 036-1 / ISO 37)		cca 450%	
pevnost v odlupu (CQP 045-1 / ISO 34)		cca 14 N/mm	
pevnost ve smyku (CQP 046-1 / ISO 4587)		cca 4,5 N/mm ²	
elektrický odpor (CQP 079-2 / ASTM D 257-99)		cca 10 ⁸ Ω cm	
teplotní odolnost (CQP 513-1)		-40°C až +90°C	
skladovatelnost (pod 25°C) (CQP 016-1)		6 měsíců pro hoboky a sudy 9 měsíců pro kartuše a sáčky	
Mixer	kartuše / monoporce sud / hobok	6 element s Booster adaptérem 10 element mixer	

¹⁾ CQP =Corporate Quality Procedures

²⁾ 23°C/ 50% relativní vzdušná vlhkost.

Obr. 16 - technická data Sikaflex- 265+ Sika Booster [7]

Přednosti produktu:

- jednoduché použití
- rychle vytvrzuje, vytvrzení je možné urychlit pomocí Sika Booster Paste
- tmelení i lepení
- odolný povětrnostem a stárnutí
- pružný/ dobré vyplňovací parametry
- výborná zpracovatelnost a aplikační vlastnosti
- široký rozsah adheze
- nízký zápach
- neobsahuje rozpouštědla a PVC
- ruční i automatizovaná aplikace

Toto lepidlo je určeno zejména na přímé zasklívání, všeobecné lepení a těsnění. Je možno ho použít i na spoje vystavené povětrnostním podmínkám. Pro rychlé vytvrzení se používá Sika Booster Paste.

Sikaflex- 265 vytvrzuje za působením vzdušné vlhkosti. Vytvrzování je závislé na teplotě, se snižující se teplotou probíhá vytvrzování pomaleji. Při použití Sika Booster probíhá vytvrzení nezávisle na vzdušné vlhkosti.

Čas (hod)	Pevnost (MPa)	Čas (hod)	Pevnost (MPa)
1	ca 0,25	1	ca 0,25
2	ca 1,00	2	ca 1,00
4	ca 2,00	4	ca 2,00

počáteční pevnost při 23°C
při aplikování z pumpy

počáteční pevnost s Booster
adaptérem

Obr. 17 - závislost pevnosti na času vytvrzování [7]

Chemická odolnost lepidla Sikaflex- 265 je dobrá proti sladké i mořské vodě, vodoumístitelným čistícím prostředkům, krátkodobě odolný proti působení pohonných hmot, minerálních olejů a rostlinným a živočišným tukům. Není odolný proti působení ředidel, rozpouštědel, organických kyselin, alkoholu a některým dalším agresivním materiálům. Toto rozdělení je pouze orientační. Pro stanovení odolnosti je nutno provést objektovou zkoušku.

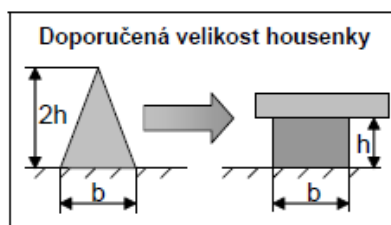
Podklady lepených dílů musí být absolutně čisté, suché, beze stop tuků, vosků nebo jiných separačních látek. Pro zvolení přípravy povrchu, slouží tabulka příprav povrchů Sika. Při specifické aplikaci je doporučeno si vyžádat konzultaci s technickým oddělením Sika.

Zpracování:

Kartuše/ monoporce: Pokud je lepidlo Sikaflex- 265 aplikováno se Sika Booster, tak je potřeba lepidlo zahřát, ideálně na 60°C. Lepidlo se může ohřívat několikrát, ale doba ohřevu nesmí přesáhnout 10 hodin. Samotnou aplikaci lepidla z kartuše či sáčku je vhodné provádět pomocí silné AKU pistole.

Sud/ hobok: K aplikaci ze sudů či hoboků se využívá čerpací a dávkovací pumpa. Při použití Sika Booster musí být pumpa ještě vybavena dávkovacím směšovačem.

Při zpracování by měla být teplota okolí v rozmezí + 10°C až max + 30°C a teplota lepených dílů v rozmezí + 15°C až max + 25°C. Pro zajištění rovnoměrné tloušťky spoje je doporučeno nanášet lepidlo trojúhelníkovou formou.



Obr. 18 - doporučená velikost housenky [7]

4.4 SikaForce- 7720 L45 [7]

SikaForce- 7720 L45 je 2- komponentní tixotropní polyuretanové lepidlo, které je tvořeno základní pryskyřicí na bázi polyolu s plnivý a tvrdidlem SikaForce- 7010 na bázi izokyanátu.

V experimentu bylo použito lepidlo SikaForce- 7720 L45 s číslem dávky 0013036154 a dobou použitelnosti do 06/2013.

SikaForce- 7720 L45 je vyráběn v souladu s normami kvality ISO 9001/ 14001.

	komponent A SikaForce 7720 L 45	komponent B SikaForce 7010
chemická báze	polyol, s plnivý	deriváty izokyanátu
obsah sušiny	100%	100%
barva (CQP ¹ 001-1)	bílá	hnědá, transparentní
barva směsi	bílá	
typ reakce	polyadice	
hustota (25°C) (CQP 006-4)	ca 1,6 g / cm ³	ca 1,2 g / cm ³
hustota směsi (kalkulovaná)	ca 1,5 g / cm ³	
viskozita ²⁾ (CQP 538-2)	ca 1 000 000 mPa.s (Brookfield RVT 6/20)	ca 250 mPa.s (Brookfield RVT 2/20)
viskozita směsi ²⁾ (CQP 536-1)	pasta	
poměr míchání	100	25
objemové díly	100	19
hmotnostní díly		
reakční čas ²⁾ (CQP 536 -3)	ca 45 min	
aplikační teplota	+15°C až +30°C	
aplikační čas ²⁾	ca 45 min	
otevřený čas ²⁾ (CQP 590-1)	ca 60 min	
lisovací čas ²⁾ (CQP 590-1)	ca 150 min	
tvrdost Shore-D ³⁾ (DIN 53505 / CQP 537-2)	ca 80 D	
pevnost v tahu ⁴⁾ (ISO 527 / CQP 545-2)	ca 15 N / mm ²	
prodloužení při přetržení ⁴⁾ (ISO 527 / CQP 545-2)	ca 6%	
pevnost ve smyku ³⁾ (DIN EN 1465 / CQP 546-2)	ca 10 N / mm ² (dle podkladu)	
skladovatelnost	balení ≥ 1000 l	6 měsíců
(v originálním uzavřeném balení)	ostatní balení	12 měsíců

¹⁾ CQP= Sika Corporate Quality Procedures ²⁾testovací podmínky: 23°C, 50% relativní vlhkost vzduchu

³⁾podmínky vytvrzení: 21 dní při 23°C a 50% relativní vlhkosti vzduchu

⁴⁾podmínky vytvrzení: 90 dní při 23°C a 50% relativní vlhkosti vzduchu

Obr. 19 - technická data SikaForce- 7720 L45 [7]

Přednosti produktu:

- tixotropní
- bez rozpouštědel
- otevřený čas nezávislý na relativní vzdušné vlhkosti
- vyplňuje spáry
- může se použít s tvrdidlem SikaForce- 7050

Toto lepidlo je speciálně určeno k lepení sendvičových konstrukcí. Vhodné pro lepení kompozitních plastů (laminát), dřeva, kovu, popřípadě pro lepení jiných strukturálních konstrukcí.

SikaForce- 7720 L45 vytvrzuje na principu polyadiční chemické reakce dvou komponentů. Při působení vyšší teploty se vytvrzovací proces urychluje a naopak nižší teplota vytvrzování zpomaluje.

Chemická odolnost tohoto lepidla je dobrá vůči hydrolýze, sladké i mořské vodě a odpadním vodám. Pro odolnost proti ostatním chemickým látkám a působení vysokých teplot je nutné provést objektovou zkoušku.

Podklad pro lepení by měl být čistý, suchý a zbavený všech nečistot. V postupu přípravy můžeme využít broušení, odmaštění, aktivaci primeru atd. Vždy musíme docílit optimální přilnavosti a pevnosti lepidla. Vhodný způsob přípravy povrchu je vždy nejlépe konzultovat s výrobcem, který provede příslušné zkoušky pro dané lepené materiály.

Doporučené množství lepidla v závislosti na lepených materiálech se pohybuje v rozsahu 150 až 350 g/cm². Pro určení přesného množství musí být uskutečněny adhezní a zátěžové testy. Zpracování a nanášení materiálu je doporučeno provádět pomocí speciální aplikační pumpy pro 2- komponentní materiály s dávkováním a mícháním pomocí statického či dynamického mixeru.

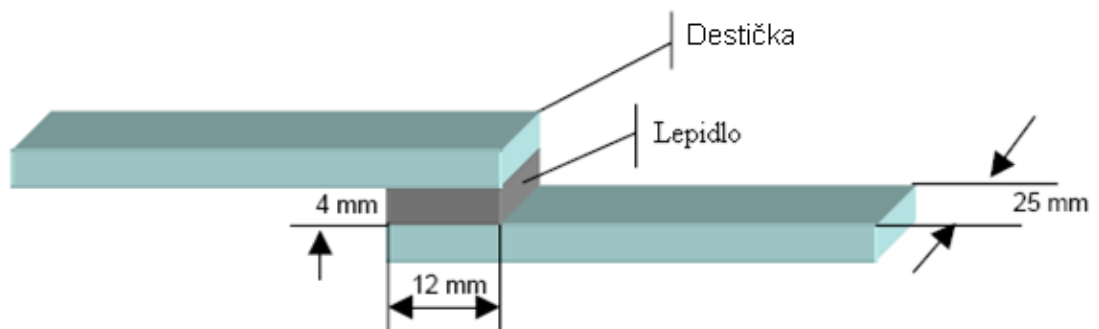
Slepené díly musí být rovnoměrně stlačeny minimální lisovací silou 200 g/cm². Zvolený lisovací tlak musí být zvolený v závislosti na druhu lepených materiálů a musí být stanovený testy. Tlak musí být vždy nižší, než je maximální pevnost v tlaku některého z lepených materiálů.

5 Zkoušky lepidel a lepených spojů podle firmy Sika CZ

5.1 Převíslá smyková pevnost v tahu [6]

Tato metoda popisuje postup zkoušky stanovení převíslé smykové pevnosti v tahu. Zkouší se elastické tmely i lepidla na nesouměrně slepených zkušebních vzorcích. Zkušební vzorek je roztržen za použití síly rovnoběžné s lepenou oblastí.

Ke zkoušce je potřeba zařízení na zkoušku tahem, přípravek na upnutí vzorku, forma z teflonu nebo polypropylenu, destičky a papírové utěrky.



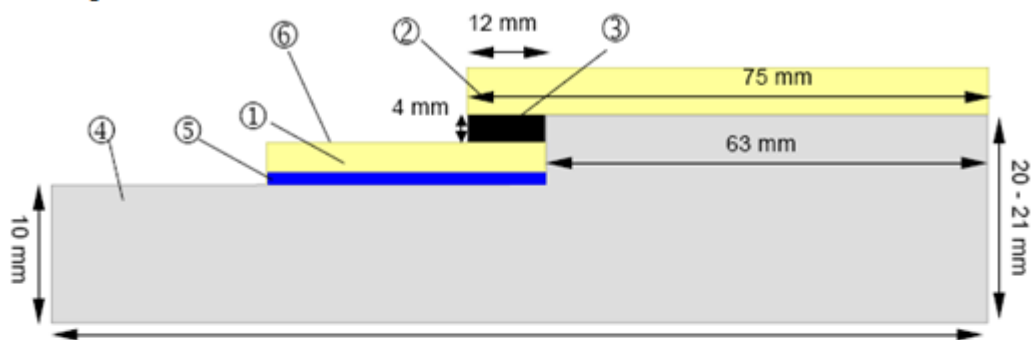
Obr. 20 - zkušební vzorek [6]

Pro dosažení dobré přilnavosti je vhodné použít vhodný podpůrný adhezní prostředek podle technického listu výrobku.

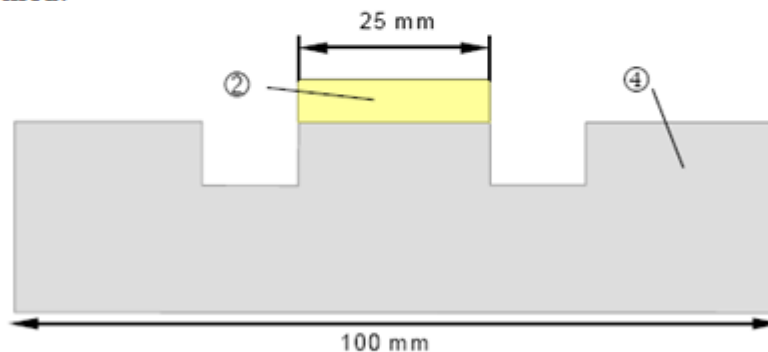
Na formu se přiloží destička připravenou plochou nahoru. Na připravenou plochu se nanese tmel nebo housenka lepidla trojúhelníkovou tryskou kolmo k destičce. Do 5 minut se musí přiložit druhá destička připravenou plochou na lepidlo nebo tmel a na formu. Destičky se jemně přitlačí bez jakýchkoliv vzduchových bublin a přebytečné lepidlo nebo tmel se odstraní stěrkou. Vzorek se nechá vytvrdnout za zvláštních podmínek, které odpovídají parametrům v technickém listě lepidla či tmelu. Standartní podmínky vytvrzení: 7 dní při 23 °C a 50% relativní vzdušné vlhkosti.

Po vytvrzení se zkoušený vzorek přesune do tahového zkušebního stroje a zatěžuje se až do okamžiku roztržení. Vzorky se trhají za definovaných podmínek, při stanovené hlavní rychlosti. Obvyklé zkušební podmínky jsou 23 °C a 50% relativní vzdušné vlhkosti. Hlavní rychlost pro měření QCP je 200 mm/min a pro další vyšetřování je 20 mm/min.

Boční pohled:



Zadní pohled:



1-Deska, 2- Deska, 3- Tmel nebo lepidlo, 4- Teflonová nebo PP forma, 5- Distanční podložka (volitelná), 6- Předpřipravená plocha materiálu

Obr. 21 - zkušební vzorek včetně formy [6]

Vyhodnocuje se převislá smyková pevnost, která je závislá na lepené ploše a síle při přetržení.

Protokol ze zkoušky by měl obsahovat: materiálové identifikace, hlavní rychlost, datum zkoušení, jméno technika, chyby a podmínky odchylovající se od standardu.

5.2 Housenková přilnavost [6]

Tato zkouška se používá k posouzení přilnavosti elastických tmelů a lepidel, čisticích prostředků nebo nátěrů na různých podkladech, za působení adhezní síly.

Ke zkoušce je potřeba podkladový materiál, lepidlo nebo tmel, čisticí přípravky a primery, kartáč, aplikační pistole, nůž a sada kleští.

Podklad se připraví podle plánu zkoušky nebo specifikace produktu. Použití čisticích prostředků a primerů se provádí podle specifikace výrobce. Housenka lepidla nebo lepicí tmel se nanáší na ošetřený povrch podkladu a vytvrzuje se podle kontrolního nebo zkušebního plánu.

Housenky lze aplikovat pomocí jedné ze čtyř různých metod. Nejčastěji se využívá metoda 1. (standartní metoda). Housenka se aplikuje pomocí kulaté trysky o průměru cca. 10 mm. Materiál lepidla nebo tmelu se aplikuje tak, aby vznikla housenka byla minimální šířky 10 mm.

Testovaný vzorek by měl být mechanicky pevně upevněn proti pohybu v průběhu celého postupu zkoušky. Na konci housenky se provede řez. Nařízlý kousek housenky se chytí do kleští a táhne se od povrchu podkladu, tak, že se housenka namotává na kleště. Současně se provádí řezy umístěné po několika milimetrech ve svislém směru. Pro lakované podklady musí jít řez přes celou vrstvu až na povrch podkladu. Housenka musí mít minimální délku na testování 8 cm.



Obr. 22 - adhezní zkouška [6]

Vyhodnocení- po sejmutí housenky z podkladu je lepená oblast souzena a kategorizována v závislosti na typu poruchy. To se provádí na základě odhadu procenta povrchu vykazující kohezní poruchy.

- 1- > 95% kohezního porušení
- 2- > 75% kohezního porušení
- 3- > 25% kohezního porušení
- 4- < 25% kohezního porušení
- 5- = 0% kohezního porušení (100% selhání lepidla)

Dále se v hodnocení mohou objevit následující symboly.

L- špatná přilnavost nátěru

P- selhání primeru

BK- bubliny v lepidle

- B- bubliny na povrchu podložky
- T- tunelový/ hranový efekt
- K- nevytvrzené lepidlo na povrchu
- FH- film (tenká vrstva) adheze
- S- pěnová struktura na povrchu
- RA- oddělení na okrajích

Dále musí protokol obsahovat: podklad (výrobce, typ, povrchové úpravy), předčištění (produkty, číslo šarže, doba použitelnosti), označení materiálu (přesný název, číslo šarže, příprava), datum zkoušky, jméno technika, skladovací podmínky a podmínky odchylovající se od standardu.

5.3 Zkušební podmínky pro přilnavost housenky [6]

Housenky lepidel a tmelů se testují na adhezi podle standardních podmínek skladování a standardních skladovacích cyklů.

Pro vytvoření zkušebních podmínek je zapotřebí horkovzdušná trouba, klimatická komora, vata, plastové tašky a maskovací pásy.

Vzorky se skladují za vhodných podmínek podle skladovací tabulky. Po provedení příslušného typu skladování se mohou provádět adhezní testy. Je možné provést více testů s jedním podkladem. Poté je nutné aplikovat více housenek na jeden podklad pro delší zkušební cykly.

Typ	A	B	C	D	E	F	G
Podmínky	1d KLR	7d KLR	7d WL + 2h KLR	7d 40°C/95% RH + 2h KLR	7d 70°C + 1d KLR	1d 80°C + 2h KLR	1d 80°C
Typ	H	I	J	K	L	M	N
Podmínky	3d -30°C + 2h KLR	7d 80°C + 2h KLR	3d 80°C	2h KLR	7d CP + 2h KLR	7d CP + 1d -30°C + 1d KLR	10 <u>cycles</u> VDA
Typ	O	P	Q	R	S		
Podmínky	20 <u>cycles</u> VDA	3 x 7d WL 55°C	7d 35°C 90% RH	7d WL 40°C	7d 70°C		

KLR- skladování v klimatické komoře při teplotě 23 °C/50% relativní vzdušné vlhkosti, WL- skladování v deionizované vodě při 23 °C, CP- skladování v kataplazmě při 70 °C/100% relativní vzdušné vlhkosti, VDA- testovací cykly, xh = x hodin, xd = x dnů

Obr. 23 - standardní skladovací podmínky [6]

Skladovací cyklus	B	C	F	L		
Standard	7d KLR	7d WL + 2h KLR	1d 80°C + 2h KLR	7d CP + 2h KLR		
Skladovací cyklus	B	C	E	M		
<u>Window</u>	7d KLR	7d WL + 2h KLR	7d 70°C + 1d KLR	7d CP + 1d -30°C 1d KLR		
Skladovací cyklus	A	B	C	F	L	
Booster	1d KLR	7d KLR	7d WL + 2h KLR	1d 80°C + 2h KLR	7d CP + 2h KLR	
Skladovací cyklus	B	C	H	J	K	L
Panel	7d KLR	7d WL + 2h KLR	3d -30°C + 2h KLR	3d 80°C	2h KLR	7d CP + 2h KLR
Skladovací cyklus	B	P				
Silikonová lepidla	7d KLR	3 x 7d WL 55°C				
Skladovací cyklus	B	Q	R	S		
Silikonové tmely	7d KLR	7d 35°C 90% RH	7d WL + 2h KLR	1d 80°C + 2h KLR		

Obr. 24 - standardní skladovací cykly [6]

6 Analýza současného stavu

Nyní se zaměřím na technologii lepení střešních dílců, kterou v současné době využívá SOR Libchavy.

6.1 Lepené materiály

Střecha autobusů SOR se skládá z nosného rámu a z krycího pláště.

Nosný rám střechy autobusu je tvořen z uzavřených čtvercových a obdélníkových profilů z konstrukční oceli. Profily jsou pomocí technologie svařování vytvarovány do tvaru budoucí střechy autobusu. Celý rám střechy není nijak povrchově upraven.

Krycí plášť střechy je vytvořen z jednoho dílu laminátu, který je vytvarován do budoucí podoby střechy. Tento plášť přesně pasuje na nosný rám střechy. [9]



Obr. 25 - konečná podoba slepené střechy

6.2 Postup lepení

SOR Libchavy využívá k lepení střešních dílců čistič a aktivátor Dinitrol 520, Dinitrol multiprimer 550 a lepidlo Dinitrol 515A s urychlovačem Dinitrol 515B.

Lepení střech autobusů ve firmě SOR Libchavy se provádí ve speciálně vyhrazených prostorech, kde je udržována požadovaná teplota a vlhkost potřebná k vytvrzování lepidla.

6.2.1 Očištění lepených ploch

K očištění lepených ploch na nosném rámu a krycím plášti využívá SOR Libchavy přípravek Dinitrol 520.

Dinitrol 520 je čistící a aktivační prostředek na bázi rozpouštědla. Obsahuje přísady podporující adhezi. [9]

Aplikace se provádí systémem „nanést- setřít“. To znamená, že se nejprve lepené plochy otřou čistým hadrem namočeným do tohoto přípravku. Přípravek se nechá cca 1 minutu působit. Poté se ještě před úplným zaschnutím setřou jeho zbytky z povrchu za pomoci čistého hadru. Proces lze opakovat, kdyby aktivovaná vrstva neměla požadované vlastnosti. V závěru aplikace se nechá aktivovaný povrch 5 a více minut odvětrat. [9]

Technická data:

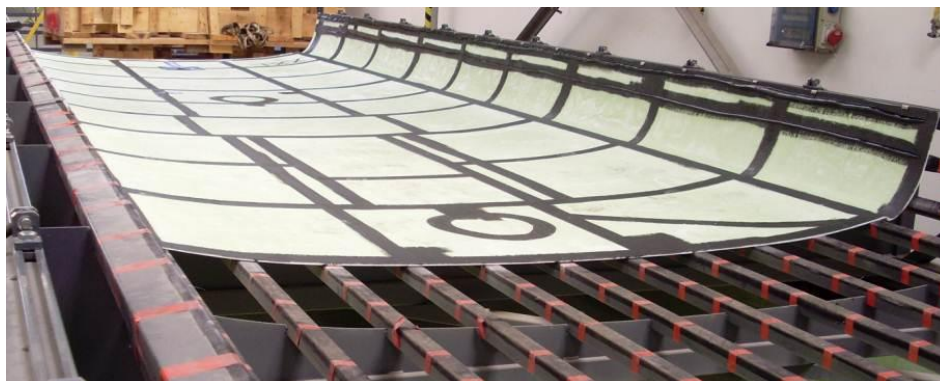
Vlastnost	Hodnota
Složení	rozpouštědla na podporu adheze
Konzistence	nažloutlá, tekutá
Doba schnutí	cca 2 min
Hustota	cca. 0,8 g/cm ³
Stálost skladování	12 měsíců v pevně uzavřených původních nádobách (při pokojové teplotě)

Obr. 26 - technická data přípravku Dinitrol 520 [9]

6.2.2 Zvýšení přilnavosti lepených ploch

Pro zvýšení přilnavosti lepených ploch využívá SOR Libchavy přípravek Dinitrol multiprimer 550. Nanáší se na nosný rám i krycí plášť.

Dinitrol multiprimer 550 je na bázi materiálů schnoucích působením fyzikálních a reaktivních pochodů. Zlepšuje přilnavost polyurethanových lepidel k základnímu povrchu a zároveň chrání konstrukci jako antikoroziní nátěr. [9]



Obr. 27 - krycí laminátový plášť připravený k lepení

Aplikuje se pomocí aplikačního kartáčku nebo houbičky z melaminové pěny na plochu, která předem byla ošetřena přípravkem Dinitrol 520. Po aplikaci se musí multiprimer nechat uzrát cca 20 až 30 minut. Doba zrání závisí na tloušťce vrstvy multiprimeru a teploty okolí. Po nanesení vypadá primer jako lesklý lak a po vytvrzení je pevný a matný. [9]

Technická data:

Vlastnost	Hodnota
Základ lepidla	reaktivní polyuretany
Konsistence	černá tekutina
Hustota	cca. 0,98 g/cm ³
Obsah pevných částic	cca. 33%
Viskozita	cca. 15 – 25 mPa/sec. (DIN 53211)
Doba schnutí	cca. 10 min. (50 µm/23° C)
Bod vzplanutí	< 21°C
Doba skladovatelnosti	12 měsíců při pokojové teplotě v původním balení

Obr. 28 - technická data přípravku Dinitrol multiprimer 550 [9]

6.2.3 Aplikace lepidla

SOR Libchavy využívá lepidlo Dinitrol 515 A/B.

Dinitrol 515 A/B je polyurethanová dvousložková lepicí- těsnící hmota, která se skládá z lepidla Dinitrol 515 A a urychlující složky Dinitrol 515 B. Lepidlo vytvrzuje do gumoelastické hmoty s vysokými mechanickými vlastnostmi. Pro rychlejší vytvrzení se používá urychlující složka Dinitrol 515 B. Při aplikaci by měla být teplota prostředí v rozmezí 5°C až 35°C. [9]

DINITROL 515 A/B - lepicí - těsnící hmota

Vlastnost	Hodnota
Stálost	velmi dobrá
Doba zpracovatelnosti lepidla	max. 30 min
Pevnost ve stříhu (dle směšovacího poměru viz i diagram)	3 h 3,5 Mpa 6 h 4 Mpa 24 h 5 Mpa 168 h 6 Mpa
Pevnost v tahu	8 MPa
Poměrné protažení	600 %
Tvrdość – Shore A	50
Teplota proměny na sklo	< - 40°C

Obr. 29 - technická data přípravku Dinitrol 515 A/B [9]

Aplikace lepidla na dílce střechy je prováděna pomocí ručních pneumatických pistolí, do kterých se lepidlo dává ve formě „salámů“. Než máme lepidlo ve formě „salámů“, tak se musejí oba komponenty lepidla (A a B) smíchat, podle přesného mísícího poměru 100 : 5 (Dinitrol 515 A : Dinitrol 515 B), v míchacím zařízení. Komponent Dinitrol 515 A se aplikuje ze sudu pomocí pístového čerpadla. Urychlující složka Dinitrol 515 B se přimíchává z kartuší pomocí dávkovacího zařízení. Po smíchání obou komponentů dostaneme libovolně dlouhý salám, který se vkládá do aplikační pistole.

Lepidlo z aplikačních pistolí se nanáší pouze na ošetřené plochy nosného rámu střechy. Po aplikaci lepidla na nosný rám se provede slepení obou dílů střechy. [9]



Obr. 30 - aplikace lepidla na nosný rám střechy pomocí pneumatických pistolí

6.2.4 Slepění dílů střechy

Slepění nosného rámu a krycího pláště se provádí ve speciálním přípravku. Přípravek je takového tvaru, aby ideálně přitlačil všechny lepené spoje mezi nosným rámem a krycím pláštěm. Do přípravku se nejprve umístí laminátový krycí plášť lepenou stranou vzhůru a následně se do krycího pláště zasune nosný rám. Aby po celé lepené ploše byla zachována požadovaná tloušťka lepidla, tak se musí mezi lepené plochy umístit distanční podložky, které zabrání úplnému dosednutí nosného rámu na krycí plášť. Po vycentrování nosného rámu v krycím plášti se nosný rám přitlačí pomocí série svěrek na krycí plášť. [9]



Obr. 31 - speciální přípravek k lepení střechy

7 Experimentální část

V experimentální části se zabývám testy převislé smykové pevnosti v tahu a adhezními testy lepidla Sikaflex- 265. Dále se zabývám testy převislé smykové pevnosti v tahu lepidla SikaForce- 7720 L45. Lepidlem Sikaflex- 265 bych chtěl nahradit stávající lepidlo Dinitrol- 515 A/B se zachováním stávajícího konstrukčního řešení střech autobusů. Pomocí lepidla SikaForce- 7720 L45 by se nechala nahradit stávající konstrukce střechy sendvičovou konstrukcí. Obě lepidla různě kombinuji s prostředky na přípravu lepeného povrchu. Podle výsledků pevnostních testů v tahu s přihlédnutím na ekonomiku nanášení se stanoví, které přípravky na úpravu lepeného povrchu jsou vhodné.

7.1 Lepené materiály

Lepení se provádělo na vzorcích laminátu a vzorcích ocelových plechů. Ocelové plechy jsou z konstrukční oceli s nijak neupravovaným povrchem. Všechny vzorky poskytl SOR Libchavy.

Pro zkoušku v tahu se vždy spojoval vzorek laminátu se vzorkem laminátu a vzorek plechu se vzorkem plechu. Jedině takovouto kombinací vzorků se dosáhne maximálních výsledků pevnosti v tahu. Vzorky laminátu mají rozměry: tloušťka 4mm, šířka 20mm a délka min. 75mm. Vzorky ocelových plechů mají rozměry: tloušťka 2mm, šířka 20mm a délka min. 75mm. Příslušné vzorky se spojují jednoduchým přeplátovaným spojem. Velikost spoje, podle interních norem Siky, je 20mmx12mm. Tloušťka vzorků je dána zadavatelem (SOR Libchavy), ale šířka a délka vzorků je stanovena interními řády Siky k použití na testy převislé smykové pevnosti v tahu.

Pro adhezní zkoušku bylo potřeba jeden vzorek laminátu a jeden vzorek ocelového plechu. Velikost vzorků se odvíjí od počtu housenek umístěných na ploše vzorku.

7.2 Příprava vzorků

Vzorky laminátu i ocelových plechů jsem už dostal nařezané na potřebné rozměry. Vzorky jsem si dále rozdělil, podle toho jaká příprava povrchu a lepidlo se použije. Většina vzorků se mechanicky ošetřila pomocí brusného papíru nebo minerální drátěnky. Poté se na mechanicky ošetřené plochy vzorků nanášely aktivátory. Aktivátory se musí nechat 10 min. odvětrat při 23°C a 50% relativní vzdušné vlhkosti. Po aplikování aktivátorů se u některých vzorků ihned nanášelo lepidlo, nebo se ještě aplikovaly primery na zvýšení adheze spoje. Primery se musí po aplikaci nechat 30 min. odvětrat při 23°C a 50% relativní vzdušné

vlhkosti. Obě lepidla se nanášela jen na jednu spojovanou plochu pomocí aplikačních pistolí. Nejpozději do 5 minut po aplikaci lepidla se musela přiložit druhá spojovaná plocha na lepidlo a spoj se zatížil lisovací silou po dobu lisovacího času. Během přípravy vzorků a aplikace lepidel panovaly v místnosti podmínky 23,8°C a 26% relativní vzdušné vlhkosti.



Obr. 32 - slepené vzorky zatížené lisovací silou

Po uplynutí lisovacího času putovaly vzorky do testovacího prostředí. Pro tento případ aplikace bylo navrženo speciální testovací prostředí pro vzorky zkoušené na tah.

Testované vzorky na tahovou zkoušku byly umístěny v 26 % roztoku soli. Provádělo se střídání teploty lázně první den -20°C a druhý den +70°C, takhle se teploty střídaly, až bylo provedeno pět cyklů. Toto testovací prostředí by mělo simulovat extrémní podmínky, ve kterých by se lepený spoj mohl v krajním případě vyskytovat a plnit svoje funkce.

Testované vzorky na adhezní testy byly umístěny do testovacího prostředí B, což znamená sedm dní při 23°C a 50% relativní vzdušné vlhkosti.



Obr. 33 - vzorky po absolvování testovacího prostředí

7.3 Zkouška převislé smykové pevnosti v tahu pro Sikaflex- 265

Pro zkoušku pevnosti v tahu se používal trhací stroj Zwick/Roell Z010 a vyhodnocovací program TestExpert II. Trhací rychlost byla stanovena na 10mm/min podle interních norem Siky. V místnosti panovaly zkušební podmínky 24°C a 30% relativní vzdušné vlhkosti.

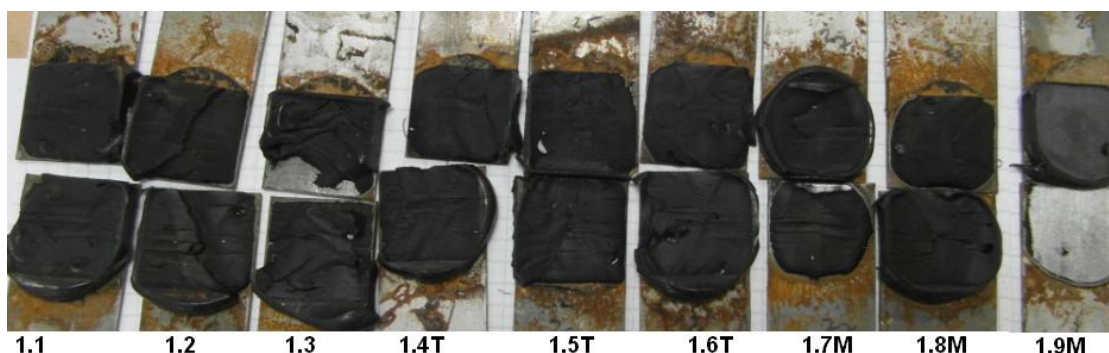
Přetržené spoje se hodnotí podle toho, jaký lom nastal v lepené ploše. Dále budu uvádět následující označení: A- adhezní lom, K- kohezní lom, S- smíšený lom, P- lom vzorku.

Díly střech jsou vystaveny velkému kolísání teplot od velmi nízkých až po docela vysoké teploty. SOR Libchavy proto vznesl požadavek na odzkoušení vzorků, aby vyhověl těmto podmínkám. Proto se některé vzorky vložily, 3 hod. před zkouškou v tahu, do vyhřáté horkovzdušné trouby na 80°C a některé vzorky se vložily do nachlazeného mrazicího boxu na - 20°C.

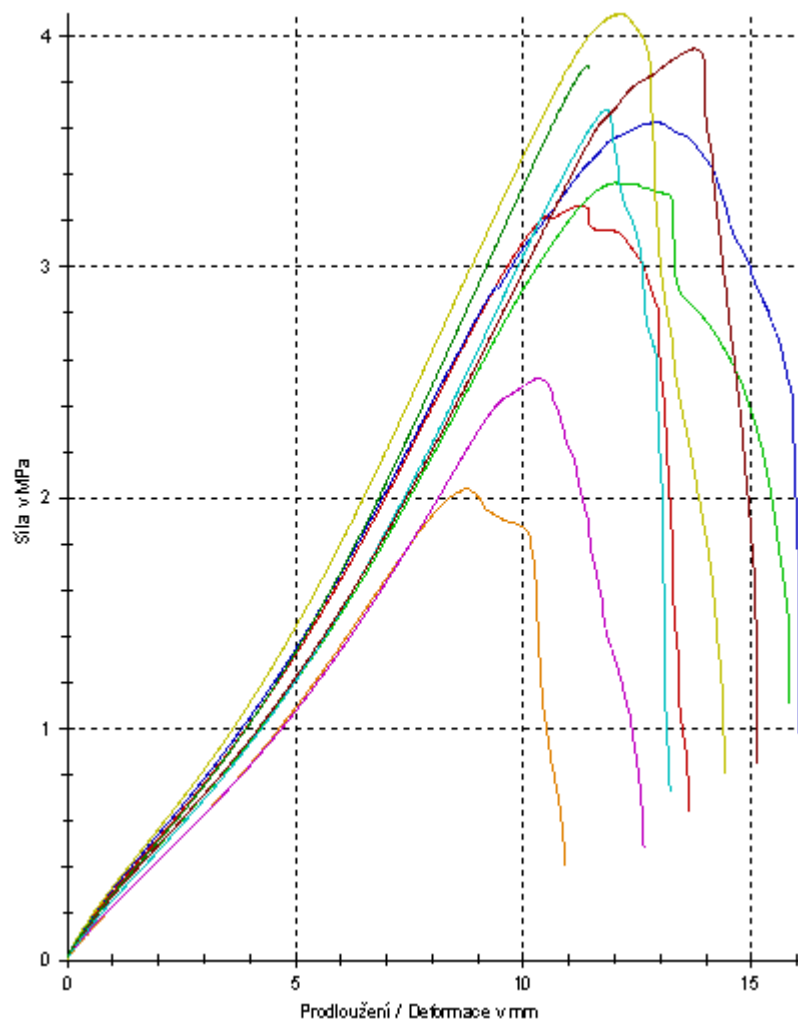
Celkově bylo pro lepidlo Sikaflex- 265 použito 36 vzorků, které se rozdělily do 4 skupin po 9 vzorcích, podle lepených materiálů a použitých příprav povrchu. Z každé skupiny 9 vzorků se 3 vzorky trhaly při teplotě, která panovala ve zkušební místnosti, 3 vzorky se trhaly při zvýšené teplotě a zbylé 3 vzorky se trhaly při snížené teplotě. Okamžitá teplota vzorků při trhání v trhacím stroji se měřila pomocí termometru. Teplota vzorků umístěných v horkovzdušné troubě při trhání se pohybovala v rozmezí +60°C až +65°C. Teplota vzorků umístěných v mrazicím boxu se při trhání pohybovala v rozmezí -20°C až - 18°C.

7.3.1 1. skupina vzorku

V této skupině je 9 vzorků ocelových plechů. U těchto vzorků byla použita úprava lepených ploch ve formě: minerální drátěnka a Sika Aktivátor- 205. Vzorky, které byly v mrazicím boxu jsou označeny symbolem M. Vzorky, které byly v horkovzdušné troubě jsou označeny symbolem T.



Obr. 34 - 1. skupina vzorků



Obr. 35 - průběh trhací zkoušky u 1. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	1.1	3,27	11,3	324	13,6	K
	1.2	3,36	12,1	555	15,8	K
	1.3	3,63	12,9	362	16,1	K
	1.4T	2,04	8,7	204	10,9	K
	1.5T	2,52	10,3	243	12,6	K
	1.6T	3,68	11,8	366	13,2	K
	1.7M	4,1	12,1	407	14,4	K
	1.8M	3,95	13,7	425	15,1	K
	1.9M	3,87	11,4	1930	11,4	S+A

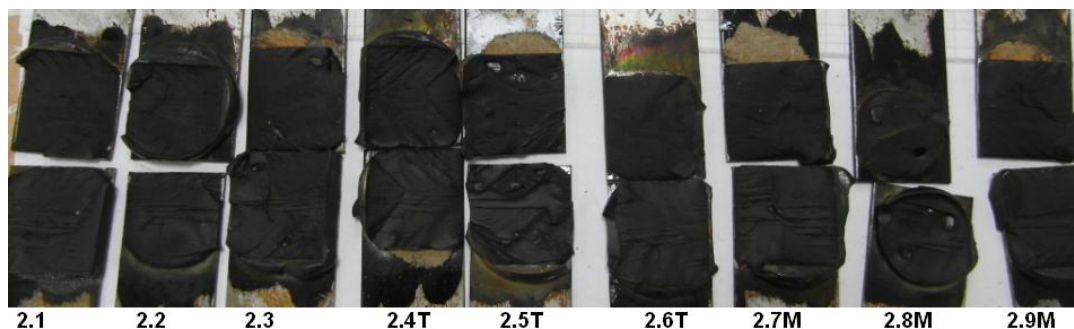
Obr. 36 - výsledky z trhací zkoušky pro 1. skupinu vzorků

U vzorků umístěných v horkovzdušné troubě se projevil nepříznivý vliv teploty. Teplota způsobila změkčení lepidla a tím i snížení pevnosti v tahu. Naopak u vzorků umístěných v mrazicím boxu se projevila zvýšená pevnost lepeného spoje. Toto souvisí s přechodovou teplotou lepidla, která je konkrétně pro toto lepidlo posunuta do nižších

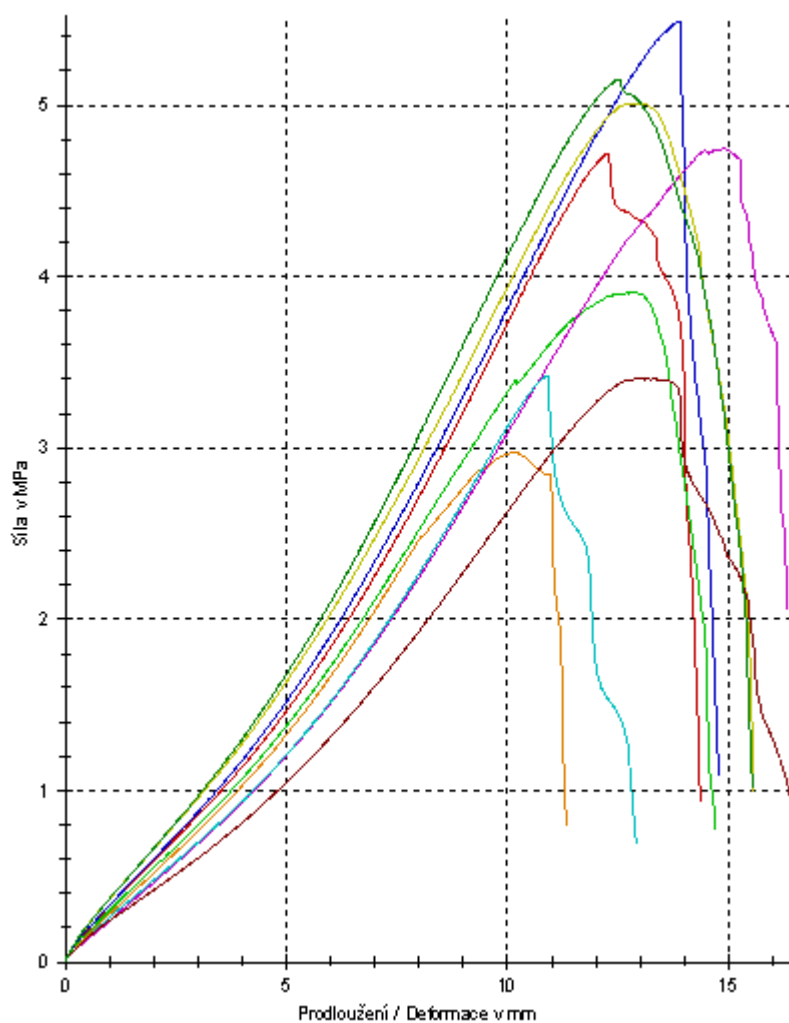
hodnot. U všech vzorků nastalo kohezní porušení lepidla s výjimkou vzorku 1.9M. U tohoto vzorku nastalo smíšené porušení s převládající adhezní složkou.

7.3.2 2. skupina vzorků

V této skupině je 9 vzorků ocelových plechů. U těchto vzorků byla použita úprava lepených ploch ve formě: minerální drátěnka, Sika Aktivátor- 205 a Sika Primer- 206 G+P.



Obr. 37 - 2. skupina vzorků



Obr. 38 - průběhy trhací zkoušky u 2. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	2.1	4,72	12,3	470	14,4	K
	2.2	3,91	12,9	385	14,7	K
	2.3	5,49	13,9	547	14,8	K
	2.4T	2,97	10,1	396	11,3	K
	2.5T	4,74	14,9	1030	16,3	K
	2.6T	3,42	10,9	341	12,9	K
	2.7M	5,01	13	500	15,6	K
	2.8M	3,41	13	339	16,6	K
	2.9M	5,15	12,5	511	15,5	K

Obr. 39 - výsledky z trhací zkoušky pro 2. skupinu vzorků

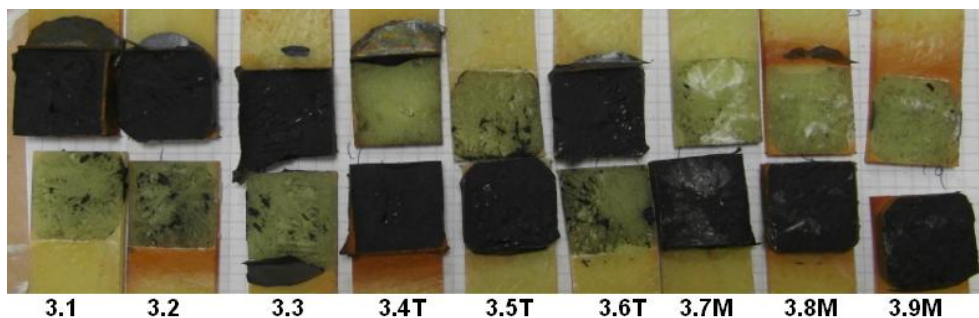
U všech vzorků 2. skupiny nastalo kohezní porušení lepeného spoje. Opět se zde projevil vliv teploty, který měl stejné účinky jako u 1. skupiny vzorků. Oproti první skupině vzorků se zde mírně zvýšila pevnost. Využití Sika Aktivátoru- 205 v kombinaci se Sika Primerem-206 G+P se ukázalo jako výhodnější volba z hlediska pevnosti oproti přípravě jen Sika Aktivátorem- 205 použitého u 1. skupiny vzorků.



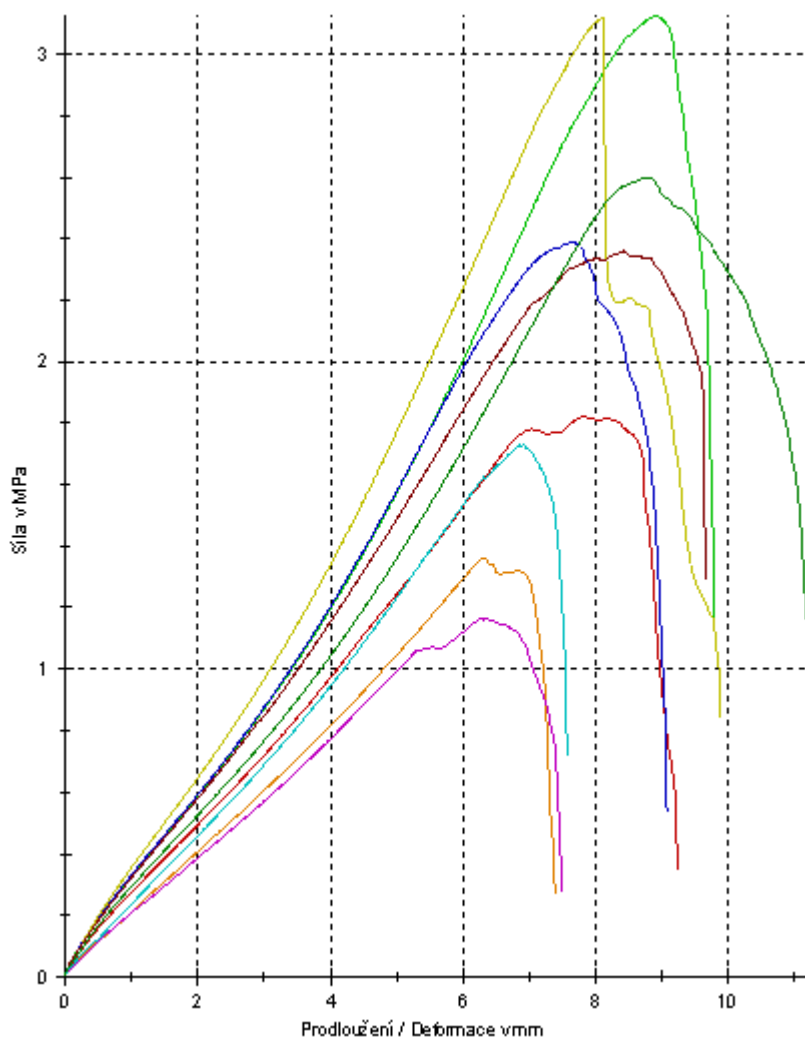
Obr. 40 - příklad kohezního lomu

7.3.3 3. skupina vzorků

V této skupině je 9 vzorků laminátu. U těchto vzorků byla použita úprava lepených ploch ve formě: brusný papír K30 a Sika Aktivátor- 205.



Obr. 41 - 3. skupina vzorků



Obr. 42 - průběhy trhací zkoušky u 3. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	3.1	1,82	7,8	219	9,2	S
	3.2	3,12	8,9	708	9,8	S
	3.3	2,39	7,6	336	9,1	S
	3.4T	1,36	6,3	168	7,4	S
	3.5T	1,16	6,3	172	7,5	S
	3.6T	1,73	6,9	451	7,6	S
	3.7M	3,12	8,1	529	9,9	S
	3.8M	2,36	8,4	809	9,7	S
	3.9M	2,6	8,8	608	11,2	S

Obr. 43 - výsledky z trhací zkoušky pro 3. skupinu vzorků

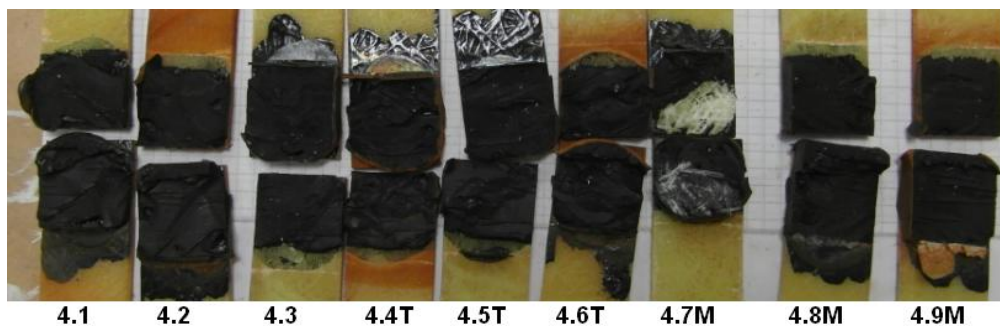
U této skupiny vzorků se úprava lepeného povrchu laminátu pomocí brusného papíru K30 a Sika Aktivátoru- 205 ukázala jako nepřilíš vhodná. Na všech vzorcích došlo ke smíšenému lomu, u kterého převládala adhezní složka. Adhezní lom je nepřijatelný pro další používání těchto vzorků.



Obr. 44 - smíšený lom na vzorku 3.4.T

7.3.4 4. skupina vzorků

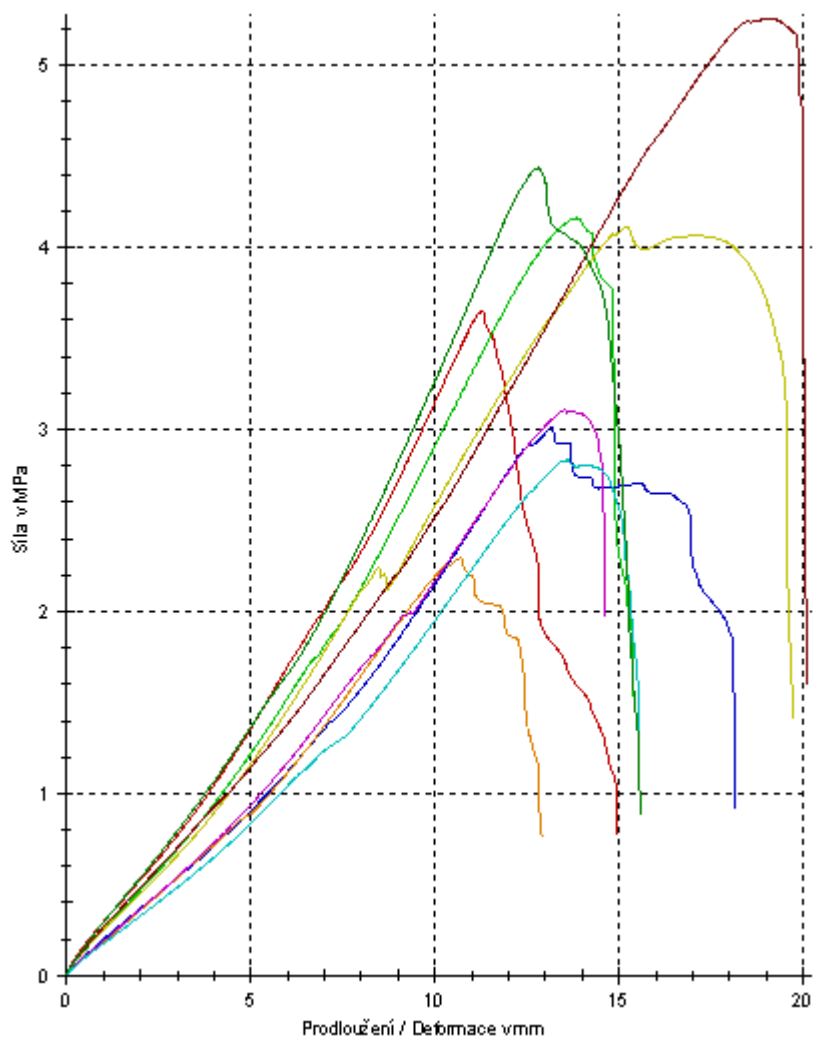
V této skupině je 9 vzorků laminátu. U těchto vzorků byla použita úprava lepených ploch ve formě: brusný papír K30, Sika Aktivátor- 205 a Sika Primer- 206 G+P.



Obr. 45 - 4. skupina vzorků



Obr. 46 - narušení základního materiálu na vzorku 4.7M



Obr. 47 - průběhy trhací zkoušky u 4. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	4.1	3,65	11,3	485	14,9	K
	4.2	4,16	13,8	925	15,4	K
	4.3	3,02	13,2	579	18,1	K
	4.4T	2,3	10,7	473	12,9	K
	4.5T	3,11	13,5	1230	14,6	K
	4.6T	2,84	13,6	759	15,5	K
	4.7M	4,12	15,2	881	19,7	P
	4.8M	5,26	19	995	20,1	K
	4.9M	4,44	12,8	553	15,6	K

Obr. 48 - výsledky z trhací zkoušky pro 4. skupinu vzorků

U všech vzorků došlo ke koheznímu porušení vrstvy lepidla s výjimkou vzorku 4.7M. Vzorek 4.7M je velmi zajímavý, jelikož u něj došlo k narušení základního materiálu laminátu. Kohezní a adhezní síly lepidla překonaly síly ve vláknech laminátu. Z pohledu lepení tento

spoj vyhovuje. Příprava povrchu pomocí brusného papíru K30, Sika Aktivátoru- 205 a Sika Primeru-206 G+P se ukázala z hlediska pevnosti jako výhodnější volba oproti přípravě povrchu použité u 3. skupiny vzorků.

7.4 Adhezní zkoušky pro Sikaflex- 265

Adhezní zkoušky se dělají proto, aby se zjistilo, jaká se má použít úprava lepených ploch. Adheze lepidla se hodnotí podle plochy lepidla, která byla porušena kohezním lomem. Proveďte se výpočet poměru celkové plochy lepeného spoje, vůči ploše kohezního porušení. Výsledek se vyjádří procentuálně. Pokud je u zkoušky kohezní porušení $> 95\%$, tak máme jistotu, že při zničení lepeného spoje dojde ke koheznímu porušení. Potom pevnost lepeného spoje závisí na kohezi lepidla, neboli dovoleném namáhání lepidla. Při adhezních zkouškách panovaly v místnosti stejné zkušební podmínky jako při zkoušce tahem.

Celkově byly pro lepidlo Sikaflex- 265 jeden vzorek ocelového plechu a jeden vzorek laminátu.

7.4.1 Adhezní zkoušky na ocelovém plechu

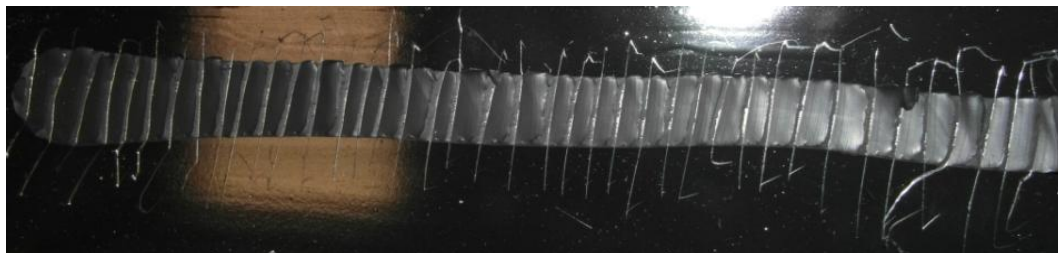
Na ocelovém plechu byly použity dvě úpravy povrchu a na každou úpravu povrchu se nanoslo pět housenek lepidla. První úprava lepených ploch byla provedena pomocí minerální drátěnky (SB) a Sika Aktivátoru- 205. Druhá úprava lepených ploch byla provedena pomocí minerální drátěnky (SB), Sika Aktivátoru- 205 a Sika Primeru- 206 G+P.



Obr. 49 - adhezní zkoušky na ocelovém plechu

U přípravy lepeného povrchu pomocí minerální drátěnky a Sika Aktivátoru- 205 došlo ve všech případech k méně jak 25% koheznímu porušení. Adheze je tedy nedostačující. Zvolená příprava lepeného povrchu byla zvolena nevhodně, což se i projevilo u výsledků ze zkoušky tahem.

U přípravy lepeného povrchu pomocí minerální drátěnky, Sika Aktivátoru- 205 a Sika Primeru- 206 G+P došlo ve všech případech k více jak 95% koheznímu porušení. Adheze je v tomto případě postačující. Tuto přípravu lepeného povrchu bych doporučil.



Obr. 50 - detail vzorku s > 95% kohezním porušením

7.4.2 Adhezní zkoušky na laminátu

Na laminátu byly použity dvě úpravy povrchu a na každou úpravu povrchu se nanoslo pět housenek lepidla. První úprava lepených ploch byla provedena pomocí brusného papíru K30 a Sika Aktivátoru- 205. Druhá úprava lepených ploch byla provedena pomocí brusného papíru K30, Sika Aktivátoru- 205 a Sika Primeru- 206 G+P.

K 30+ A 205+ P 206 G+P

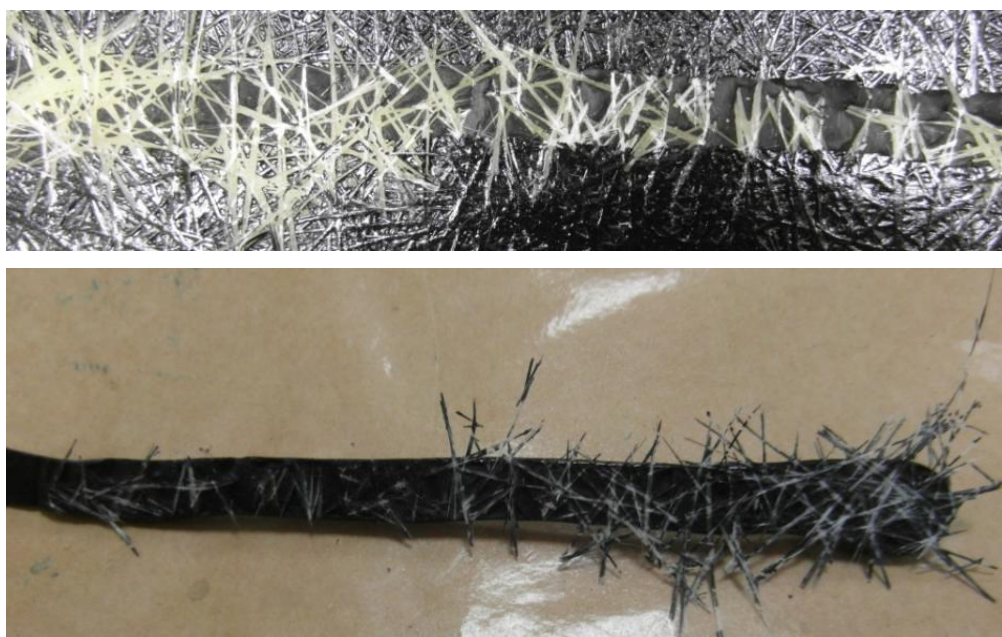
K 30+ A 205



Obr. 51 - adhezní zkoušky na laminátu

U přípravy lepeného povrchu pomocí brusného papíru K30 a Sika Aktivátoru- 205, došlo ve všech případech k méně jak 25% koheznímu porušení. Adheze je tedy nedostačující. Zvolená příprava lepeného povrchu byla zvolena nevhodně, což se i projevilo u výsledků ze zkoušky tahem.

U přípravy lepeného povrchu pomocí brusného papíru K30, Sika Aktivátoru- 205 a Sika Primeru- 206 G+P došlo ve všech případech k více jak 95% koheznímu porušení. Adheze je tedy postačující. Na odřezaných housenkách jsou jasně patrná vlákna laminátu, což znamená, že adheze je větší než soudržnost laminátu. Tuto přípravu lepeného povrchu bych doporučil.



Obr. 52 - vytrhaná vlákna z laminátu

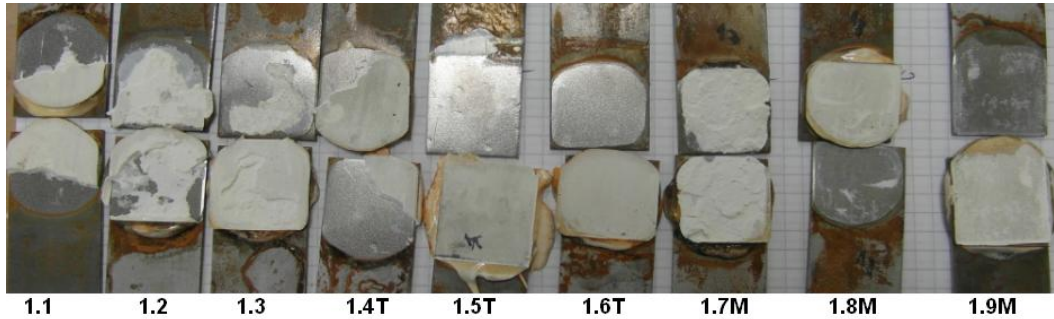
7.5 Zkouška převíslé smykové pevnosti v tahu pro SikaForce- 7720 L45

Zkouška pevnosti v tahu pro lepidlo SikaForce- 7720 L45 probíhala na stejném zkušebním zařízení a za stejných zkušebních podmínek jako u lepidla Sikaflex- 265. Opět byly některé vzorky vloženy, 3 hod. před zkouškou v tahu, do vyhřáté horkovzdušné trouby na 80°C a některé vzorky byly vloženy do nachlazeného mrazicího boxu na - 20°C.

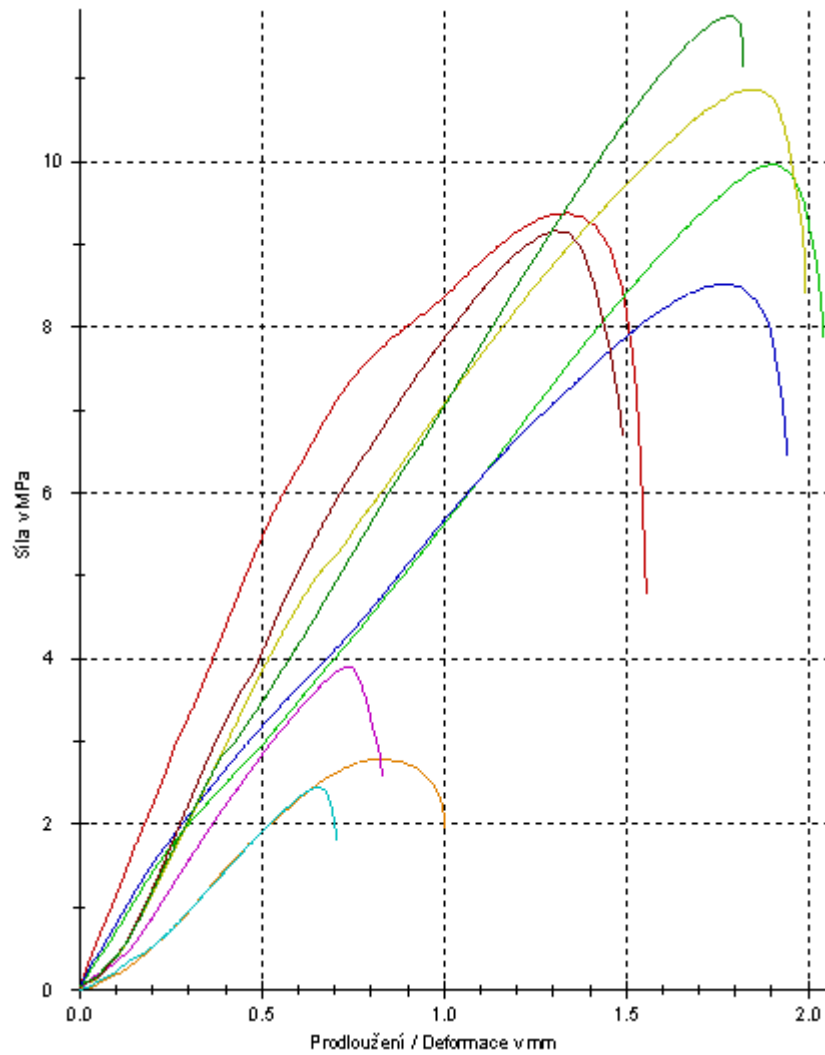
Celkově bylo pro lepidlo SikaForce- 7720 L45 použito 36 vzorků, které byly rozděleny do stejných skupin jako u lepidla Sikaflex- 265.

7.5.1 1. skupina vzorků

V této skupině je 9 vzorků ocelových plechů. U těchto vzorků byly pouze lepené plochy odmaštěny pomocí acetonu. Vzorky, které byly v mrazicím boxu jsou označeny symbolem M. Vzorky, které byly v horkovzdušné troubě jsou označeny symbolem T.



Obr. 53 - 1. skupina vzorků



Obr. 54 - průběhy trhací zkoušky u 1. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	1.1	9,38	1,3	1430	1,6	S
	1.2	9,97	1,9	3940	2	S
	1.3	8,53	1,8	3210	1,9	S
	1.4T	2,79	0,8	969	1	A
	1.5T	3,9	0,7	1290	0,8	A
	1.6T	2,44	0,7	901	0,7	A
	1.7M	10,9	1,8	4200	2	K
	1.8M	9,17	1,3	3340	1,5	S
	1.9M	11,8	1,8	5570	1,8	S

Obr. 55 - výsledky z trhací zkoušky pro 1. skupinu vzorků

U vzorků 1.4T, 1.5T a 1.6T, které byly vystaveny účinkům vysoké teploty v troubě, je vidět nepříznivý vliv teploty. Ta způsobila adhezni porušení lepeného spoje, což mělo za následek rapidní snížení pevnosti spoje v tahu. Vzorek 1.7M se porušil kohezním lomem a bylo u něj, i u ostatních vzorků z mrazicího boxu, patrné zvýšení pevnosti. U zbylých vzorků nastalo smíšené porušení lepeného spoje.

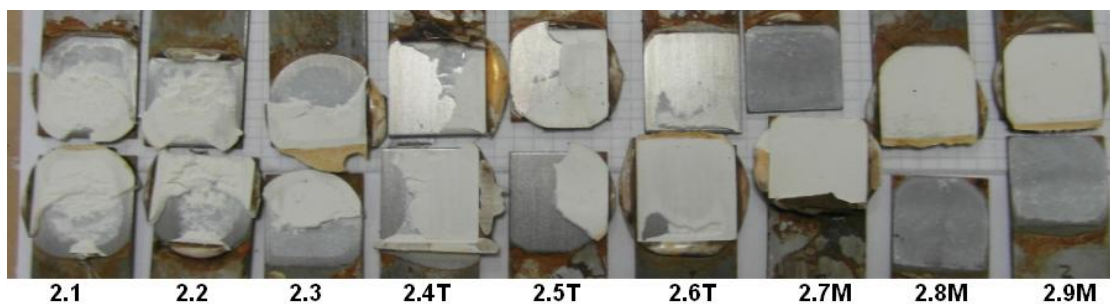
Úprava lepených ploch pouze pomocí acetonu absolutně selhala u vzorků vystaveným vysoké teplotě, na ostatních vzorcích byly naměřené hodnoty přijatelné. Tuto přípravu lepeného povrchu bych nedoporučil, neboť střechy autobusů jsou vystaveny v letních měsících vysokým teplotám.



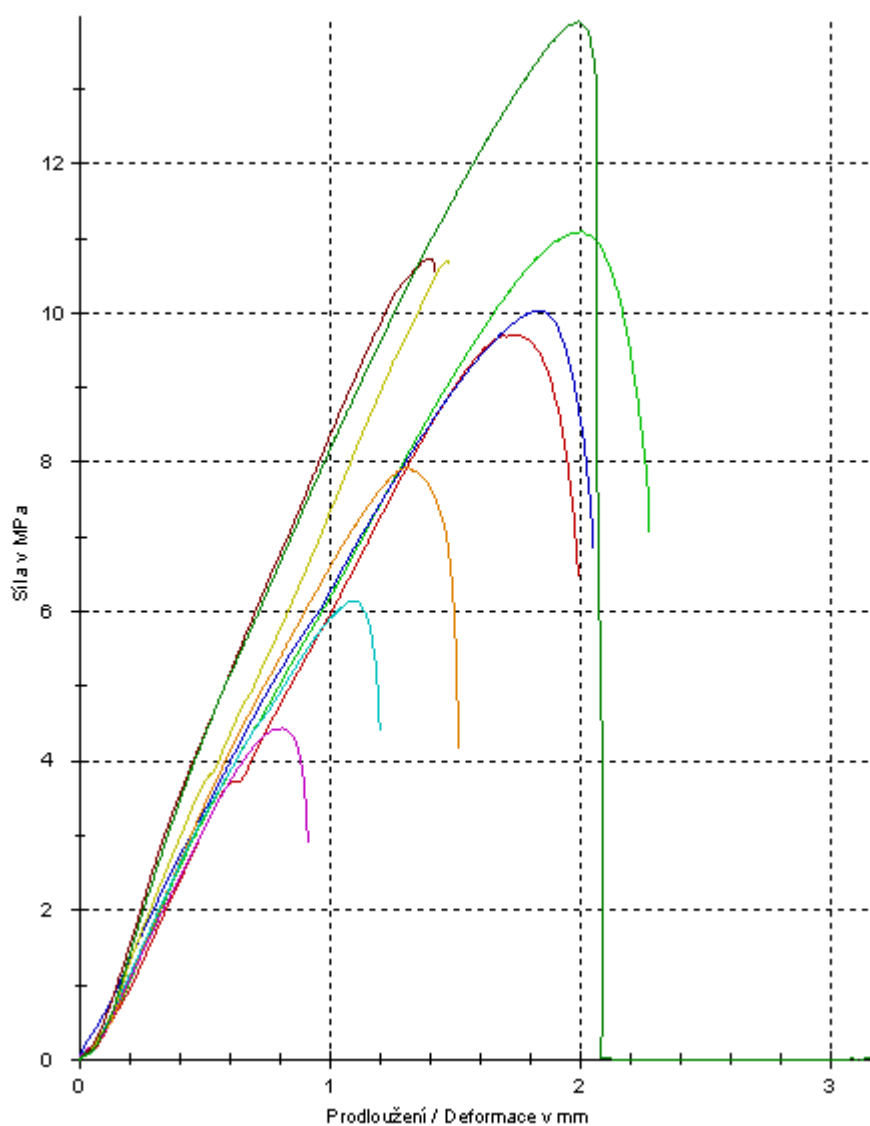
Obr. 56 - adhezni porušení na vzorku 1.6T

7.5.2 2. skupina vzorků

V této skupině je 9 vzorků ocelových plechů. U těchto vzorků byla použita úprava lepených ploch pomocí minerální drátěnky a acetonu.



Obr. 57 - 2. skupina vzorků



Obr. 58 - průběhy trhací zkoušky u 2. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	2.1	9,71	1,7	3230	2	S
	2.2	11,1	2	3540	2,3	S
	2.3	10	1,8	3420	2,1	S
	2.4T	7,94	1,3	2080	1,5	S
	2.5T	4,44	0,8	1450	0,9	S
	2.6T	6,14	1,1	2200	1,2	S
	2.7M	10,7	1,5	5320	1,5	S
	2.8M	10,7	1,4	5280	1,4	S
	2.9M	13,9	2	5,06	3,2	S

Obr. 59 - výsledky z trhací zkoušky pro 2. skupinu vzorků

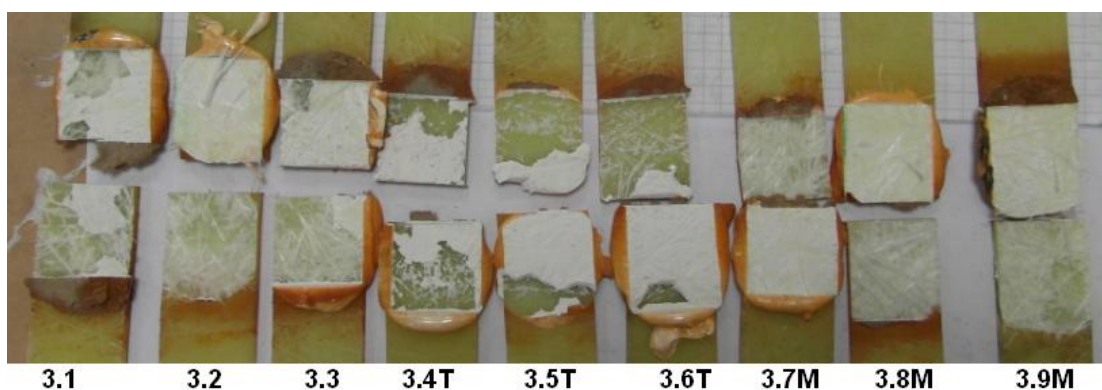
U všech vzorků nastalo smíšené porušení lepeného spoje. Opět se zde projevil vliv teploty, který měl menší dopady oproti 1. skupině vzorků. Využití minerální drátěnky a acetonu se ukázalo jako výhodnější volba z hlediska pevnosti, oproti přípravě jen samotným acetonem použitého u 1. skupiny vzorků.



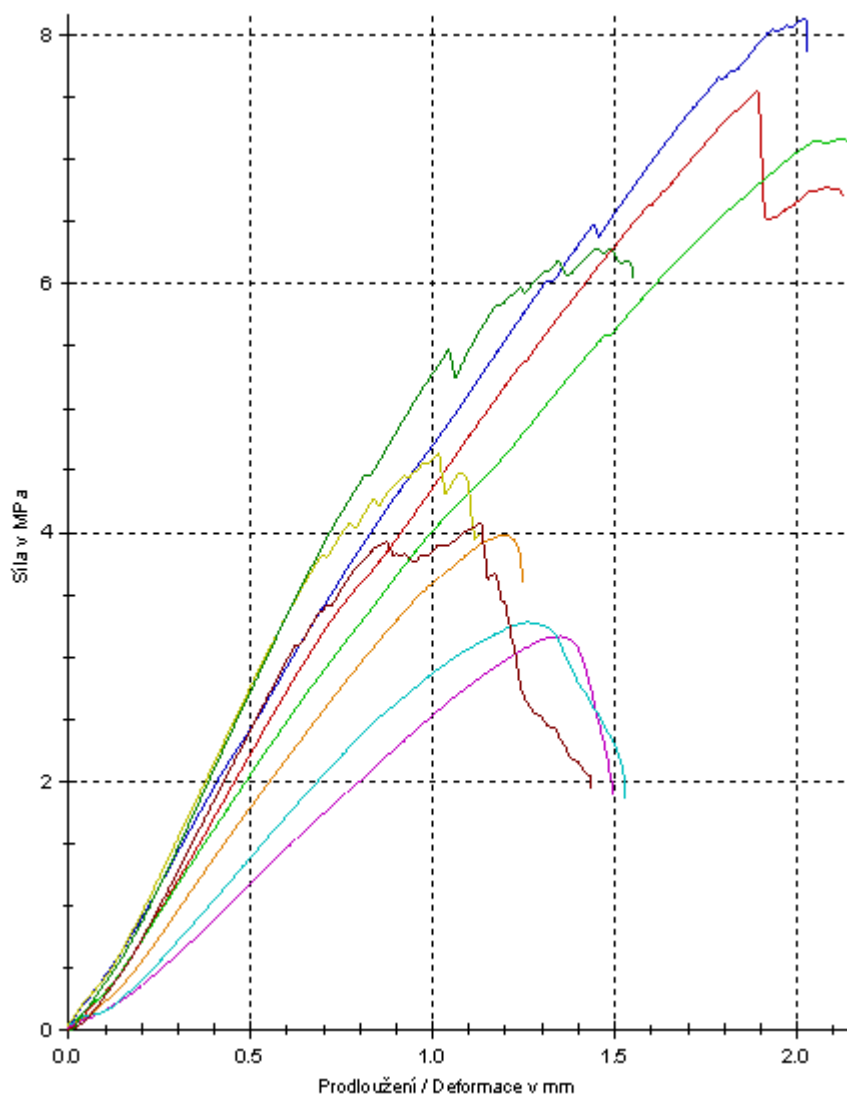
Obr. 60 – smíšené porušení na vzorku 2.4T

7.5.3 3. skupina vzorků

V této skupině je 9 vzorků laminátu. U těchto vzorků byla použita úprava lepených ploch pouze pomocí acetonu.



Obr. 61 - 3. skupina vzorků



Obr. 62 - průběhy trhací zkoušky u 3. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	3.1	7,56	1,9	4180	2,1	P
	3.2	7,17	2,1	4390	2,1	P
	3.3	8,12	2	4910	2	P
	3.4T	3,98	1,2	2250	1,2	K
	3.5T	3,16	1,4	1180	1,5	S
	3.6T	3,28	1,3	1160	1,5	K
	3.7M	4,65	1	2490	1,1	P
	3.8M	4,08	1,1	1210	1,4	P
	3.9M	6,28	1,5	3780	1,6	P

Obr. 63 - výsledky z trhací zkoušky pro 3. skupinu vzorků

U vzorů, které byly vystaveny účinkům vysoké teploty v troubě, nastalo kohezní a smíšené porušení. Teplota způsobila změkčení lepidla a tím i snížení pevnosti v tahu. U ostatních vzorků nastalo porušení základního materiálu laminátu. Kohezní a adhezní síly lepidla překonaly síly ve vláknech laminátu. Z pohledu lepení tento spoj vyhovuje.

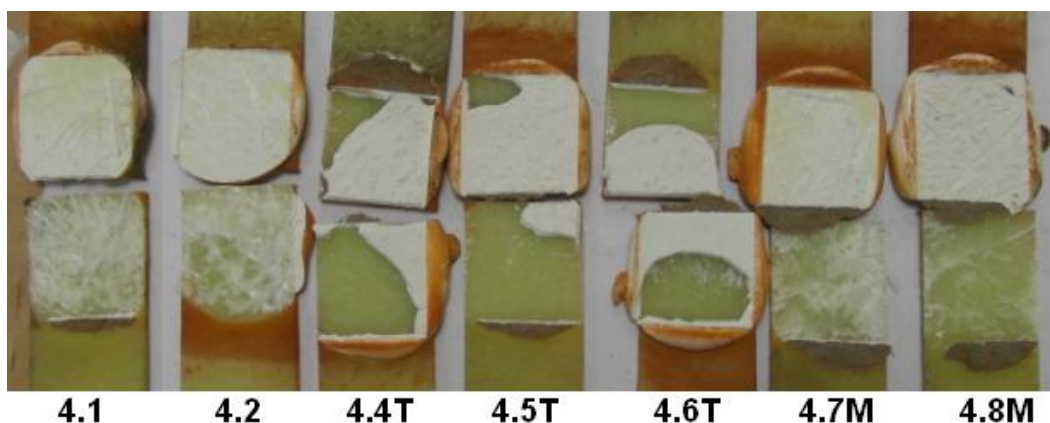
Úprava lepených ploch pouze pomocí acetonu nedopadla až tak špatně i u vzorků vystaveným vysoké teplotě byly naměřené přijatelné hodnoty. Tuto přípravu lepeného povrchu bych doporučil.



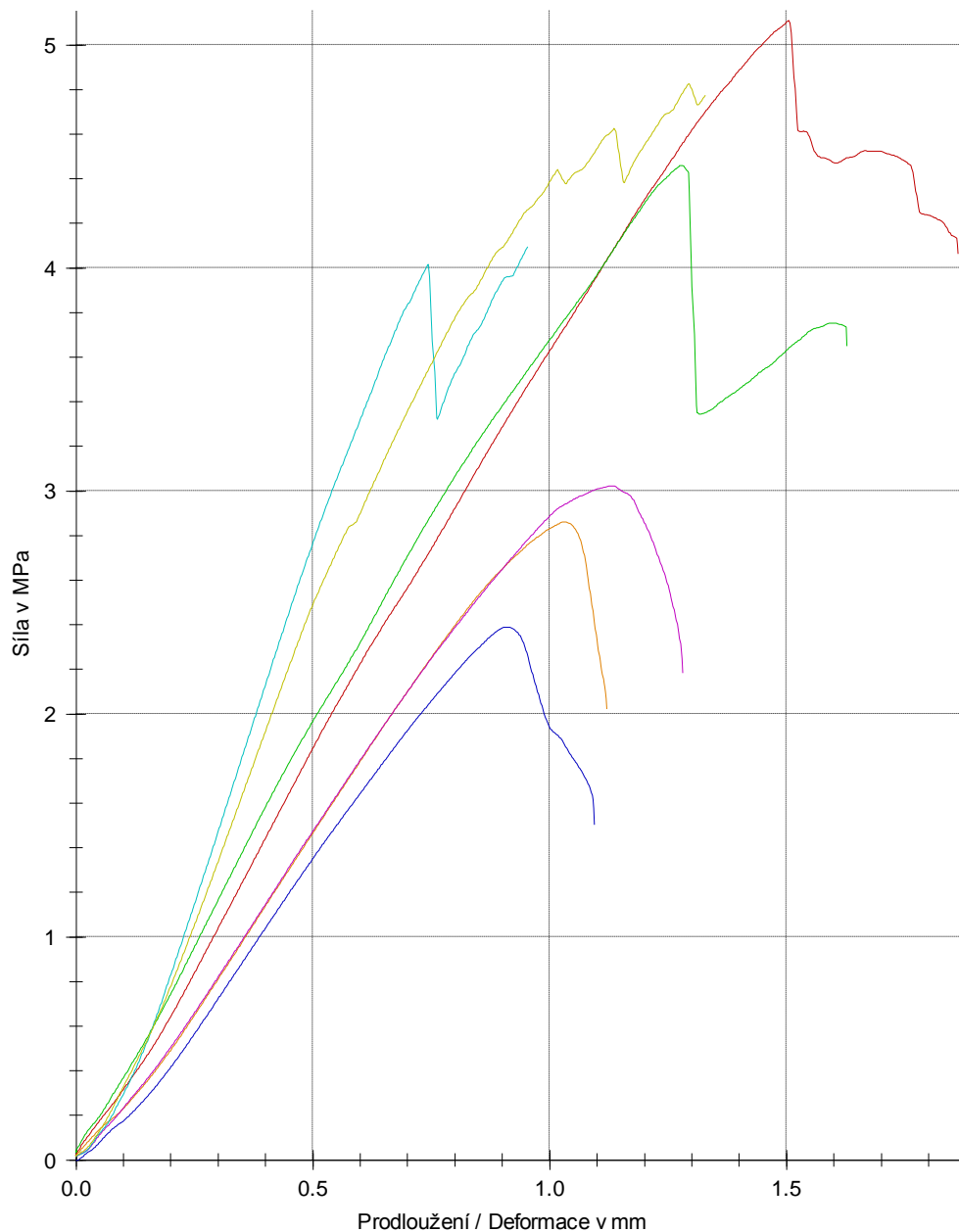
Obr. 64 - narušení základního materiálu na vzorku 3.7M

7.5.4 4. skupina vzorků

V této skupině je pouze 7 vzorků laminátu, protože dva vzorky se při lisování pohnuly a optimálně se nespojily. U těchto vzorků byla použita úprava lepených ploch pomocí brusného papíru K80 a acetonu.



Obr. 65 - 4. skupina vzorků



Obr. 66 - průběhy trhací zkoušky u 4. skupiny vzorků

Legenda	Označení vzorku	Pevnost [Mpa]	Prodloužení při lomu [mm]	Síla při lomu [N]	Celkové prodloužení [mm]	Typ porušení
	4.1	5,11	1,5	2540	1,9	P
	4.2	4,46	1,3	2280	1,6	P
	4.4T	2,39	0,9	939	1,1	A
	4.5T	2,86	1	1260	1,1	A
	4.6T	3,02	1,1	1370	1,3	A
	4.7M	4,1	1	2560	1	P
	4.8M	4,83	1,3	2980	1,3	P

Obr. 67 - výsledky z trhací zkoušky pro 4. skupinu vzorků

U vzorků 4.4T, 4.5T a 4.6T, které byly vystaveny účinkům vysoké teploty v troubě, se projevil nepříznivý vliv teploty. Ta způsobila adhezní porušení lepeného spoje, což mělo za následek snížení pevnosti spoje v tahu. U zbylých vzorků nastalo porušení základního materiálu laminátu.

Úprava lepených ploch pomocí brusného papíru K80 a acetonu absolutně selhala u všech vzorků. Tuto přípravu lepeného povrchu bych nedoporučil, i když se čekalo, že tato úprava lepeného povrchu by měla mít lepší naměřené hodnoty, než úprava jen pomocí acetonu.



Obr. 68 - adhezní porušení na vzorku 4.4T

Průměrné hodnoty pevnosti pro obě lepidla při teplotě místnosti.

Materiál vzorku	Předúprava	Aktivátor	Primer	Lepidlo	Pevnost [MPa]
ocel	minerální drátěnka	Sika Aktivátor- 205		Sikaflex- 265	3,42
ocel	minerální drátěnka	Sika Aktivátor- 205	Sika Primer- 206 G+P	Sikaflex- 265	4,7
laminát	brusný papír K30	Sika Aktivátor- 205		Sikaflex- 265	2,44
laminát	brusný papír K30	Sika Aktivátor- 205	Sika Primer- 206 G+P	Sikaflex- 265	3,61
ocel	aceton			SikaForce- 7720 L45	9,29
ocel	minerální drátěnka+ aceton			SikaForce- 7720 L45	10,27
laminát	aceton			SikaForce- 7720 L45	7,62
laminát	brusný papír K80+ aceton			SikaForce- 7720 L45	4,78

Obr. 69 – hodnoty pevnosti při teplotě místnosti

8 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je prováděno pro typ střechy, který se montuje na autobus SOR NB 12.

8.1 Výpočet pevnosti

Výpočet pevnosti lepeného spoje je počítán pro lepidlo Sikaflex- 265 + Booster. Výpočet je rozdělen na dvě části a to výpočet dilatací při tepelném zatížení střechy a samotný pevnostní výpočet. Z výpočtů zjistíme tloušťku lepené vrstvy a šířku lepeného spoje.

1. Výpočet dilatací

$\Delta l = ?$ rozdíl v roztažnosti

$l_0 = 12000\text{mm}$ délka dílu

$\alpha_{\text{laminát}} = 0,00002\text{K}^{-1}$ koeficient teplotní roztažnosti pro laminát

$\alpha_{\text{ocel}} = 0,000012\text{K}^{-1}$ koeficient teplotní roztažnosti pro ocel

$t_{\text{min}} = -30^\circ\text{C} = T_{\text{min}} = 243,15\text{K}$ min. teplota

$t_{\text{max}} = 80^\circ\text{C} = T_{\text{max}} = 353,15\text{K}$ max. teplota

rozdíl koeficientů teplotní roztažnosti

$$\Delta\alpha = |\alpha_{\text{laminát}} - \alpha_{\text{ocel}}| = |0,00002\text{K}^{-1} - 0,000012\text{K}^{-1}| = 0,000008\text{K}^{-1}$$

rozdíl teplot

$$\Delta T = |T_{\text{max}} - T_{\text{min}}| = |353,15\text{K} - 243,15\text{K}| = 110\text{K}$$

rozdíl roztažnosti

$$\Delta l = l_0 \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta T = 12000\text{mm} \cdot 0,000008\text{K}^{-1} \cdot 110\text{K}$$

$$\Delta l = 10,56\text{mm}$$

pravidlo: $t \geq \Delta l$

t- tloušťka lepené vrstvy

Volím tloušťku lepené vrstvy $t = 11\text{mm}$.

2. Pevnostní výpočet

$w_a = ?$ [mm]	šířka lepeného spoje
$l_a = 60000$ mm	délka lepeného spoje
$S = 3$	bezpečnostní faktor
$\tau_B = 6$ MPa	smysková pevnost lepidla
$f_T = 0,5$	redukční faktor pro max. teplotu 80°C
$f_t = 0,06$	redukční faktor pro dlouhodobé statické zatížení
$f_z = 0,08$	redukční faktor pro provozní dobu
$m = 300$ kg	hmotnost laminátové střechy
$g = 9,81$ m/s ²	gravitační zrychlení
$a = 5g$	zrychlení působící na střechu při nárazu

statické zatížení od vlastní hmotnosti

$$F_{static} = m \cdot g = 300 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 2943 \text{ N}$$

dynamické zatížení od zrychlení 5g

$$F_{dynamic} = m \cdot a \cdot g = 300 \text{ kg} \cdot 5 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 14715 \text{ N}$$

šířka lepeného spoje

$$w_a = \frac{S}{\tau_B \cdot f_T} \cdot \frac{\left(\frac{F_{static}}{f_t} + \frac{F_{dynamic}}{f_z} \right)}{l_a}$$
$$w_a = \frac{3}{6 \text{ MPa} \cdot 0,5} \cdot \frac{\left(\frac{2943 \text{ N}}{0,06} + \frac{14715 \text{ N}}{0,08} \right)}{60000 \text{ mm}}$$
$$w_a = 3,8831 \text{ mm}$$

Šířku lepeného spoje volím $w_a = 4$ mm.

Celková spotřeba lepidla V na střechu SOR NB 12 při délce lepené plochy 60m je:

$$V = w_a \cdot t \cdot l_a = 4 \text{ mm} \cdot 11 \text{ mm} \cdot 60000 \text{ mm} = 2640000 \text{ mm}^3 = 2,64 \text{ l}$$

V následující tabulce uvádím spotřebu 3l, protože se počítá s 15% přírůvkem.

8.2 Porovnání stávající technologie lepení s technologií SIKA

LEPENÍ A TMELENÍ		původní	SIKA č.1 laminátová střecha	SIKA č.2 sendvičová střecha	
Název materiálu - LEPENÍ		Dinitrol 515 A/B	Sikaflex 265 + Booster	Sikaflex 265 + Booster	
Barva		černá	černá	černá	
Příprava povrchu rámu		brusný papír	Minerální drátěnka	Minerální drátěnka	
Příprava povrchu střechy		brusný papír	brusný papír	Minerální drátěnka	
čas aplikace	min.	90	30	30	
Čistění a aktivace povrchu rámu		Dinitrol 520	Sika Aktivator- 205	Sika Aktivator- 205	
čas aplikace	min.	45	15	15	
odvětrání čističe	min.	10	10	10	
délka plochy na lepení pod střešou	m	180	60	60	
spotřeba materiálu na 1 metr délky spoje	ml/m	2,7	0,9	0,9	
celková spotřeba čističe	ml/ks	500	54	54	
Čistění a aktivace povrchu střechy		Dinitrol 520	Sika Aktivator- 205	Sika Aktivator- 205	
čas aplikace	min.	45	15	15	
odvětrání čističe	min.	10	10	10	
spotřeba materiálu	ml/ks	500	54	54	
Primerování rámu		Dinitrol 550	Sika Primer 206 G+P	Sika Primer 206 G+P	
čas aplikace	min.	45	15	0	
odvětrání odvětrání Primeru	min.	15	15	0	
spotřeba materiálu na 1 metr délky spoje	ml/m	4,16	1,39	0	
celková spotřeba primeru	ml	750	83,2		
Primerování střecha		Dinitrol 550	Sika Primer 206 G+P	Sika Primer 206 G+P	
čas aplikace	min.	45	15	0	
odvětrání odvětrání Primeru	min.	15	15	0	
spotřeba materiálu na 1 metr délky spoje	ml/m	4,16	1,39	0	
celková spotřeba primeru	ml	750	83,2	0	
Nanášení lepidla		Dinitrol 515 A/B	Sikaflex 265 + Booster	Sikaflex 265 + Booster	
čas aplikace	min.	105	35	35	
čas fixace	hod.	3	3	3	
spotřeba materiálu na 1 metry délky spoje	ml/m	171	50	50	
spotřeba materiálu celkem	ml	30798	3000	3000	
spotřeba materiálu celkem	L	30,80	3	3	
Počet pracovních kroků		7	7	6	
ČASOVÁ NÁROČNOST - (součet)		hod.	10,08	5,92	4,92
Čas pracovní - čas aplikace					
Příprava povrchu - minerální drátěnka	min.	90	30	30	
Čistění - aplikace	min.	90	30	30	
Primerování - aplikace	min.	90	30	0	
Lepení	min.	105	35	35	
CELKEM	min.	285	95	65	
CELKEM	hod.	4,8	1,6	1,1	
Hodinová sazba práce	Kč/hod	102	102	102	
CELKOVÉ PRACOVNÍ NÁKLADY	Kč/ks	485	162	111	
Čas režijní	min.	230	230	200	
Čas režijní	hod.	3,83	3,83	3,33	
Hodnota režijních nákladů	Kč/hod	200,00	200,00	200,00	
CELKOVÉ REŽIJNÍ NÁKLADY	Kč/ks	767	767	667	
CELKEM NÁKLADY PRÁCE		1 251	928	777	

NÁKLADY NA MATERIÁL		Cena materiálu	Cena měrné jednotky Kč/1ml	
Stávající materiál			Cena měrné jednotky Kč/1ml	
Dinitrol 520	Kč/L	380,00	0,380 Kč	
Dinitrol 550	Kč/L	780,00	0,780 Kč	
Dinitrol 515 A/B	Kč/L	450,00	0,450 Kč	
Sika Materiál		Cena materiálu	Cena měrné jednotky Kč/1ml	
Sika Aktivator	Kč/L	380,00	0,380 Kč	
Sika Primer 206 G+P	Kč/L	780,00	0,780 Kč	
Sika Primer 206 G+P	Kč/0,25l	684,00	2,736 Kč	
Sika flex 265 + Booster	Kč/L	450	0,450 Kč	
Náklady na spotřebovaný materiál/ks		Stávající řešení	SIKA č.1 Laminátová střecha	SIKA č.2 Sendvičová střecha
Dinitrol 520	Kč/ks	380,00		
Dinitrol 550	Kč/ks	585,00		
Dinitrol 515 A/B	Kč/ks	13 859,10		
Sika Aktivator	Kč/ks		41,04	41,04
Sika Primer 206 G+P	Kč/ks		64,90	0,00
Sika flex 265 + Booster	Kč/ks		1 350,00	1 350,00
CELKOVÉ MATERIÁLOVÉ NÁKLADY	Kč/ks	14 824	1 456	1 391
CELKOVÉ NÁKLADY LEPENÍ	Kč/ks	16 075,27	2 384,10	2 168,21
Počet ks vyrobených za rok	ks/rok	200	200	200
NÁKLADY CELKEM	Kč/rok	3 215 053,33	476 820,53	433 641,33
CELKOVÉ NÁKLADY	Kč/rok	3 215 053,33	476 820,53	433 641,33
CELKOVÁ ÚSPORA	Kč/rok	0,00	2 738 232,80	2 781 412,00

Obr. 70 – ekonomické zhodnocení

9 Vyhodnocení

Na lepení střešních panelů bych doporučil následující technologii lepení.

Technologii lepení se zachováním stávajícího konstrukčního řešení střechy autobusu s využitím lepidla Sikaflex- 265 + Booster. Pro lepidlo Sikaflex- 265 + Booster bych na laminát doporučil úpravu lepeného povrchu pomocí brusného papíru K30, Sika Aktivátoru- 205 a Sika Primeru- 206 G+P. Pro ocelové plechy bych doporučil úpravu lepeného povrchu pomocí minerální drátěnky, Sika Aktivátoru- 205 a Sika Primeru- 206 G+P. Ostatní kombinace přípravků na laminát i ocelové plechy se neukázaly nejhorší, ale neměly tak dobré výsledky jako úpravy povrchů, které jsem vyjmenoval.

Lepené plochy na laminátové střeše i na nosném rámu se ošetří pomocí příslušných přípravků. Na připravené plochy se bude nanášet trojúhelníková housenka lepidla o rozměrech 4mm x 11mm výšky. Při délce lepeného spoje 60m se spotřebuje cca 3l lepidla, což je kolosální úspora oproti stávajícímu řešení, u kterého se spotřebovalo cca 30,8l lepidla. Vše je způsobeno vypočítáním přesné délky lepeného spoje, který udrží laminátovou střechu. Stávající řešení bylo velmi předimenzované. Ze zkrácení lepené délky, plynou i další úspory, jako snížení množství aktivátorů a primerů a v neposlední řadě zkrácení časové náročnosti.

SOR ročně ušetří při využití této nové technologie lepení přibližně 2 738 232, 8 Kč. Počítáno za předpokladu výroby 200 kusů střech pro autobus SOR NB 12 ročně.

10 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo určit takové technologie lepení střešních panelů autobusů SOR Libchavy, které jsou ekonomicky výhodnější než stávající řešení.

Teoretická část práce se zabývá základními pojmy lepení, jako jsou adheze, koheze, smáčivost atd. Dále se teoretická část zabývá teorií lepení a i faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje. Také jsou zde popsány přípravky firmy SIKA, které jsem využil v experimentu. Následují předpisy zkoušek lepených spojů a v neposlední řadě je tam popsána analýza současného stavu.

Experimentální část se zabývá testy vzorků na adhezi a na pevnost v tahu. Jsou zde popsány zkoušené materiály vzorků a postup jejich přípravy. Nakonec jsou zde výsledky ze zkoušek a jejich vyhodnocení včetně ekonomického zhodnocení.

11 Použitá literatura

- [1] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. Vydání třetí, upravené. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1986. 288 s.
- [2] BOUBLÍK, Vlastimil. *Lepidla a jejich příprava*. Vydání druhé, nezměněné. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 192 s.
- [3] Technická univerzita Liberec [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Katedra strojírenské technologie. Dostupný z WWW: <<http://www.ksp.tul.cz>>.
- [4] Lepení [online]. [2010] [cit. 2010-07-08]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm.
- [5] Lepení [online]. [2010] [cit. 2010-07-08]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
- [6] Interní materiály firmy SIKA CZ
- [7] SIKA CZ [online]. c2003 [cit. 2008-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.sika.cz/>
- [8] HARTL, M. Prezentace technologie lepení. In *Konstruování strojů – strojní součásti*. Brno, [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <www.vutbr.cz>.
- [9] Materiály firmy SOR Libchavy