

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Interakce degradace adherendu, lepidla a lepeného spoje

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Libor Kalibán

Praha 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Libor Kalibán

obor Obchod a podnikání s technikou

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Interakce degradace adherendu, lepidla a
lepeného spoje**

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Technologické a degradační aspekty ovlivňující lepené spoje
4. Experimentální posouzení interakce degradace adherendu, lepidla a lepeného spoje
5. Závěr
6. Seznam literatury
7. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

DUCHÁČEK, V.: Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT Kanag – tisk, 2006. 278 s.

HABENICHT, G.: Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendung. Berlin: Springer 2002. 921 s.

LANCASTER, J. F.: Metallurgy of welding. Cambridge: Abington Publishing, 2001. 446 s.

MESSLER, R. W.: Joining of materials and structures from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Elsevier, 2004. 790 s.

MITTAL, K. L.: Contact angle, wettability and adhesion. Boston: Brill Academic Publisher, 2003, 532 s.


PACKHAM, D. E.: Handbook of adhesion. Chichester: John Wiley and Sons, 2005. 638 s.

Časopisy: The journal of adhesion, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, International Journal of Fatigue, Strojírenská technologie, International Journal of Adhesion & Adhesives.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan


V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, po odborných konzultacích s doc. Ing. Miroslavem Müllerem, Ph.D. s použitím literárních pramenů uvedených v seznamu literatury.

v Praze dne 29.3. 2011

podpis:



Poděkování

Děkuji doc. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph.D. za odborné vedení práce a ochotu při konzultacích, ve kterých mi poskytl mnoho cenných rad.

Interakce degradace adherendu, lepidla a lepeného spoje

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá technologickými a degradačními aspekty ovlivňující lepené spoje a je rozdělena do dvou základních částí.

V první části, literární rešerši je popsána technologie lepení a také procesy degradace polymerů. V práci jsou uvedeny informace o obecných pravidlech lepení. Hlavním cílem je vymezení použití lepidel podle daného lepeného materiálu, trendy v současné technologii lepení a stanovení příčin degradace materiálu v jednotlivých prostředích.

Ve druhé části je samotný experiment, který obsahuje sledování postupné degradace lepených spojů a odlitků lepidla v závislosti na čase. Ve vybraných pěti degradačních prostředích jsou zkušební tělesa testována. Jedná se o vodu, vodu se solí, olej, naftu a hnojivo.

Klíčová slova: lepidlo, odolnost, zkušební těleso, adheze, koheze

Interaction of adherend, adhesive and adhesive bond degradation

Summary:

This thesis is about the degradation and technological aspects affecting the adhesive joints. The thesis is divided into two main parts.

The first part describes bonding technology and polymer degradation processes. The main objective is to determine the use of adhesives according to the bonding material, to determine current technology trends in bonding and to reasoning material degradation in different environments.

An experiment, which includes monitoring the gradual degradation of glued joints and glued casts in relation to time, is in the second part. Test samples were tested in five degradation different environments such as water, water with a salt, oil, fuel and nitrogen fertilizer.

Key words: adhesive, resistance, test sample, adhesion, cohesion

Obsah

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 1 |
| 2 | Cíl práce a metodika | 2 |
| 3 | Technologické a degradační aspekty ovlivňující lepené spoje..... | 3 |
| 3.1 | Základní principy technologie lepení..... | 3 |
| 3.1.1 | Základní pravidla lepení | 3 |
| 3.1.2 | Technologie lepení dle lepených materiálů | 7 |
| 3.1.3 | Adheze a koheze | 14 |
| 3.1.4 | Interakce adherendu, lepidla a lepeného spoje | 15 |
| 3.1.5 | Výhody a nevýhody lepení | 16 |
| 3.1.6 | Nové trendy a technologie v lepení | 17 |
| 3.2 | Degrazační aspekty | 20 |
| 3.2.1 | Odolnost, koroze a degradace polymerů..... | 20 |
| 3.2.2 | Závady lepených spojů a jejich příčiny | 23 |
| 4 | Experimentální posouzení interakce degradace adherendu, lepidla a lepeného spoje | 27 |
| 4.1 | Normy | 27 |
| 4.1.1 | ČSN EN 1465 | 27 |
| 4.1.2 | ČSN EN ISO 9142..... | 27 |
| 4.1.3 | ČSN EN ISO 3167..... | 28 |
| 4.1.4 | ČSN ISO 10365 | 29 |
| 4.2 | Vzorky z oceli | 30 |
| 4.2.1 | Zkušební tělesa | 30 |
| 4.2.2 | Metodika práce | 30 |
| 4.2.3 | Použité pomůcky a zařízení | 31 |
| 4.2.4 | Pracovní postup..... | 31 |
| 4.3 | Odlitky z epoxidové pryskyřice 1200 KM PLUS | 33 |
| 4.3.1 | Zkušební tělesa | 33 |
| 4.3.2 | Metodika práce | 33 |
| 4.3.3 | Použité pomůcky a zařízení | 34 |
| 4.3.4 | Pracovní postup..... | 34 |
| 4.4 | Matematické vztahy | 36 |
| 4.5 | Zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot | 38 |
| 4.5.1 | Lepený spoj vzorků z oceli ve vodě..... | 38 |
| 4.5.2 | Lepený spoj vzorků z oceli ve vodě se 33% roztokem soli | 39 |
| 4.5.3 | Lepený spoj vzorků z oceli v oleji | 40 |
| 4.5.4 | Lepený spoj vzorků z oceli v naftě | 41 |
| 4.5.5 | Lepený spoj vzorků z oceli v universálním hnojivu Cererit..... | 43 |
| 4.5.6 | Odlitky z epoxidové pryskyřice ve vodě | 45 |
| 4.5.7 | Odlitky z epoxidové pryskyřice ve vodě se 33% roztokem soli..... | 46 |
| 4.5.8 | Odlitky z epoxidové pryskyřice v oleji..... | 47 |
| 4.5.9 | Odlitky z epoxidové pryskyřice v naftě..... | 47 |
| 4.5.10 | Odlitky z epoxidové pryskyřice v universálním hnojivu Cererit..... | 48 |
| 5 | Závěr..... | 51 |
| 6 | Použitá literatura | 53 |
| 7 | Seznam příloh | 55 |

1 Úvod

Lepení je jednou z nejdůležitějších spojovacích technik využívaných ve všech oblastech lidského podnikání a tvoření. Lepením lze získat spoje takových vlastností a tvarů, které nelze jinými způsoby spojování dosáhnout. V určitých oblastech průmyslového využití může být pouze jedinou možnou volbou správného provedení spoje materiálu. Pokud je spoj proveden správně, dovede odolat i velmi nepříznivým změnám povětrnostních podmínek a teplotním výkyvům.

Důležitá je dokonalá příprava materiálů před lepením, použití vhodného druhu lepidla a správná konstrukce lepeného spoje, aby nedošlo k selhání.

Lze říci, že je možné lepit takřka všechny materiály mezi sebou navzájem nebo s jinými materiály. Lepení umožňuje provedení pevných a současně pružných spojů, i vrstvení materiálů na sebe. Avšak ne každé lepidlo poskytuje pevné spoje na všech druzích materiálů, univerzální lepidla totiž neexistují.

Za optimální pevnosti konstrukčně použitelných lepených spojů v hlavních kritériích namáhání se považují hodnoty odpovídající hodnotám spojovaného materiálu.

Znalost podmínek, při kterých dochází ke znehodnocování lepených spojů a způsob jejich ochrany jsou velice důležité. Lepené spoje musí odolávat vůči přírodnímu prostředí, tzn. odolnost vůči povětrnosti, kyslíku, ozonu, slunečnímu záření, dále vůči zvýšeným teplotám, ohni, chemickým činidlům a mechanickému namáhání. Lepené spoje ovlivňuje koroze lepeného materiálu a degradace.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této práce je seznámení s novými vývojovými trendy technologie lepení, degradačními procesy a zejména provedení a vyhodnocení experimentu.

V teoretické části práce jsou popsána základní pravidla technologie lepení, objasněny termíny adheze a koheze, výhody a nevýhody lepení a především zajímavé nové technologie v lepení, např. technologie lepení šterku pryskyřicí, lepení hliníku a duralu kyanoakryláty nebo nové technologie v lepení plastů. V další části týkající se degradačních procesů je pozornost věnována především degradaci polymerů, jimž je právě epoxidová pryskyřice 1200 KM PLUS použita při experimentu.

V experimentální části práce je cílem porovnat a vyhodnotit působení jednotlivých degradačních prostředí na lepené spoje u zkušebních těles z oceli a odlitků z epoxidové pryskyřice. Z důvodu urychlení degradace je možné využít urychlujících procesů, tj. uložení v médiu, v peci a v chladicí komoře. Po ukončení degradačního procesu je úkolem změření pevnosti ve smyku tahem, hodnoty porovnat a vyhodnotit v grafech, dle jednotlivých médií a zároveň v porovnávacím grafu.

3 Technologické a degradační aspekty ovlivňující lepené spoje

Pevnost lepeného spoje závisí na řadě faktorů. Vlastnosti lepeného spoje se odvíjejí od technologie lepení. Musí být dodržen přesný sled operací, aby byl spoj dostatečně kvalitní. Poté je lepený spoj vystaven zátěži v závislosti na čase. Lepený spoj ztrácí vlivem času svoji pevnost, neboli degraduje. Záleží na prostředí, ve kterém se nachází, zda-li musí odolávat agresivnímu prostředí, prudkým změnám teplot či chemickým vlivům.

3.1 Základní principy technologie lepení

Technologie lepení patří mezi základní technologie spojování. Základem je vhodná volba typu lepidla pro spojení daného materiálu. Také na základě typu lepidla lze vybrat vhodný druh aplikace. Ve většině případů se jedná o úlohu obecnou, kdy je nezbytné nalézt vhodné lepidlo současně s vhodnou aplikací. Současně s tímto je nutné dodržet všechny další aspekty této technologie, například úprava povrchu, způsob nanášení nebo také chování lepidla během samotného procesu lepení. [2,8]

3.1.1 Základní pravidla lepení

Lepidly (adhezivy) se obecně rozumějí materiály schopné spojovat povrchy tuhých látek (adherendů) jednak přilnavostí (adhezí) adheziva k adherendu, jednak soudržností (kohezí) samotného adheziva. Nejsou to většinou látky jednoduché, ale směsi. [4]

Hlavní složkou lepidla je pojivo neboli adhezní základ, zajišťující pevnost a odolnost spoje. Použití pojiva k lepení umožňuje většinou nosič, kterým může být voda nebo organické rozpouštědlo, ale i papír (samolepící etikety), textil (leukoplast, izolační a kobercové lepicí pásy) nebo polymerní fólie (například izolepa). Reaktivní lepidla (např. epoxidová) obsahují dále vytvrzovací systém. Nejrůznější vlastnosti lepidla pak ovlivňují modifikátory. Jedná se např. o úpravu tokových vlastností ředidly a plnivy, zvětšení odolnosti vůči vnějším vlivům stabilizátory, ale i zlevnění lepidla nastavovadly. [4]

Lepidla představují nejrůznější, často složité polymerní směsi a lze je proto charakterizovat podle mnoha hledisek viz Tab.1. Klíživé je lepidlo, jehož pojivo je rozpustné ve vodě, je to roztokové lepidlo, jehož nosičem pojiva je voda. Disperzní lepidlo je vhodná disperze pojiva, jeho nosičem je tedy také voda, ale pojivo v ní není rozpustné. Roztoková

lepidla jsou roztoky pojiva v organických těkavých rozpouštědlech. Bezrozpuštědlová (reaktivní lepidla) těkavá rozpouštědla neobsahují, jejich pojivy jsou reaktoplastické pryskyřice. [4]

Tab. 1: Rozdělení lepidel

| | | | |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Podle původu | přírodní | polosyntetická | syntetická |
| | klihová, pryskyřičná, bitumenová | z derivátů škrobu, bílkovin, celulózy | polymerační, polykondenzační, polyadiční |
| Podle pojiva | reaktoplastická | termoplastická | elastomerní |
| | aminoplastická, epoxidová, polyurethanová, polyesterová | z polymerů vinylových, styrenových, akrylových, z derivátů celulózy | z kaučuku přírodního, butadien-styrenového a -akrylonitrilového, chloroprenového, silikonového, z polyizobutylenu |
| Podle reaktivity a nosiče | | nereaktivní | reaktivní |
| | | disperzní, roztoková, tavná, přílnavá | bezrozpuštědlová (reaktoplastická): - jednosložková - vícesložková |
| Podle konzistence | tuhá | polotuhá | kapalná |
| | tavná | přílnavá, tmelý, pasty | disperzní, roztoková, bezrozpuštědlová |
| Podle odolnosti spoje k vodě | neodolná | krátkodobě | trvale odolná |
| | škrobová, bílkovinná, polyvinyl- alkoholová, methyl- celulózová, karboxymethyl- celulózová | močovino- formaldehydová, polyvinyl- acetátová, polyvinyl- etherová, nitrocelulózová, elastomerní | fenoplastická, melamino- formaldehydová, polyurethanová, epoxidová, polymethyl- methakrylátová silikonová |

[4]

Tavné lepidlo je naopak tvořeno termoplastickou hmotou, která se před použitím převede do plastického stavu zahřátím. Přílnavé lepidlo je stále lepkavé a lze prakticky ke všem materiálům, často bývá nanášeno na podklad z papíru nebo jiného materiálu (samolepicí pásy, etikety atd.). [4]

První adheziva byla na základě klihu, dále vývoj pokračoval přes přírodní pryskyřice, škrob a bílkoviny k syntetickým polymerům. Přejdem mezi přírodními lepidly a plně syntetickými jsou tzv. polysyntetická adheziva na základě celulózy, zahrnující jak vodorozpustné druhy, tak i druhy rozpustné v organických rozpouštědlech. Syntetická lepidla lze podle druhu rozdělit na termoplastická, reaktoplastická, elastomerní a směsná. [4]

Výběr a příprava lepeného materiálu

Materiál musí vyhovovat požadavkům kladeným na vlastní lepený spoj, jeho realizaci, ale i na ekonomické podmínky. Vybraný materiál musí vyhovovat především pevnostním nárokům v daných podmínkách namáhání. Dále materiál hodnotíme z chemického hlediska a odolnosti vůči korozi. Rozhodující je smáčivost adherendu lepidlem. Mezi základní úpravy povrchu patří fyzikální úpravy, jako jsou broušení, tryskání a kartáčování. Chemické úpravy povrchu jsou odmašťování v lázních, tamponem, mořením a fosfatizací. Získané informace a provedené úpravy jsou základem pro výběr lepidla. [2,6,8]

Výběr a příprava lepidla

Některé materiály lze slepit jen po speciální předchozí úpravě povrchu, která při individuálních pracích nebývá možná. Nejdůležitějším ukazatelem při výběru lepidla je znalost složení, struktury a propustnosti plynů u obou lepených dílců. Dalším hlediskem při výběru lepidla a technologie lepení jsou vlastnosti lepeného souboru požadované při jeho použití. Jsou to nároky na pevnost, tepelnou odolnost, chemickou stálost, vodovzdornost spoje, odolnost vůči povětrnosti. Příprava lepidla na lepení závisí na čtyřech základních faktorech, tj. na druhu lepidla, stavu lepidla po uskladnění, způsobu nanášení a způsobu vytvrzování. [2,3,8]

Podmínky lepení

a) Čistota povrchu

K dosažení optimální pevnosti spoje je zapotřebí mimo jiné dokonalý styk lepidla s povrchem lepeného materiálu. Na znečištění jsou velmi citlivé především spoje hladkých a neporézních materiálů, například kovů, skla a porcelánu. Plochy pro lepení se čistí odlišně podle druhu materiálu. [2,3]

b) Hladkost povrchu

Nejvhodnější jsou plochy jemně opracované, nikoli hlazené nebo leštěné. Přiměřené zdrsnění lepeného povrchu má příznivý vliv na pevnost spoje tím, že zvětšuje absolutní plochu možného styku s lepidlem. [2,3]

c) Porézita a nasákavost

Porézita a nasákavost lepeného materiálu zvětšují plochu styku filmu lepidla a lepeného materiálu. Při splnění ostatních předpokladů pro vznik pevného spoje poskytují nasákavé a pro plyny propustné materiály (například dřevo) k lepení obecně lepší podmínky než materiály opačných vlastností (například sklo). Mezi záporné stránky lze zařadit rychlost vsakování a to tím více, čím méně je viskózní. [2,3]

Provedení lepeného spoje

Konečná fáze technologie lepení se zpravidla rozděluje na dva druhy operací. První je vytvoření mechanických podmínek pro vznik pevného spoje, druhým je vytvoření vhodných podmínek pro vznik vazeb ve spoji. [2,3]

Tuhé konstrukční materiály se před lepením upravují na povrchu ručním hoblováním, pilováním, vrtáním a zdrsňováním ocelovým kartáčem, ocelovými hoblinami nebo brusnými papíry. Odmašťováním se odstraňují zbytky nečistot. Těkavými organickými rozpouštědly, aceton, xylen, benzin, nebo vodnými roztoky saponátů. [2,3]

Většina lepidel nabývá optimálních adhezních vlastností tehdy, neklesne-li tloušťka ztuhlého filmu lepidla ve spáře pod spodní limit 0,05 mm, horním limitem je hranice 0,25 mm. Není-li možné dosáhnout požadované rovnosti a souběžnosti lepených dílců je nutné pracovat buď s lepivými tmely, nebo lepivými vložkami na bázi impregnovaných tkanin. Lepidlo musí být nanášeno v takovém stavu, aby v určitém momentu zpracování, u tekutých lepidel ihned, u tavných lepidel po zahřátí, vytvořilo tekutou vrstvu, která smáčí mikropóry povrchu. Nános lepidla po celé ploše spoje je samozřejmý. Dále je tu možnost nanést lepidlo jednostranně nebo oboustranně. Nanášení lepidla je určitá mezifáze, která odděluje přípravné operace od vlastního vytvoření lepeného spoje. [2,3,8]

Časový interval počínající okamžikem nanesení tekutého lepidla a končící přiložením druhé lepené plochy je dobou otevřeného sestavení spoje. Doba otevřeného sestavení spoje nesmí překročit limit pracovní živnosti lepidla. Od okamžiku, kdy obě lepené plochy byly na

sebe přiloženy, do okamžiku tlaku, probíhá doba uzavřeného sestavení spoje, která musí být vždy co nejkratší, aby lepidlo neztuhlo ještě před vyvozením tlaku na soubor. [2,3]

K nežádoucímu posunu lepených materiálů může dojít až po zavedení tlaku nebo po zvýšení teploty. Před vyvozením tlaku na spoj je důležitou operací fixace vzájemné polohy lepených dílců. Vytvoří se fyzikální a chemické podmínky pro vznik pevných vazeb. Správně zvoleným tlakem lze dosáhnout stejnoměrného rozvrstvení lepidla ve spáře u poddajných hmot (například dřeva) i vyrovnání menších nerovností, které by bránily souběžnosti spojovaných ploch. Tlak musí působit kolmo na lepené plochy. Lepené díly se pomocí vhodných přípravků zafixují pod předepsaným tlakem k sobě. [2,3,8]

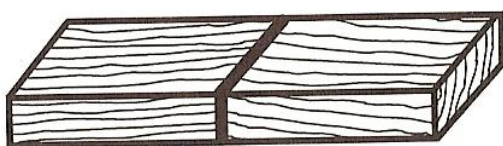
3.1.2 Technologie lepení dle lepených materiálů

Lepení dřeva

S postupným vývojem technologie opracování dřeva rostly i nároky na technologie spojování dřevěných dílů. Dříve se užívala k lepení pouze přírodní lepidla rostlinného nebo živočišného původu. V současnosti se s dřívě obvyklým klijem setkáme pouze v uměleckých řemeslech, protože je potřeba dodržet původní historické technologie spojování dřevěných dílů. [1,2]

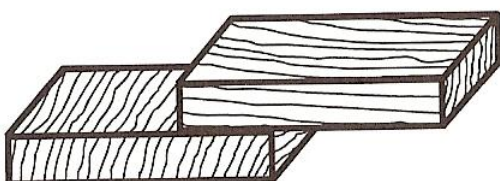
Při lepení přicházejí v úvahu čtyři základní možnosti vzájemné polohy růstové struktury viz. Obr. 1, 2, 3, 4.

Obr. 1: Spoj tupý(čelní) vhodný v případě dostatečné plochy lepeného spoje



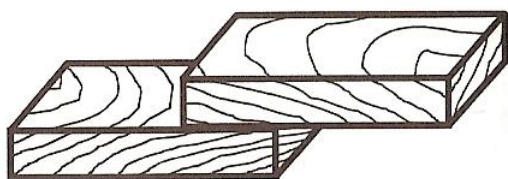
[1]

Obr. 2: Spoj příčný vhodný pro spoje s minimálním namáháním



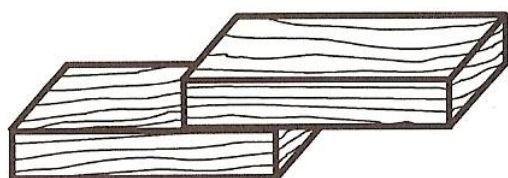
[1]

Obr. 3: Spoj hvězdicový (letorosty šikmo, navzájem překřížené)



[1]

Obr. 4: Spoj rovnoběžný vhodný pro namáhání v tahu i tlaku



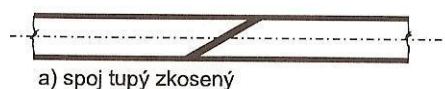
[1]

Nejvyšší pevnosti dosahují spoje s rovnoběžným a hvězdicovým uspořádáním letorostů na stykových plochách, která jsou zobrazena na Obr. 3 a 4. Vždy je nutné vědět, s jakým druhem namáhání je třeba počítat v místě každého spoje. Podle toho je třeba jednotlivé díly vyrábět s přihlédnutím k růstové struktuře dřeva. [1,2]

Je důležité, aby styková plocha ve spoji byla co největší. Stykové plochy se upravují do různých tvarů tak, aby se složka namáhání měnila na namáhání smykové, které je pro lepený spoj vhodnější viz. Obr. 5, 6, 7. [1,2]

Hlavní typy spojů používané při lepení dřeva:

Obr. 5: Spoj tupý zkosený – základní nejjednodušší spoj



[1]

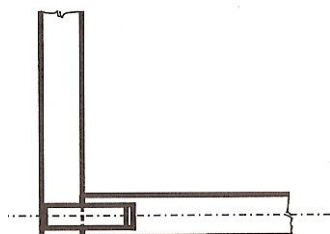
Obr. 6: Spoj pero-drážka – obtížně proveditelný spoj



b) spoj pero - drážka

[1]

Obr. 7: Rohový spoj kolíkový – nejsnadněji realizovatelný spoj, stačí použít vrtačku



c) rohový spoj kolíkový

[1]

Lepidla vhodná pro lepení dřeva lze členit z více hledisek. Lepíme-li větší plochy, vhodná jsou lepidla disperzní, epoxidová a polyuretanová. K lepení malých dílů lze použít lepidla rozpouštědlová na bázi roztoků termoplastů nebo nitrocelulózy v organických rozpouštědlech. Nejznámějším představitelem je Kanagom. [1,2]

Roztoková lepidla je vhodné nanášet na obě lepené plochy. Pokud nejsou oba povrchy stejně savé, například jeden je po vláknech druhý přes vlákna, nanáší se lepidlo nejdříve na povrch méně savý nebo po vláknech. V opačném případě by mohlo dojít k vsáknutí lepidla do lepeného materiálu ještě před uzavřením spoje a nevznikl by souvislý lepidlový film.

Velmi často používaná jsou v dnešní době kyanoakrylátová vteřinová lepidla. Spoje dosahují pevnosti po několika sekundách až desítkách sekund. Konečné pevnosti, která se rovná nebo překračuje pevnost lepeného dřeva, dosahují spoje po 24 hodinách. Dělí se na nízkoviskozní (řídka), která se hodí zejména k lepení nesavých materiálů a na pastovité (gely), která jsou velmi dobře použitelná i k lepení měkkého dřeva. [1,2]

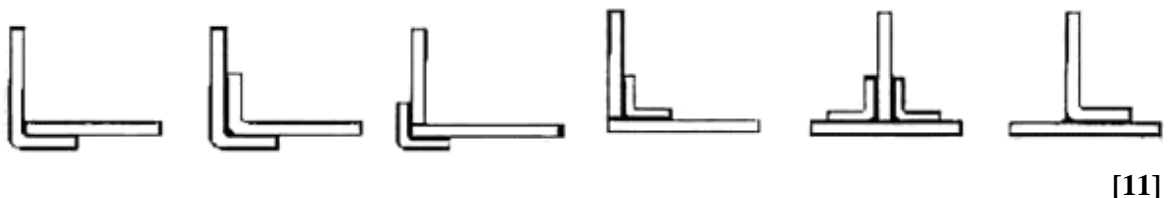
Lepení kovů

Lepení kovů je proces spojování materiálů, při kterém se dosahuje trvalého spojení stejných, popřípadě různých materiálů prostřednictvím lepidel. Lepidlo na kovy je možné definovat jako látku schopnou utvořit pevné a trvalé spojení mezi dvěma kovovými materiály. Uvedená schopnost závisí na adhezi k povrchům lepených materiálů a na kohezi samotného lepidla. [2,11]

Lepení kovů má v porovnání s jinými technologiemi spojování materiálů nesporné výhody. Například vysoká pevnost, těsnost spojů, odolnost vůči korozi, možnost spojování různých kovových materiálů navzájem (kombinační lepení), možnost spojování velmi tenkých kovových materiálů, výroba lepených spojů s velmi dobrou tepelnou, zvukovou a elektrickou izolací, ale také s možnou elektrickou vodivostí. Lepené spoje se často používají při spojování slitin lehkých kovů a lepení neželezných kovů. Lepené spoje ocelových materiálů mají v porovnání se svarovými spoji v některých případech vyšší pevnost. Velmi důležitým faktorem lepených spojů je jejich vysoká bezpečnost při poruše. [2,11]

Lepenou konstrukci je nutné rozdělit na části co nejméně složité a vhodné k lepení viz. Obr. 8. Při lepení je třeba přísně dodržet technologický předpis a vyhnout se dvojitému lepení, které je při montáži vystavené odlupujícím silám. Na lepení se nehodí dílce s velkým a složitým zakřivením. Nejběžnější jsou jednoduše přeplátované spoje. Lepší výsledky z hlediska pevnosti se dosahují u tenkých plechů. Spoje je třeba situovat tak, aby byly namáhány ve smyku a ne v odlupování. Lepidlo si konstruktér vybírá dle požadavků na pevnost spoje, podle technologie zpracování a samozřejmě podle ceny. [2,11]

Obr. 8: Příklady konstrukčních provedení koutových spojů



[11]

Kovové konstrukce ovlivňuje další faktor, který u dřevěných konstrukcí nemusíme většinou brát v úvahu. Je jím sklon k rozkmitání kovové konstrukce.

Příprava materiálů na proces lepení se skládá z dělení, obrábění, čištění, odmašťování a slícování lepených dílců. Vždy je nutné povrch lepených dílů odmastit. Odmaštění se provádí bezprostředně před nanesením lepidla, aby se na povrchu lepených ploch nestačily projevit korozní vlivy okolního prostředí. K odmaštění je vhodný aceton, etylalkohol (líh), perchloretylen nebo některé speciální odmašťovací přípravky. [1,2,11]

Při výběru lepidla je třeba brát v úvahu, že jde o soubor zcela nepropustných ploch. Z tohoto důvodu nelze použít roztoková a disperzní rozpouštědlová lepidla. Obvykle se k lepení kovů používají lepidla reaktivní. Všeobecně se používají lepidla kyanoakrylátová, epoxidová, polyuretanová, akrylátová anaerobní a také lepidla stále lepivá. [1,2]

Lepení plastů

V České republice se zcela běžně využívá lepení plastů v průmyslové výrobě, např. při lepení fólií v nábytkářském průmyslu, při výrobě obuvi, v leteckém průmyslu. Lepení plastů je kromě jejich svařování a mechanického spojování hojně používáno ve stavebnictví při spojování potrubí, lepení fólií, zvláště podlahovin, nebo spojování desek z plastů a také v plynárenství při spojování potrubí. [2,9]

V porovnání s lepením kovů se zdá lepení plastů přirozenější. Lepení se dá považovat za velmi vhodný systém spojování plastů stejného i odlišného druhu. Pro některé druhy plastů je to jediný způsob spojování. Výhodou při lepení plastů je blízká hodnota koeficientu tepelné roztažnosti a vodivosti tepla a adherendu. [2,6]

Odlišné je lepení v průmyslových aplikacích, kde to mají konstruktéři trochu jednodušší, protože mají k dispozici specifikace použitých materiálů. V domácích podmínkách, kdy je potřeba opravit plastový výrobek, může být rozlišení plastů téměř nepřekonatelný problém. Plasty lze rozdělit na reaktoplasty a termoplasty. [1,2]

I. Reaktoplasty

Fenoplasty (bakelit)

Jsou to teplem tvrditelné lisovací hmoty obsahující fenolformaldehydové pryskyřice s různými plnivy organického původu. Jsou to výlisky nebo vrstvená hmota technického charakteru (pentinax, texgumoid) a dekoračního (umakard) charakteru. Výlisky i vrstvené hmoty mají tmavé zbarvení, teplotní odolnost je 130 až 150 °C. [1,2]

Pro lepení fenoplastů jsou vhodná reaktivní lepidla. Pro lepení a opravy malých dílů jsou vhodná kyanoakrylátová vteřinová lepidla. Manipulační pevnosti je dosaženo až po několika sekundách až desítkách sekund v závislosti na velikosti spáry a viskozitě použitého lepidla. Na lepení větších ploch, překlenutí velké spáry ve spoji nebo vyplnění nerovnosti vzniklé nedokonalým opracováním lepených dílů, lze použít dvousložková epoxidová lepidla. Epoxidová lepidla jsou vhodná i k lepení fenoplastů s kovy, dřevem i některými druhy skla. Manipulační pevnosti je dosaženo po 1 až 5 hodinách, konečné dokonce až po 24 hodinách. K lepení fenoplastů jsou vhodná i dvousložková lepidla polyuretanová, která jsou zpracovatelná i za nízkých teplot. Spoj je pak pevný, pružný a odolný proti dynamickému

namáhání, vodě (i mořské) a povětrnostním vlivům, zředěným kyselinám, olejům a různým rozpouštědlům. [1,2]

Aminoplasty

Jsou to teplem tvrditelné lisovací hmoty na bázi močovinoformaldehydových a melaminoformaldehydových pryskyřic. Užití je především v podobě elektroinstalačního materiálu (vypínače, zásuvky, rozdvojky) a výlisků pro drobné spotřební zboží. Výlisky mají bílé nebo pastelové zbarvení, jsou nerozpustné v rozpouštědlech a teplotní odolnost je krátkodobě až 150 °C. [1,2]

K lepení aminoplastů jsou stejně jako u fenoplastů vhodná reaktivní lepidla kyanoakrylátová (teplotní odolnost asi do 80 - 85 °C), dvousložková polyuretanová a dvousložková epoxidová. Aminoplasty se dají lepit navzájem i v kombinacích s kovy, pryží nebo plasty. V řadě aplikací lze použít oboustranné lepicí pásy. Lesklý povrch výlisků se v těchto případech nemusí brousit, stačí dobré odmaštění lihem, acetonem nebo perchloretylenem. [1,2]

II. Termoplasty

Celuloid

Je velmi hořlavý, snadno se rozpouští v acetonu a etylacetátu. Dříve byl používán na výrobu kancelářských pravítek, galanterních potřeb a brýlových obrouček, dnes se užívá k výrobě součástí hudebních nástrojů a míčků na stolní tenis. [1,2]

Polystyren

Polystyreny se dobře rozpouštějí v toluenu, trichloretylenu, acetonu a etylacetátu. Lepené plochy se naleptají rozpouštědlem, přitisknou k sobě a zafixují. Polystyren se dělí na standardní, houževnatý a pěnový. Drobné díly nebo i dlouhé spoje je možné lepit rozpouštědlovými lepidly. Spoje musejí být tak úzké, aby se mohlo rozpouštědlo z lepidla odpařit. Při lepení velkých ploch je nutné použít lepidla reaktivní-polyuretanová. [1,2]

ABS (kopolymer akrylonitril-butadien-styren)

Používá se k výrobě různých součástí spotřebního zboží, profilů, fólií i desek různé síly. Materiál je náchylný na rozvláknění povrchu při broušení, proto jsou vhodné smirkové papíry zrnitosti 180 až 220. Brousit se musí opatrně, aby se povrch při broušení neohřál.

Obroušení není nutné před použitím rozpouštědlových a kyanoakrylátových lepidel a samolepicích pásek. [1,2]

Organické sklo

Obvyklou formou je podoba desek různé síly, bezbarvých i barevných. Plexisklo lze dobře tvarovat za tepla i mechanicky opracovávat vrtáním, soustružením, frézováním a pilováním, opracovaný povrch je možné leštit. [1,2]

Polykarbonát

Vyrábí se z něho části různých kuchyňských strojů. Používá se jako náhrada skla efektním zasklením interiérových dveří. Z reaktivních lepidel jsou při lepení polykarbonátu navzájem i v kombinacích vhodná jednosložková kyanoakrylátová lepidla. [1,2]

PVC (Polyvinylchlorid)

Vyrábí se ve více modifikacích. Tvrdý PVC se využívá na desky, tyče, fólie, trubky a spojovací instalační prvky. Měkčený PVC se využívá na technické fólie, koženky, podlahoviny, případně i pěnový PVC. V řadě aplikací je také možné použít oboustranné lepicí pásy nebo fólie. [1,2]

PAD (Polyamid)

Lze označit za houževnatý plast, se kterým se můžeme setkat v podobě tyčí, desek fólií, tvarových odlitků a výlisků, ale i vláken, tkanin nebo suchých zipů. K lepení polyamidu navzájem nebo v kombinaci s jinými materiály jsou vhodná kyanoakrylátová lepidla, ta se užívají především k lepení menších ploch. Naopak k lepení rozměrnějších dílů je možné použít kaučuková kontaktní lepidla. Tato lepidla se nanášejí na obě lepené plochy a film lepidla se nechá zaschnout, až je dotek téměř nelepivý. [1,2]

PE (Polyetylen) a PP (Polypropylen)

Tyto plasty, souhrnně nazývané polyolefiny, se používají ve velké míře k výrobě obalů, hraček, různých částí sportovního náčiní a dílů spotřebního zboží. Konstrukčně použitelných spojů polyolefinů navzájem i v kombinaci s jinými materiály je možné dosáhnout vhodnou úpravou povrchu před lepením. [1,2]

Lepení skla

Sklo neztratilo nic na svém významu ani s mohutným rozvojem výroby plastů, které se sklu vzhledově podobají. Pod obecným označením „sklo“ se skrývá celá řada materiálů lišících se chemickým složením, mechanickými vlastnostmi i použitím. K lepení skla navzájem i v kombinaci s jinými materiály jsou vhodná epoxidová dvousložková lepidla. Na povrchu skla je vždy vrstvička kondenzované vody, která brání dokonalému smáčení lepeného povrchu namíchanou kompozicí. Zde si lze pomoci předeřtí lepených dílů na teplotu 60 - 100 °C. Je nutné dbát na rychlost práce, neboť při takto zvýšené teplotě i většina epoxidových systémů vytvrzuje velmi rychle. [1,2]

3.1.3 Adheze a koheze

Lepidlo je látka schopná utvořit trvalé a pevné spojení mezi dvěma materiály. Uvedená schopnost závisí na adhezi k povrchům lepených materiálů a na kohezi samotného lepidla. [2,10]

Adheze

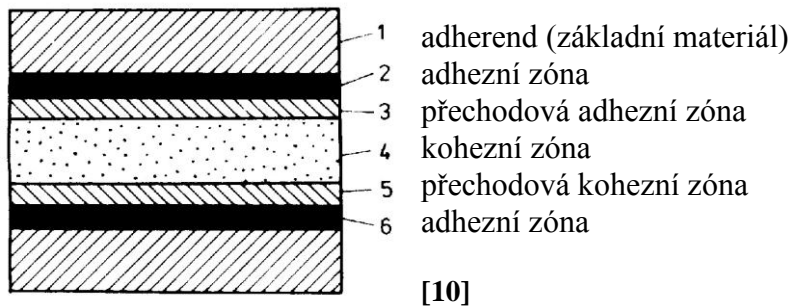
Adhezi lze definovat jako sílu přilnavosti, to znamená mezimolekulární přitažlivé chemické a fyzikální síly na styčných plochách, které se společně označují jako síly Van der Waalsovy. Van der Waalsovy síly lze označit za velmi slabé, působí mezi nepolárními molekulami a jsou důsledkem vzniku okamžitého elektrického dipólu. V běžné praxi rozeznáváme mechanické adhezní síly, které mají původ v mechanickém uchycení (zakotvení) lepidla v nerovnostech a pórech spojovaných materiálů, a specifické adhezní síly, skládající se z chemických sil a fyzikálních sil. [2,7,10]

Koheze

Koheze je souhrn sil, kterými se částice látky působením vzájemných valenčních a mezimolekulových sil přitažlivosti (Van der Waalsovy síly) poutají k sobě. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, kterou je možno vyjádřit jako energii potřebnou k oddělení částice lepidla od ostatních. Adhezní a kohezní síly by měly být přibližně v rovnováze viz Obr. 9. Dle teorie lepení lepené spoje nejméně odolávají namáhání v odlupování a ohybovému namáhání. V případě konstrukčních spojů je důležité se vyvarovat ohybovému

namáhání. Všeobecně se doporučuje při lepení volit tenké vrstvy lepidla, které vykazují kvalitnější pevnostní vlastnosti. [2,7,10]

Obr. 9: Spojovací síly v lepeném spoji



3.1.4 Interakce adherendu, lepidla a lepeného spoje

Vlivem degradačních procesů adherendů a vlastností lepidel lze vyhodnotit vzájemnou¹ interakci, tj. v podobě lepených spojů. Dílčím a současně celkovým pohledem na proces degradačních vlivů dojde k eliminaci, případně kvantifikaci podílu vlivu adherendu a lepidla. Na základě těchto poznatků bude možné vyvodit příslušná opatření zamezující případně minimalizující vliv degradačních procesů. [16]

Vzájemným působením lepidla na adherend vzniká jedinečný lepený spoj. Tento spoj vzniká za určitých podmínek, které vycházejí z technologie lepení. Každý adherend (např. ocel, dřevo, plast atd.) má specifickou reakci na jednotlivá lepidla. Nelze říci, že čím je kvalitnější lepidlo, tím kvalitnější je spoj. Interakce se v závislosti na čase mění, z toho vyplývá, že lepený spoj degraduje.

Dochází ke změnám adheze a koheze, tudíž lepený spoj má v každém okamžiku jedinečné vlastnosti.

¹ Interakce je vzájemné působení dvou nebo více činitelů.

3.1.5 Výhody a nevýhody lepení

Lepení se vyznačuje nejen mnoha výhodami, ale i některými zápornými činiteli, například vyššími nároky na čistotu a přesnost práce. Při rozhodování o typu spoje je třeba kromě ekonomického hlediska zvážit technické přednosti a nedostatky lepení ve srovnání s ostatními způsoby spojování. [2,3,5]

Výhody:

- 1) spojování stejných nebo různých materiálů bez ohledu na jejich tloušťku,
- 2) použitím lepidel není narušena celistvost spojovaných dílů, není narušen profil ani vzhled,
- 3) lepené spoje jsou vodotěsné, plynotěsné, čímž se lepení liší od spojů vytvářených šrouby, nebo nýty,
- 4) lepené spoje tepelně i zvukově izolují,
- 5) aplikováním technologie lepení lze uspořit náklady na výrobu lícovaných spojů,
- 6) lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru,
- 7) lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů,
- 8) lepením se nezvyšuje hmotnost souboru, což je předpokladem miniaturizace,
- 9) spoje mohou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené,
- 10) lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, především při namáhání ve smyku a rázu.

Nevýhody:

- 1) vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílů,
- 2) při spojování materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchu,
- 3) u některých lepidel je zapotřebí použít vytvrzovací přípravky nebo připravit směs,
- 4) konstrukčně použitelné lepené spoje jsou nerozebíratelné,
- 5) většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování,
- 6) životnost některých druhů lepidel je časově omezená,
- 7) maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době,
- 8) omezená odolnost vůči vyšším teplotám,

- 9) termoplastická lepidla jsou citlivá vůči dlouhodobému statickému namáhání, které způsobuje tečení polymerních složek lepidla,
- 10) skladovatelnost většiny lepidel je časově omezená,
- 11) lepení nelze provádět při nízkých teplotách,
- 12) lepení v průmyslovém měřítku je náročnější na vybavení pracoviště. [2,3,5]

3.1.6 Nové trendy a technologie v lepení

Stabilizace kolejového lože technologií lepení šterku pryskyřicí

Technologie lepení šterku byla v zahraničí na přelomu tisíciletí uznána jako jedna z metod pro stabilizaci a prolepení šterku kolejového lože na železničních tratích.

Lepení šterku je stabilizační postup, při němž se částice šterku slepí na hranách a kontaktních plochách. Dvousložkové lepidlo (pryskyřice) se značnou pevností v lomu drží kolejové lože ve tvaru, který zaujímaly částice šterku před lepením. Je velmi důležité nezaměňovat lepení s injektáží. Zatímco během injektáže se dutiny mezi částicemi úplně zaplní, vyznačuje se lepení šterku tím, že lepidlo spojuje částice jen v místech jejich doteku a tím zůstávají průchozí dutiny pro odvod srážek. Použití technologie lepení šterku má mnohé výhody.

V zásadě pro lepení šterku existují dvě základní dobře odlišitelné metody: lepení povrchové a lepení strukturní. [12]

Povrchové lepení šterku:

Povrchovým lepením se zamezuje uvolnění materiálu z povrchu kolejového lože. Cílem není zlepšení mechanických vlastností kolejového lože, tedy zahrnutí lepené struktury do přenosu zatížení. Při povrchovém lepení se prolepuje pouze horní vrstva kolejového lože v tloušťkách cca 10–20 cm. [12]

Strukturní lepení šterku:

Vedle snahy zamezit uvolňování částic pomocí strukturního lepení šterku je hlavním cílem i uvážení mechanického zatížení kolejového lože, tedy zahrnutí technologie lepení do přenosu zatížení. U strukturního lepení je tloušťka každé lepené vrstvy až 60 cm. [12]

Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje

Dobré znalosti technologie i vlastností používaných lepidel jsou velmi důležité pro úspěšné použití lepení v praxi. Příčinou selhání lepeného spoje totiž většinou není nízká pevnost lepidla, ale nedostatečná příprava lepených povrchů, použití nevhodného druhu lepidla či nevhodná konstrukce lepeného spoje.

Výsledná pevnost spoje je ovlivňována mnoha faktory. Při výpočtu je třeba zohlednit nejen velikost zatížení silou nebo momentem, ale i další vlivy, kterými se při výpočtu jiných typů spojení obvykle nezabýváme. Více či méně výrazně je pevnost spojení ovlivněna například tloušťkou vrstvy lepidla, drsností lepeného povrchu nebo pečlivostí přípravy povrchu před lepením. Pevnost spojení závisí nejen na velikosti lepené plochy, ale i na jejím tvaru. Neméně důležitým požadavkem, a to již ve fázi návrhu spoje, je správný výběr typu lepeného spoje a optimálního lepidla. Při lepení je samozřejmým požadavkem nutnost dodržení technologického postupu předepsaného výrobcem použitého lepidla. [13]

Lepení hliníku a duralu kyanoakryláty

Využívání lepení ke spojování kovů je velmi mladou technologií, přestože období konce druhé světové války přineslo další řadu vynikajících lepidel na kovy ve formě epoxidových pryskyřic. Nedostatek zkušeností a teoretických znalostí však vzbuzoval stále značnou nedůvěru, a tak byly stále kladeny otázky, zda lepit, svařovat, šroubovat nebo nýtovat?

Svařování a nýtování jsou stále považovány za klasické způsoby spojování a tak lepení zůstává důležitým doplňkem těchto metod spojování, ne jejich náhradou. Jednou ze základních předností technologie lepení je pokrokovost tohoto způsobu spojování kovů, která spočívá v obrovských možnostech dalšího vývoje a využití v automatizované výrobě spojů různých tvarů a kombinací materiálů. [14]

Podstatnou výhodou lepených spojů je ve srovnání s klasickými metodami spojování zvýšení celkové pevnosti vhodně konstruovaného spoje. Obvykle se lepené spoje lépe uplatní při spojování lehkých kovů i neželezných slitin. U ocelí lze najít více případů, kdy je svařovaný spoj oceli pevnější než spoj lepený. [14]

Kromě výhod má lepení samozřejmě i své nedostatky, a proto je nutné zajistit takové podmínky, aby nevýhody lepení byly eliminovány. Pokud to není možné, je lépe použít některou tradiční metodu spojování, která zajistí dosažení optimálních výsledků. [14]

Nové technologie v lepení plastů

Lepení plastů z důvodu jejich široké škály, rozdílných vlastností, chování apod. patří ke složitějším postupům.

Jedná se o moderní technologie při vysokopevnostním lepení tvrdých slepitelných plastů, např. nárazníků a plastových doplňků automobilů a motocyklů, lepení plastů v kombinaci s kovy, dřevem, betonem, mramorem, sklem.

Existují sice dvousložkové epoxidy, které mají konečnou pevnost až 300 kg/cm², ale epoxidy jsou obecně křehké a na některé spoje nejsou nejvhodnější. Pokud chceme lepit tvrdé slepitelné plasty s vysokou konečnou pevností, můžeme si dnes vybrat i z nových moderních lepidel. Existuje jich celá řada, většina je jich však dostupná pouze přes internet a laik je těžko objeví. [15]

Jedním z dostupných v běžné síti je lepidlo BISON POWER ADHESIVE, zkráceně nazývané BISONITE viz. Obr.10. Jedná se o dvousložkové polyuretanové lepidlo, které funguje všude tam, kde jiná lepidla selhávají. Vynikajících vlastností dosahuje při lepení především syntetických materiálů (PVC, bakelitu, plexiskla, polyesteru). Lepidlo je po vytvrzení pružné a má vysokou teplotní stálost -30°C až +100°C.

Před vlastním lepením je nutné plastové díly odmastit, např. odmašťovadlem UHU. Důležité je také správné namíchání lepidla za dodržení poměru 1 : 5. [15]

Obr. 10: Lepidlo a odmašťovadlo



[15]

3.2 Degradční aspekty

Ke znehodnocování lepených spojů dochází na základě různých aspektů. Nejvýznamnějšími aspekty jsou vlivy prostředí, teplota, oheň, chemická činidla a mechanické namáhání. Proto je v praxi velmi důležité co nejvíce ochránit lepený spoj před těmito vlivy (např. nátěry).

3.2.1 Odolnost, koroze a degradace polymerů

Polymery se vyznačují značnou odolností proti korozi (znehodnocení). Proto se staly nejhledanějšími ochrannými prostředky proti korozi kovů, dřeva, stavebních hmot a řady dalších materiálů. Znalost podmínek, při kterých ke znehodnocování (degradaci) polymerů dochází a způsob jejich ochrany (stabilizace) jsou velmi důležité. [4]

Korozi polymerů můžeme definovat jako nežádoucí změnu jejich chemického složení, a proto i vlastností, způsobenou vnějšími podmínkami a vedoucí ke znehodnocení výrobku. Korozi mohou způsobit různé vlivy, např. povětrnosti, mikroorganismy, zvýšené teploty, chemická činidla. [4]

K nežádoucím změnám vlastností polymerního materiálu nedochází jen při používání výrobku, ale může k němu dojít již v závěrečných fázích výroby nebo při zpracování polymeru a to nejčastěji vlivem tepelného nebo mechanického namáhání. [4]

V takových případech mluvíme zpravidla o degradaci polymerů, jejichž studium vedlo k mnoha obecně platným poznatkům, které umožňují korozi a degradaci omezovat, nebo jim dokonce předcházet. [4]

Odolnost vůči přírodnímu prostředí

Polymerní materiály jsou při vystavení podmínkám přírodního prostředí atakovány mnoha degradačními faktory, mezi nimiž vyniká působení atmosférického kyslíku, ozonu, světelného i ionizačního záření a mikroorganismů. Uplatňují se samozřejmě i další povětrnostní vlivy-střídání teplot, déšť atd.. Intenzita působení jednotlivých účinných faktorů přírodního prostředí se různí ve způsobu skladování a používání výrobků atd. Úhrn všech nežádoucích změn polymerů se označuje jako stárnutí. [4]

a) Odolnosti vůči povětrnosti

Hodnocení povětrnostní odolnosti polymerů není jednoduché. Zkoušky tzv. přirozeného stárnutí, tj. hodnocení změn vlastností materiálu po jejich vystavení účinku povětrnosti jsou velmi zdlouhavé a z hlediska geografického mají jen omezenou vypovídací schopnost. Zkoušky tzv. urychleného, umělého stárnutí, které se provádějí v tzv. meteometrech- přístrojích, v nichž na polymer působí v předepsaných časových cyklech ultrafialové světlo, vodní sprcha, zvýšená teplota, eventuálně další vlivy – nedávají zase výsledky jednoznačně přirovnatelné k přírodním podmínkám. [4]

b) Odolnost vůči kyslíku

Vzdušný kyslík, který oxiduje některé organické nízkomolekulární sloučeniny (zejména však za zvýšených teplot), oxiduje za podobných podmínek i polymery podobného chemického složení. Vedle chemického složení má vliv na odolnost polymeru, který lze souhrnně charakterizovat propustností polymeru pro kyslík. [4]

c) Odolnost vůči ozonu

Vytváří se v horních vrstvách atmosféry rozkladem kyslíku zářením o vlnových délkách 110 nm až 220 nm. Difuzí proniká do nižších vrstev a tam se jeho obsah ve vzduchu pohybuje od jedné do deseti miliontin procenta. I tak nepatrná koncentrace však způsobuje stárnutí polymerů, zejména pryží z nenasycených kaučuků. [4]

d) Odolnost vůči slunečnímu záření

Přesto, že jen asi 5% veškerého slunečního světla dopadajícího na zemský povrch leží v oblasti vlnových délek od 300 nm do 400 nm, tedy v oblasti ultrafialového záření způsobujícího degradaci polymeru, je to jeden z neúčinnějších činitelů jejich přirozeného stárnutí. [4]

e) Odolnost vůči záření o vysoké energii

Pod pojmem záření o vysoké energii neboli ionizující záření, lze označit záření (γ), rentgenové svazky urychlených elektronů. [4]

f) Odolnost vůči biologickým činitelům

Biologická koroze, tj. napadení materiálu mikroorganismy, zejména plísněmi, je velmi rozšířená. O možnosti napadení polymerního materiálu mikroorganismy rozhoduje především jeho chemické složení, tj. do jaké míry pro ně může být zdrojem uhlíku, dusíku nebo jiných tzv. biogenních prvků, a samozřejmě podmínky a prostředí, ve kterých se výrobek nachází. Korozi vyvolávají metabolity nebo enzymy produkované mikroorganismy. [4]

Odolnost vůči zvýšeným teplotám

Účinek zvýšené teploty se může u polymerů projevit dvojím způsobem:

Polymer měkne, popřípadě se přijatým teplem zvýší kinetická energie makromolekulárního řetězce do takové míry, že překoná přitažlivé síly a polymer se začne projevovat jako kapalina.

Dochází ke změně struktury polymeru. Některé makromolekulární látky se štěpí na nízkomolekulární produkty, eventuálně až na monomer, aniž se změní jejich chemické složení - depolymerují. Jiné odštěpují nízkomolekulární zplodiny, přičemž dochází ke změně chemického složení - destruuje. Destrukce se může projevit, zejména v závěrečné fázi procesu, vznikem příčných vazeb mezi řetězci- takové polymery síťují. Ve všech případech mluvíme o degradaci polymeru. [4]

Odolnost vůči ohni

Obecně lze říci, že polymery ohni neodolávají. Prakticky všechny jsou za určitých podmínek hořlavé. Bylo by ideální, kdyby např. tepelně i zvukově izolační materiály na základě lehčených polymerů pro stavebnictví nebo pryže určené pro dopravníkové pásy do černouhelných dolů byly zcela nehořlavé. Dokonalé odstranění hořlavosti polymerů je zcela nemožné. [4]

Odolnost vůči chemickým činidlům

Odolnost polymerů vůči korozi je závislá především na jejich chemickém složení. Odolnost polymerů vůči organickým rozpouštědlům závisí na polaritě polymeru a rozpouštědla a na fázovém stavu polymeru. Pro odolnost polymerů vůči chemickým činidlům je také důležité, pokud jsou v krystalickém nebo amorfním stavu. [4]

Odolnost vůči mechanickému namáhání

Při mechanickém namáhání, jako je válcování, hnětení, mletí atd. dochází zvláště ve styku se vzdušným kyslíkem, k degradaci polymerních řetězců a k jejich zkracování. Tato mechanická degradace, může probíhat nejen radikálově, ale i iontově.

Mechanické namáhání způsobuje pokles korozní odolnosti některých polymerů. Je-li makromolekulární látka při působení chemického činidla nebo kyslíkové atmosféry současně vystavena účinku mechanického namáhání, je korozní účinek prostředí daleko vyšší. Tomuto jevu se říká koroze za napětí. [4]

3.2.2 Závady lepených spojů a jejich příčiny

Vady lepených spojů můžeme rozdělit do dvou skupin.

- 1/ závady, které jsou patrné na první pohled při vnější prohlídce spoje
- 2/ závady, jejichž příčiny lze rozeznat podle vzhledu filmu lepidla a stykových ploch v rozlepeném spoji. [3]

Vzhledové závady spoje a jeho okolí

Soubor se po slepení deformuje. Mezi spojovaným materiálem vzniklo pnutí.

Příčinou může být:

- spoj nebyl symetricky vyvážen
- materiál nebyl klimatizován (vysoký obsah vlhkosti ve dřevě, papíru aj.)
- je velký rozdíl v délkové roztažnosti u teplem lepených ploch
- rozpouštědlo obsažené v lepidle atakovalo lepený materiál
- lisovací teplota překročila mez tepelné odolnosti lepeného materiálu [3]

Lepidlo prosáklo na povrch porézního materiálu (papíru, dřeva)

Závada je způsobena tím, že:

- použité lepidlo je málo viskózní

- lepidla bylo naneseno příliš mnoho
- doba otevřeného sestavení spoje nebyla dostatečně dlouhá
- lisovací tlak byl vysoký nebo nebyl rovnoměrně rozdělen [3]

Změny v barvě lepeného materiálu

Příčinou může být:

- vysoká vytvrzovací teplota
- lepidlo prosáklo na povrch lepeného materiálu
- nečistý přípravek [3]

Tenké kaširovací materiály kopírují nerovnosti podkladu

Je nutné zlepšit hladkost podkladu buď egalizací, nebo zavedením hladké mezivrstvy (při zpracování dřeva poddýchování, při zpracování tapet použití papírové mezivrstvy). Dále se doporučuje použití lepidla málo ředěného vodou a lepidla obsahující nebobtnavá plniva. [3]

Další příčiny:

- u čirých průhledných materiálů je vidět, že spoj obsahuje bubliny
- v souboru čirých materiálů je spoj zakalen
- u čirých termoplastů (organické sklo, polystyren, polykarbonát) se objevují v okolí spoje stříbřité jemné trhlinky
- spáry mezi položenými pásy podlahové krytiny se po nalepení zvětšily
- na povrchu tenkých materiálů (tapet, koženky, podlahové krytiny, izolační fólie, dýhy) vznikají po oddálení tlaku puchýře
- v souboru měkkých, poddajných materiálů je spoj tuhý, tvrdý [3]

Závady, které lze určit ze vzhledu stykových ploch a filmu lepidla v rozlepeném spoji

Lepidlo ve spoji neztuhlo, stykové plochy lze snadno oddálit, ve spoji jsou viditelná vlákna měkkého lepidla

Příčin může být mnoho:

- je třeba prozkoušet, zda bylo vybráno správné lepidlo
- doba předsušení lepidla nebyla dostatečná
- směs lepidla nebyla dostatečně rozmíchána s tvrdidlem
- bylo použito nesprávné množství tvrdidla
- okolní vzduch byl chladný (pod 10 °C)
- nízká teplota tvrzení, nebo krátká doba tvrzení [3]

Spoj je nesoudržný, film lepidla viditelný, ztuhlý, souvislý

Příčinou může být:

- lepidlo nemá k podkladu dostatečnou přilnavost
- lepené plochy nebyly dostatečně upraveny, zejména odmaštěny
- u klišových tavných lepidel může jít o závadu způsobenou předčasným ochlazením lepidla, tzv. zmrzlý spoj

Soudržnost lepených ploch je lokální, po odtržení se objevují nestejně ostrovy lepidla

Závadu může způsobit:

- nahoustlé nebo příliš polymerované lepidlo, které nesmáčí stykové plochy
- nerovnoměrný nebo pozdě zavedený tlak
- rozdíly v souběžnosti stykových ploch
- nestejně nanášené lepidlo [3]

Film lepidla po čase změkkl, spoj se rozlepuje

Závada je charakteristická pro lepení měkčených fólií a koženek. Nevhodně zvolené lepidlo bylo rozleptáno změkčovadlem migrujícím z fólie. [3]

Nalepená fólie nebo papír po čase změkne a na povrchu se objeví tmavé skvrny podobné promaštění

Termoplastické lepidlo obsahuje mnoho změkčovadla, které migruje a prosákne lepený materiál. [3]

Další příčiny jsou:

- povrchová vrstva jednoho z lepených materiálů se strhává, spoj má nedostatečnou pevnost
- po rozebrání spoje je patrné, že se nevytvořil souvislý film lepidla, stykové plochy jsou suché, matné
- po rozebrání spoje vyhlížejí stykové plochy jako zrnité, film lepidla není zřetelný, spoj je nesoudržný
- stykové plochy se snadno oddělí, na jedné straně z nich je patrná velmi tlustá souvislá vrstva ztuhlého lepidla [3]

4 Experimentální posouzení interakce degradace adherendu, lepidla a lepeného spoje

Cílem experimentu bylo laboratorní ověření technologických vlastností spojů provedených epoxidovou pryskyřicí 1200 KM PLUS a také jejich odlitků za působení pěti různých degradačních médií. K posouzení interakce adherendu a lepidla byla vybrána tato prostředí: voda, voda se 33% roztokem soli, olej, nafta a universální hnojivo Cererit.

4.1 Normy

Postup práce byl dodržován dle českých technických norem ČSN vydaných úřadem pro technickou normalizaci.

4.1.1 ČSN EN 1465

Předmětem normy je metoda stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přeplátovaných tělesech. Hodnocení probíhá na standardních vzorcích za předepsaných podmínek. Podstatou zkoušky je stanovení pevnosti lepeného přeplátovaného spoje namáháním jednoduchého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, které jsou namáhány tahovou silou působící rovnoběžně s plochou slepu a hlavní osou vzorku. Výsledkem zkoušky je naměřená síla nebo napětí při poruše spoje.

Norma nařizuje zvolit zkušební zařízení tak, aby k porušení došlo mezi 10-80% rozsahu přístroje. Zařízení musí vyvíjet rovnoměrně stoupající tahovou sílu a musí být vybaveno vhodnou dvojicí samovyrovnávacích čelistí pro upevnění vzorku.

4.1.2 ČSN EN ISO 9142

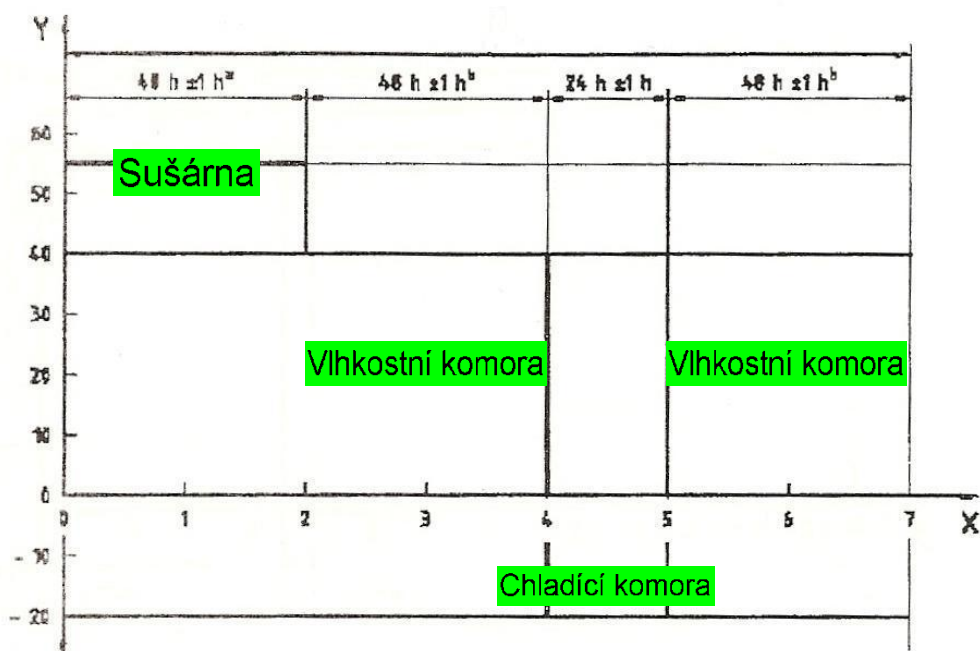
Tato norma popisuje laboratorní podmínky stárnutí, za nichž mohou být lepené spoje exponovány různým vnějším vlivům (povětrnostním nebo chemickým) aby se zjistily jejich účinky na požadované vlastnosti.

Tyto podmínky stárnutí se používají pro lepené spoje a mohou být využity pro vytvoření souborů testů k hodnocení lepidla.

Výsledky, dosažené podle předepsaných v této normě, však nelze přímo využít pro stanovení životnosti lepeného spoje, protože neexistuje přímá souvislost mezi výsledky zkoušky a chováním lepeného spoje po dobu užívání. Pro některé specifické aplikace je

možné na základě zkušeností s předepsanými postupy vytvořit určité korelace Pro urychlené stárnutí byl zvolen cyklus D.5 viz. Obr. 11.

Obr. 11: Cyklus D. 5



Legenda

X doba expozice (dny)

Y teplota (°C)

4.1.3 ČSN EN ISO 3167

Tato norma specifikuje požadavky na víceúčelová zkušební tělesa pro plasty pro tváření, které jsou vhodné ke zpracování vstřikováním nebo přímým lisováním.

Pro kontrolu jakosti mohou víceúčelová zkušební tělesa sloužit jako vhodný zdroj dalších zkušebních těles, která nejsou snadno dostupná. Výhodou je rovněž skutečnost, že se k přípravě zkušebních těles vyžaduje jediná forma.

Obr. 12: Sušárna KBC G-100/250

Na základě této normy byl zvolen cyklus D.5 – Cyklus suché teplo, vlhké teplo a ochlazení

Cyklus vyžaduje tři komory:

- sušárnu viz. Obr. 12,
- vlhkostní komoru,
- chladicí komoru.

Cyklus se skládá z následujících expozičních intervalů:

- (48 ± 1) h v sušárně,
- (48 ± 1) h ve vlhkostní komoře,
- (24 ± 1) h v chladicí komoře,
- (48 ± 1) h v vlhkostní komoře.

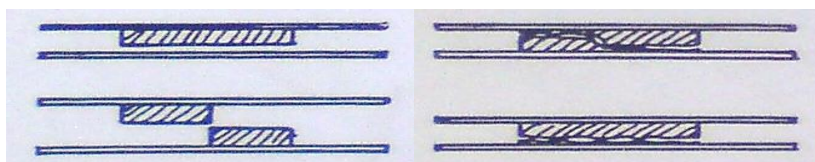


4.1.4 ČSN ISO 10365

Tato norma uvádí označení hlavních typů porušení lepeného spoje, a ilustruje typ porušení pomocí obrázků. Lze ji použít pro všechny mechanické zkoušky lepených spojů, bez ohledu na povahu adherendů a lepidla, tvořících lepený spoj.

V samotném experimentu byly dle normy zaznamenány porušení AF (adhezní porušení) a SCF (speciální kohezní porušení) viz. Obr. 13.

Obr. 13: Adhezní porušení vlevo a speciální kohezní porušení vpravo

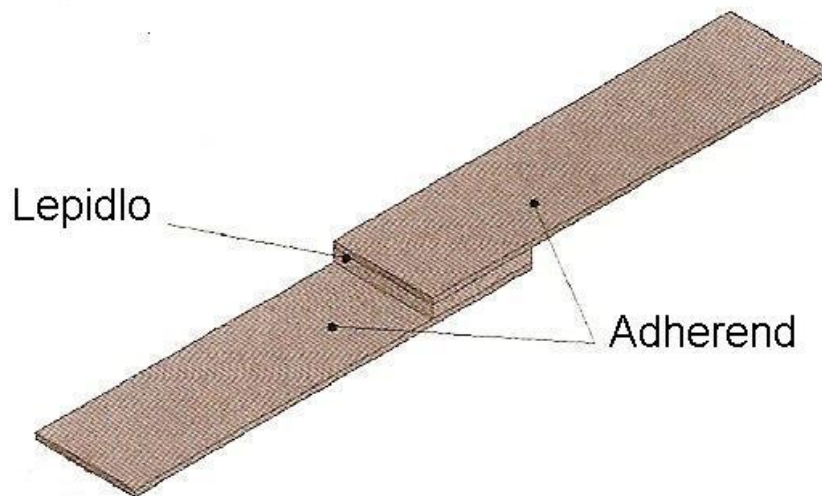


4.2 Vzorky z oceli

4.2.1 Zkušební tělesa

Na měření byly použity ocelové vzorky viz. Obr. 14, o rozměrech $100 \pm 0,25 \times 25 \pm 0,25$ a tloušťce $1,6 \pm 0,1$ mm, tak aby doporučená délka přeplátování byla $12,5 \pm 0,25$.

Obr. 14: Lepení vzorků z oceli



4.2.2 Metodika práce

- příprava vzorků z materiálu ocel 11 373 k provedení lepených spojů
- zdrsnění vzorků před tryskáním z důvodu zvýšení adheze a koheze
- očištění povrchu a odmaštění v perchloretylenu
- smíchání lepidla s tvrdidlem v poměru 100:6,7
- nanesení dvousložkového epoxidového lepidla na adherendy
- zatížení vzorků a vytvrzení
- přemísťování vzorků mezi jednotlivými prostředními (pec - médium - mrazák – médium) dle normy ČSN EN ISO 9142
- destruktivní zkoušení zkušebních těles na univerzálním testovacím stroji ZDM 5t
- odečtení zatěžovací síly a změření plochy lepeného spoje posuvným měřítkem

- vyhodnocení výsledků a sestavení grafů.

4.2.3 Použité pomůcky a zařízení

K přípravě zkušebních těles byla použita tato zařízení:

- tryskácká kabina
- digitální váha
- sušárna KBC G 100/250
- univerzální testovací stroj ZDM 5t
- chladicí komora.

K přípravě zkušebních těles byly použity tyto pomůcky:

- pracovní rukavice
- distanční drátky
- kleště
- posuvné měřítko
- miska na odmašťovací přípravek, štětec, hadr
- ocelové kostky na zatížení vzorků
- kelímek.

4.2.4 Pracovní postup

Příprava vzorků k lepení:

Úprava povrchu vzorků před lepením je jednou z nejdůležitějších pracovních operací patřících k zajištění optimální pevnosti lepeného spoje. Vzorky z oceli 11 373 o tloušťce 1,5mm byly otryskány proudem Al_2O_3 F80 v tryskácké kabině, plocha otryskání byla o trochu větší než délka přeplátování. Povrch vzorků byl těsně před slepením očištěn od pevných částic otěrem a poté odmaštěn perchloretylenem.

Výroba zkušebních těles:

Po důkladném očištění a odmaštění vzorků následovalo slepení vždy dvou vzorků k sobě, a tím způsobem bylo vyrobeno cca 200 zkušebních těles. Dvousložkové epoxidové lepidlo bylo vytvořeno smícháním lepidla s tvrdidlem a pomocí štětce nanášeno na vzorky. Po rozprostření stejnorodé vrstvy po vzorku byly umístěny distanční drátky a poté bylo provedeno zaklopení druhou částí vzorku. Poté byly vzorky zatíženy pomocí závaží o hmotnosti cca 700 g.

Zatěžování zkušebních těles:

Po vytvrzení zkušebních těles při pokojové teplotě cca 23°C v laboratoři po dobu 24 hod. se přistoupilo k vlastní zatěžovací zkoušce.

Na základě prudkých změn teplot v cyklu dle normy ČSN EN ISO 9142 bylo cílem dosáhnout urychlené degradace lepených spojů. Nejprve se zkušební tělesa vložila na 48 hod. do pece, dále na 48 hod. do příslušného média (voda, voda se solí, olej, nafta, hnojivo), na 24 hod. do mrazáku a nakonec opět na 48 hod. ponoření do daného média. Tento týdenní cyklus se opakoval 8x.

Měření pevnosti:

Zkouška smykové pevnosti v tahu byla provedena na univerzálním trhacím stroji ZDM 5. Celkový rozsah zatěžovací síly stroje je od 0 do 50 000 N. Maximální zatěžovací sílu lze nastavit na 10 000 N, 25 000 N nebo 50 000 N. Pro měření byla zvolena stupnice A s nastavením na 10 000 N. Rychlost posuvu čelistí byla nastavena na 6 mm.min⁻¹ (možno měnit do 20 mm.min⁻¹).

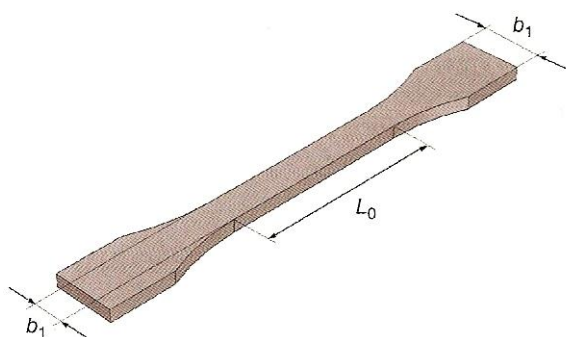
Zkušební těleso bylo upnuto rovnoměrně v podélné ose do čelistí trhacího stroje. Mezi upnutou část vzorku a čelisti byl vkládán přehnutý smirkový papír, který zabraňoval proklouznutí zkušebního tělesa v poměrně kluzkých čelistech. Následovalo zatěžování silou až do okamžiku porušení vzorku. Po destrukci zkušebního tělesa byla ze stupnice odečtena maximální zatěžovací síla a hodnota zaznamenána do pracovního sešitu. Na porušených vzorcích byla posuvným měřítkem změřena délka přelepu a určen typ porušení podle ČSN 10365. Údaje byly opět zaznamenány.

4.3 Odlitky z epoxidové pryskyřice 1200 KM PLUS

4.3.1 Zkušební tělesa

Na měření byla použita univerzální zkušební tělesa viz. Obr. 15, o rozměrech cca: délka 135,0 mm; šířka na koncích 20 mm; šířka na středu 9,4 mm a tloušťka $4,0 \pm 0,2$ mm.

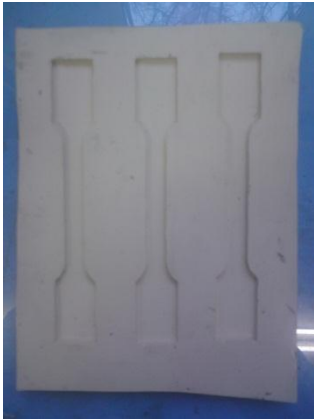
Obr. 15: Univerzální zkušební těleso



4.3.2 Metodika práce

- příprava forem z Lukoprenu N 1522 viz Obr. 16 odlitím a zatvrdnutím
- smíchání lepidla s tvrdidlem P 11
- odlití lepidla do připravených forem
- zatížení vzorků a vytvrzení
- přemísťování vzorků mezi jednotlivými prostředími (pec - médium - mrazák – médium) dle normy ČSN EN ISO 9142
- namáhání zkušebních těles na univerzálním testovacím stroji ZDM 5t
- odečtení zatěžovací síly a změření plochy lepeného spoje
- vyhodnocení výsledků a sestavení grafů.

Obr. 16: Forma z Lukoprenu N 1522



4.3.3 Použité pomůcky a zařízení

K přípravě zkušebních těles byla použita tato zařízení:

- forma z lukoprenu
- digitální váha
- sušárna KBC G 100/250
- univerzální testovací stroj ZDM 5t
- mrazák.

K přípravě zkušebních těles byly použity tyto pomůcky:

- pracovní rukavice
- posuvné měřítko
- hadr
- kelímek.

4.3.4 Pracovní postup

Příprava vzorků k lepení:

Nejprve byla připravena forma pro vytvoření odlitků z lukoprenu. Před každou sérií výroby odlitků následovalo očištění formy hadrem.

Výroba zkušebních těles:

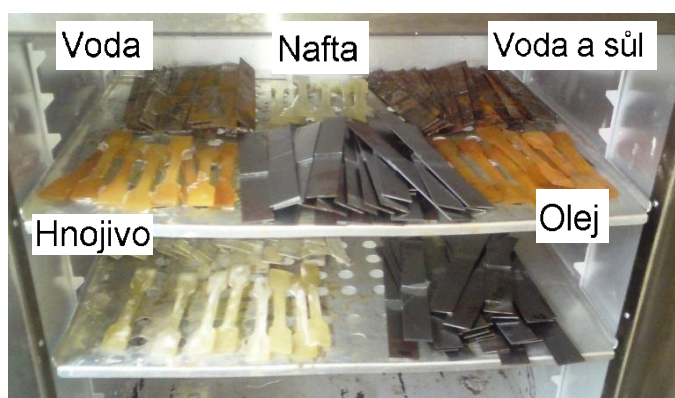
Dvousložkové epoxidové lepidlo bylo vytvořeno smícháním lepidla s tvrdidlem a odlito do forem. Poté byly formy zatíženy v rozích, aby se vzorky vytvrdily ve vodorovné poloze. Dále následovalo broušení na požadovanou tloušťku, to znamená že odlitek má po celé ploše přibližně stejnou tloušťku.

Zatěžování zkušebních těles:

Po vytvrzení zkušebních těles při pokojové teplotě cca 23°C v laboratoři po dobu 24 hod. se přistoupilo k vlastní destruktivní zkoušce.

Na základě prudkých změn teplot v cyklu dle normy ČSN EN ISO 9142 bylo cílem dosáhnout urychlené degradace lepených spojů. Nejprve se zkušební tělesa vložila na 48 hod. do sušárny viz. Obr. 17, dále na 48 hod. do příslušného média (voda, voda se solí, olej, nafta, hnojivo), na 24 hod. do chladicí komory a nakonec opět na 48 hod. ponoření do daného média. Tento týdenní cyklus se opakoval 8x.

Obr. 17: Zkušební tělesa v sušárně, kde je viditelná barevná odlišnost vzorků z jednotlivých medií



Zkušební tělesa byla zatěžována při teplotě 55°C v každém týdenním cyklu po dobu 48 hod..

Měření pevnosti:

Zkouška smykové pevnosti v tahu byla provedena na univerzálním testovacím stroji ZDM 5t viz. Obr. 18. Celkový rozsah zatěžovací síly stroje je od 0 do 50 000 N. Maximální zatěžovací sílu lze nastavit na 10 000 N, 25 000 N nebo 50 000 N. Pro měření byla zvolena

stupnice A s nastavením na 10 000 N. Rychlost posuvu čelistí byla nastavena na 6 mm.min⁻¹ (možno měnit do 20 mm.min⁻¹).

Obr. 18: Univerzální testovací stroj ZDM 5t



Zkušební těleso bylo upnuto rovnoměrně v podélné ose do čelistí trhačického stroje. Mezi upnutou část vzorku a čelisti byl vkládán přehnutý smirkový papír, který zabraňoval proklouznutí zkušebního tělesa v poměrně kluzkých čelistech. Následovalo zatěžování silou až do okamžiku porušení vzorku. Po destrukci zkušebního tělesa byla ze stupnice odečtena maximální zatěžovací síla a hodnota zaznamenána do pracovního sešitu. Na porušených vzorcích byla posuvným měřítkem změřena délka přelepu a určen typ porušení podle ČSN 10365. Údaje byly opět zaznamenány.

4.4 Matematické vztahy

Naměřené hodnoty byly zpracovány podle následujících vztahů:

Výpočet pevnosti ve smyku tahem:

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (1)$$

$$S = b * l_u$$

τ – pevnost ve smyku [MPa]

F – maximální zátěžní síla [N]

S – plocha přelepu [mm^2]

l_u – délka přeplátování [mm]

b – šířka vzorku [mm]

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2)$$

\bar{x} – aritmetický průměr [MPa]

$x_1, x_2 \dots x_n$ – jednotlivé naměřené hodnoty [MPa]

n – rozsah souboru

Směrodatná odchylka:

$$s_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

s_0 – směrodatná odchylka [MPa]

\bar{x} – aritmetický průměr [MPa]

x_i – jednotlivé naměřené hodnoty [MPa]

n – rozsah souboru

Variační koeficient:

$$v = \frac{s_0}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (4)$$

v – variační koeficient [%]

s_0 – směrodatná odchylka [MPa]

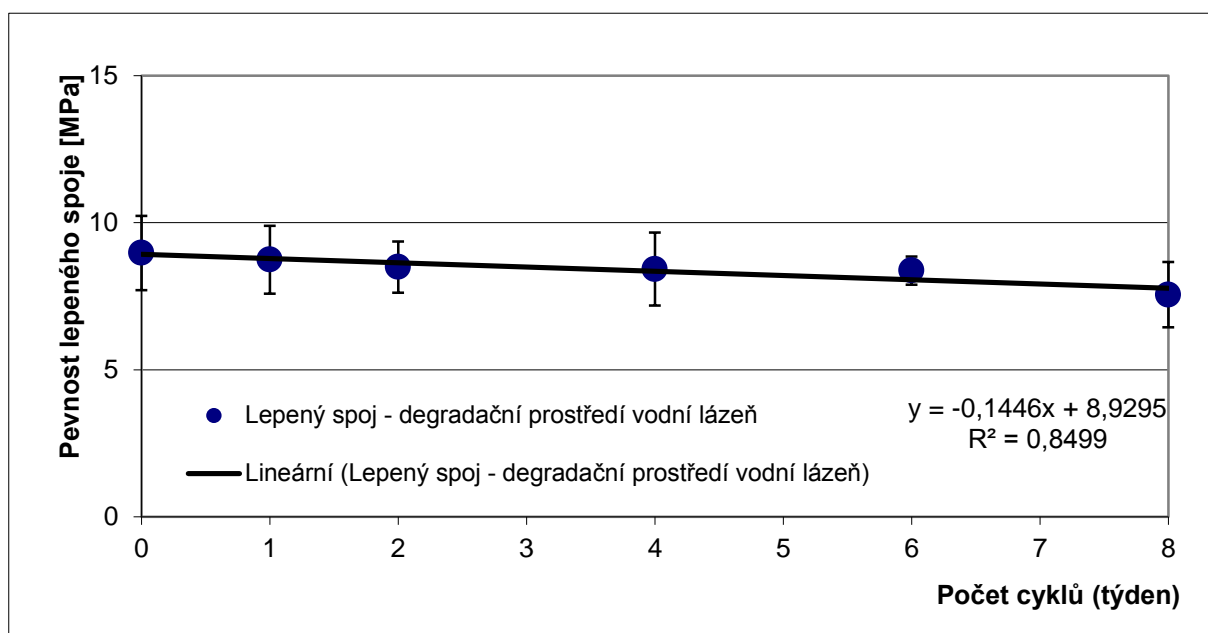
\bar{x} – aritmetický průměr [MPa]

4.5 Zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot

Úkolem experimentu bylo vyhodnotit stárnutí lepidla – ocel lepená epoxidovou pryskyřicí 1200 KM PLUS a odlitky epoxidové pryskyřice 1200 KM PLUS za působení několika různých prostředí (voda, voda se 33% roztokem soli, olej, nafta a universální hnojivo Cererit), měřena a posuzována byla pevnost ve smyku tahem. Vypočítány byly také směrodatné odchylky a variační koeficienty.

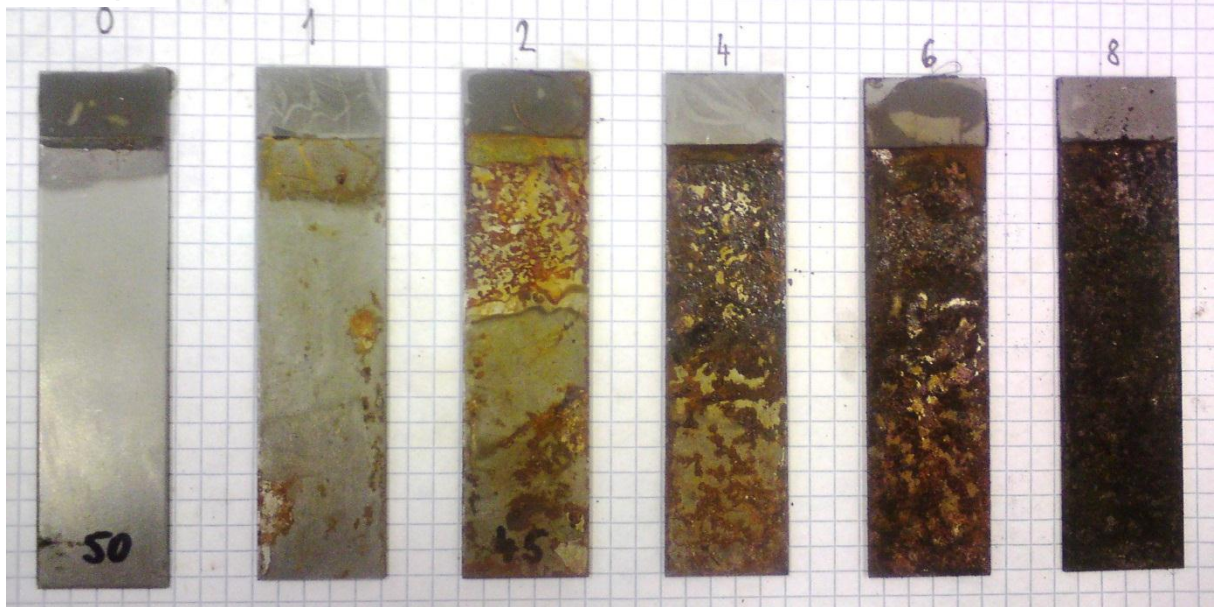
4.5.1 Lepený spoj vzorků z oceli ve vodě

V dešťové vodě, jenž byla v průběhu 8 týdenních cyklů udržována v laboratorní teplotě 23 °C, pevnost lepených spojů poměrně rovnoměrně klesala. Po 1. cyklu byla hodnota pevnosti napětí ve smyku 8,74 MPa, po 8 cyklech degradace byla naměřena hodnota 7,55 MPa. Z grafu lze usoudit, že ve vodě lepený spoj degradoval velice rychle a voda je pro adherendy poměrně agresivní prostředí.



Obr. 19: Na následujícím obrázku je viditelná změna barvy samotných vzorků a detaily lomových ploch ve vodě.

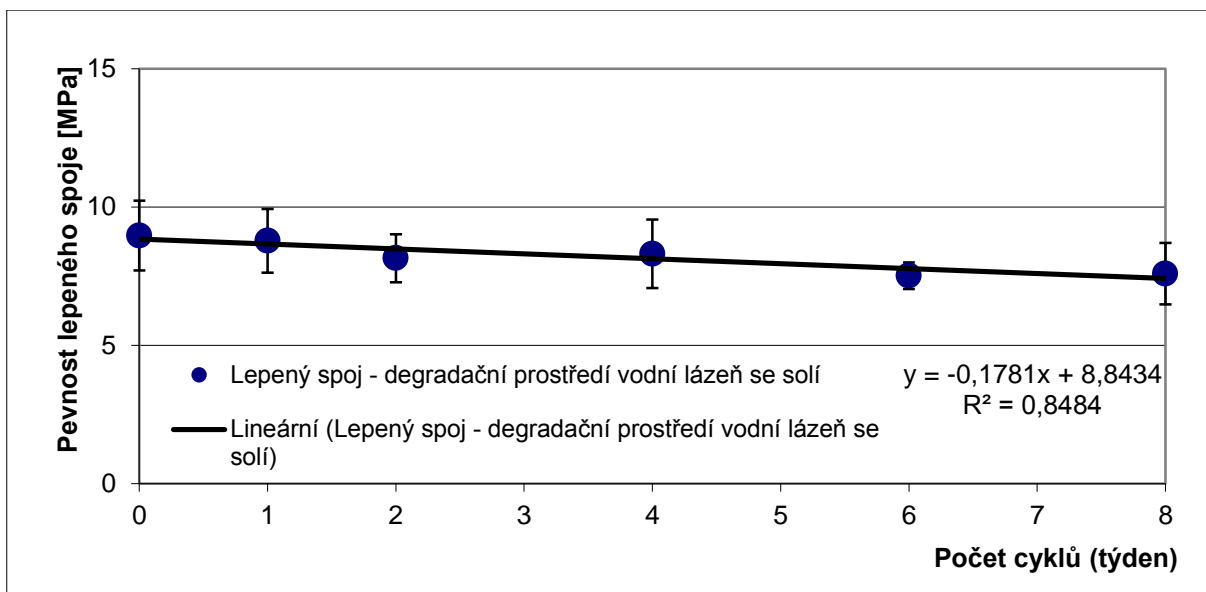
Počet cyklů



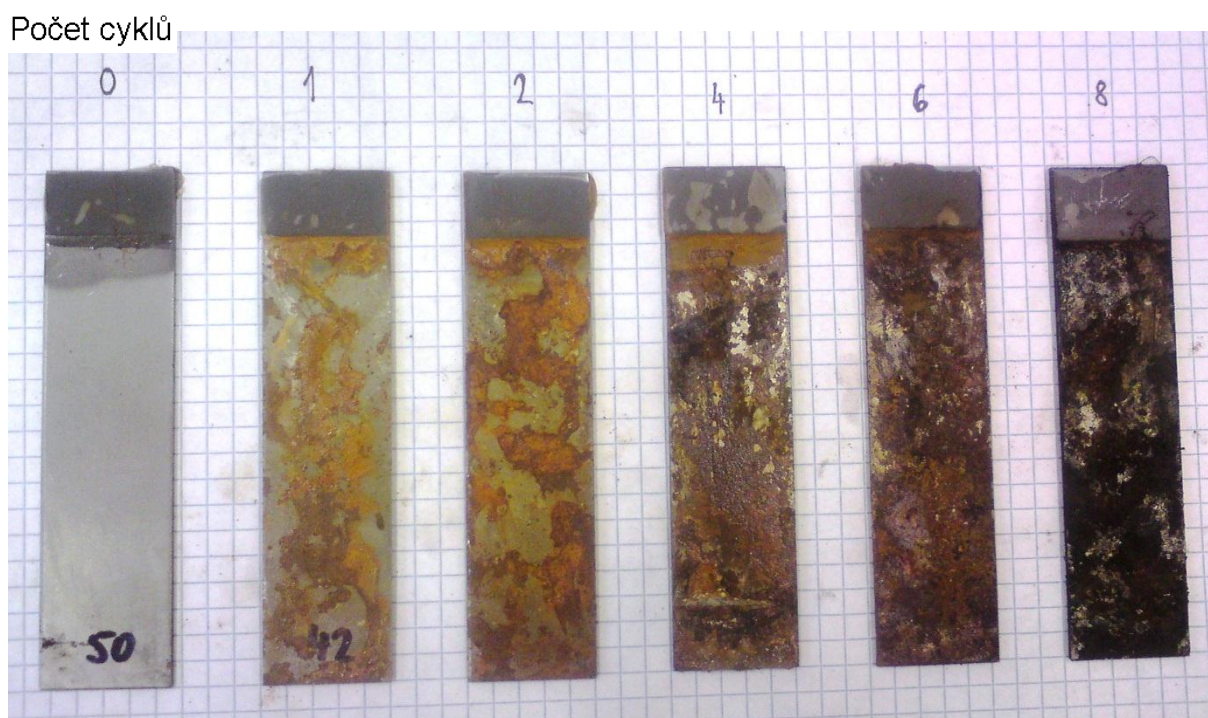
Změna barvy je postupná, zapříčiněná korozí oceli.

4.5.2 Lepený spoj vzorků z oceli ve vodě se 33% roztokem soli

V dešťové vodě se 33% roztokem chloridu draselného, jenž byla v průběhu 8 týdenních cyklů udržována v laboratorní teplotě 23 °C, pevnost lepených spojů po prvních dvou cyklech klesala, ve 4. cyklu se zvýšila. Už po 2. cyklu byla hodnota pevnosti napětí ve smyku velice nízká 8,15 MPa, po 4 cyklech 8,31 MPa a nakonec po 8 cyklech degradace byla naměřena hodnota 7,59 MPa. Z grafu lze usoudit, že ve vodě se solí lepený spoj degradoval ze všech měřených prostředí nejvíce a voda se solí je pro adherendy velmi agresivní prostředí.



Obr. 20: Na následujícím obrázku je viditelná změna barvy samotných vzorků a detaily lomových ploch ve vodě se solí.

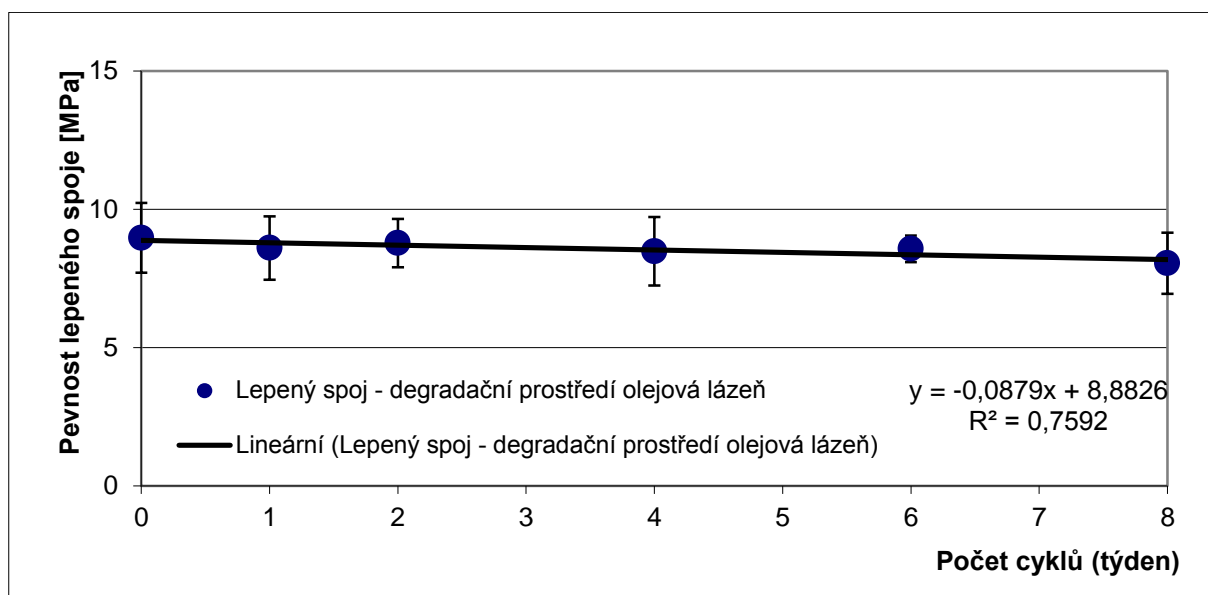


Změna barvy je postupná, zapříčiněná korozí oceli.

4.5.3 Lepený spoj vzorků z oceli v oleji

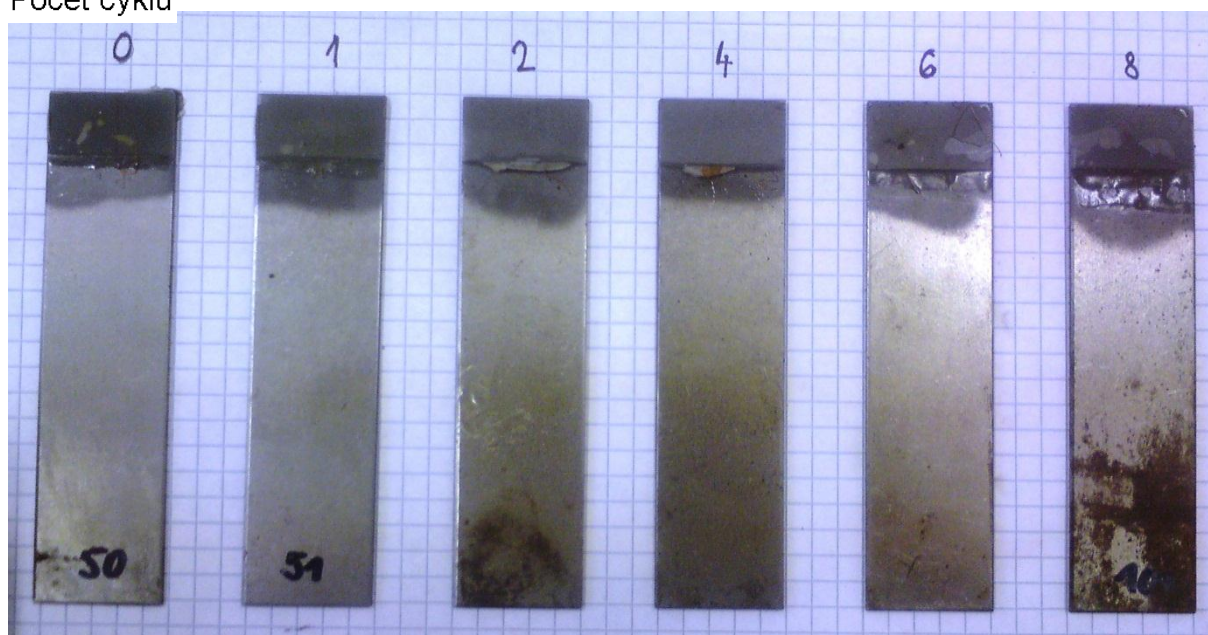
V oleji, jenž byl v průběhu 8 týdenních cyklů udržován v laboratorní teplotě 23 °C, se pevnost lepených spojů udržovala na přibližně stejné hodnotě. Z řady vybočuje pouze prudká změna mezi 6. a 8. cyklem. Mezi 2. a 6. cyklem se hodnota pohybovala kolem 8,6 MPa, při posledním 8. cyklu degradace byla naměřena hodnota 8,05 MPa. Z grafu lze usoudit, že olej

je pro lepený spoj nejpříjemnější prostředí, lepený spoj degradoval pomalu. Prostředí oleje nemělo významný vliv na degradaci lepeného spoje.



Obr. 21: Na následujícím obrázku je viditelná změna barvy samotných vzorků a detaily lomových ploch v oleji.

Počet cyklů

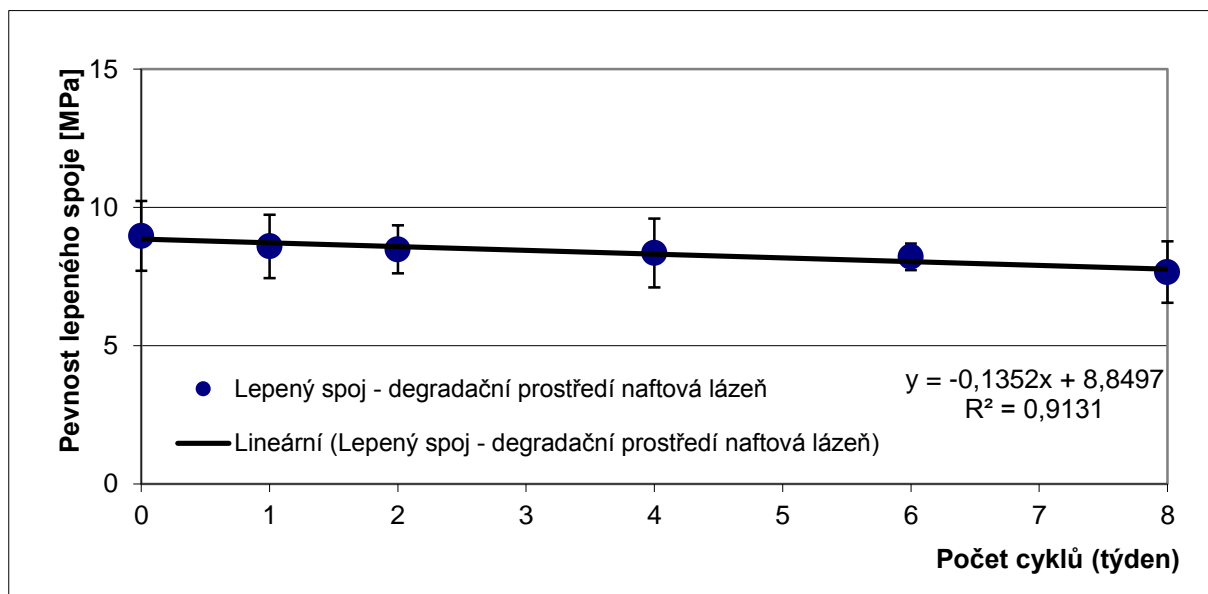


Změna barvy je nepatrná, kromě lehké koroze na nelepěných koncích adhezendů není vidět mezi vzorky výraznějších změn.

4.5.4 Lepený spoj vzorků z oceli v naftě

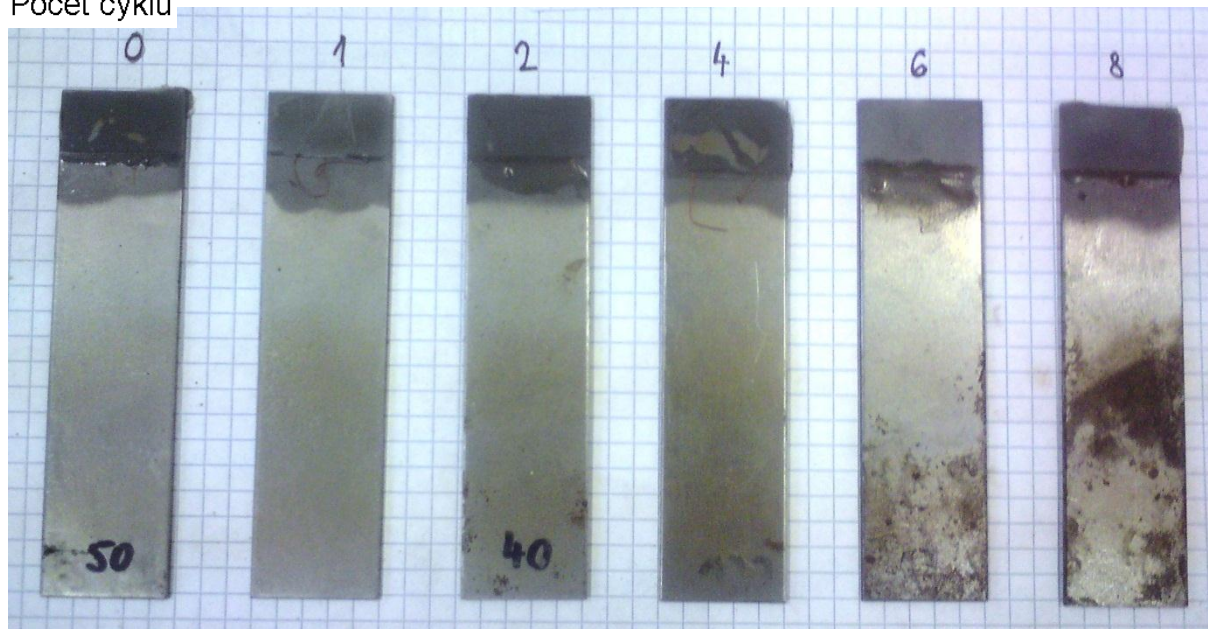
V naftě, jenž byla v průběhu 8 týdenních cyklů udržována v laboratorní teplotě 23 °C, pevnost lepených spojů neustále klesala. Vzorky nepoznamenané degradací měly původní

hodnotu 8,97 MPa. Již po dvou cyklech byla hodnota pevnosti napětí ve smyku 8,48 MPa, po 8 cyklech degradace byla naměřena hodnota 7,66 MPa. Z grafu lze usoudit, že v naftě vzorky výrazně ztratily svoji pevnost po dvou cyklech.



Obr. 22: Na následujícím obrázku je viditelná změna barvy samotných vzorků a detaily lomových ploch v naftě.

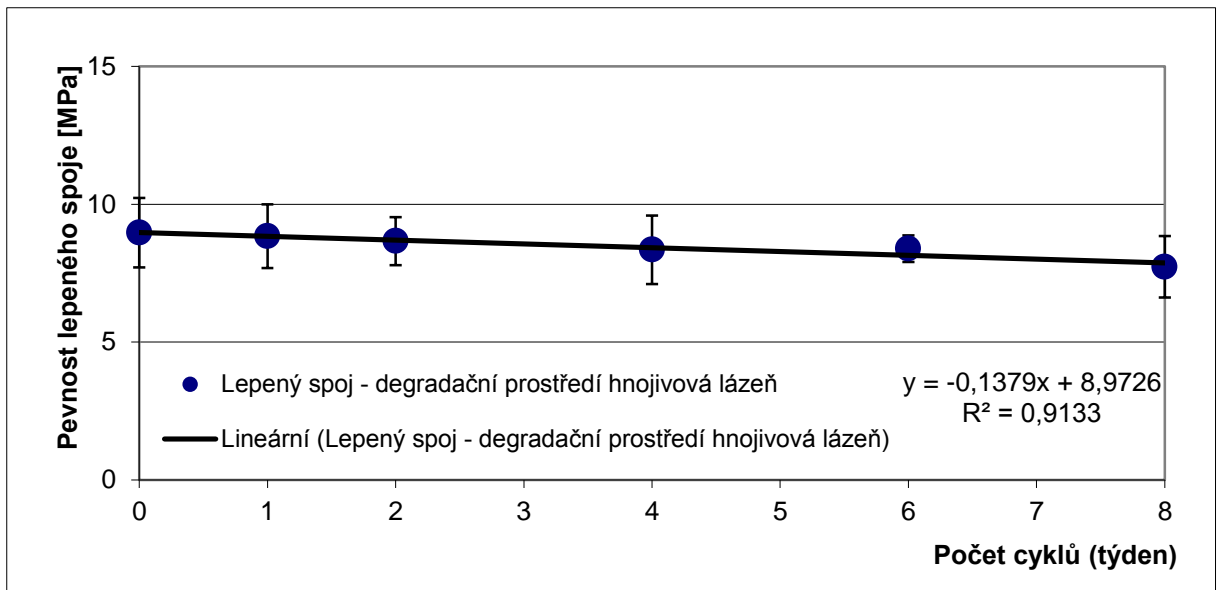
Počet cyklů



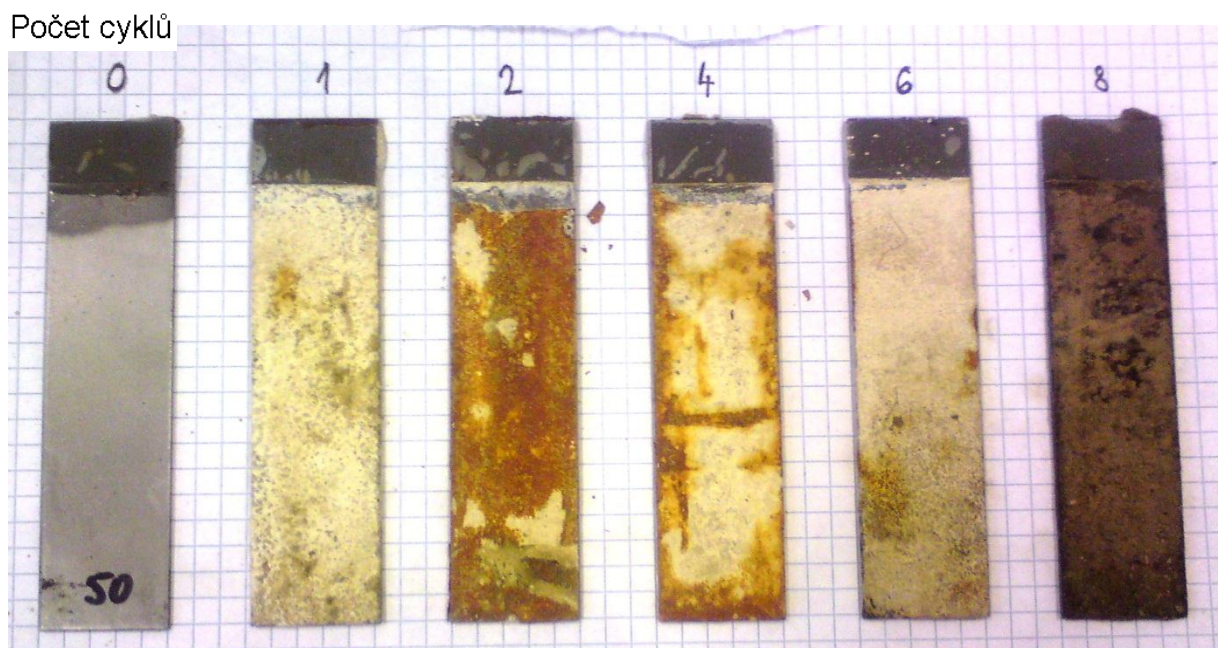
Změna barvy je nepatrná, kromě lehké koroze na nelepených koncích adherendů není vidět mezi vzorky výraznějších změn.

4.5.5 Lepený spoj vzorků z oceli v universálním hnojivu Cererit

V hnojivu, jenž bylo v průběhu 8 týdenních cyklů udržováno v laboratorní teplotě 23 °C, pevnost lepených spojů lehce klesala. Po 4 cyklech na hodnotu 8,35 MPa, řada prudce klesá mezi 6. a 8. cyklem. Při posledním 8. cyklu degradace byla naměřena hodnota 7,73 MPa. Z grafu lze usoudit, že vzorky ve hnojivu reagují na prudké změny teplot podobně jako vzorky ve vodě. Prostředí bylo poměrně agresivní.

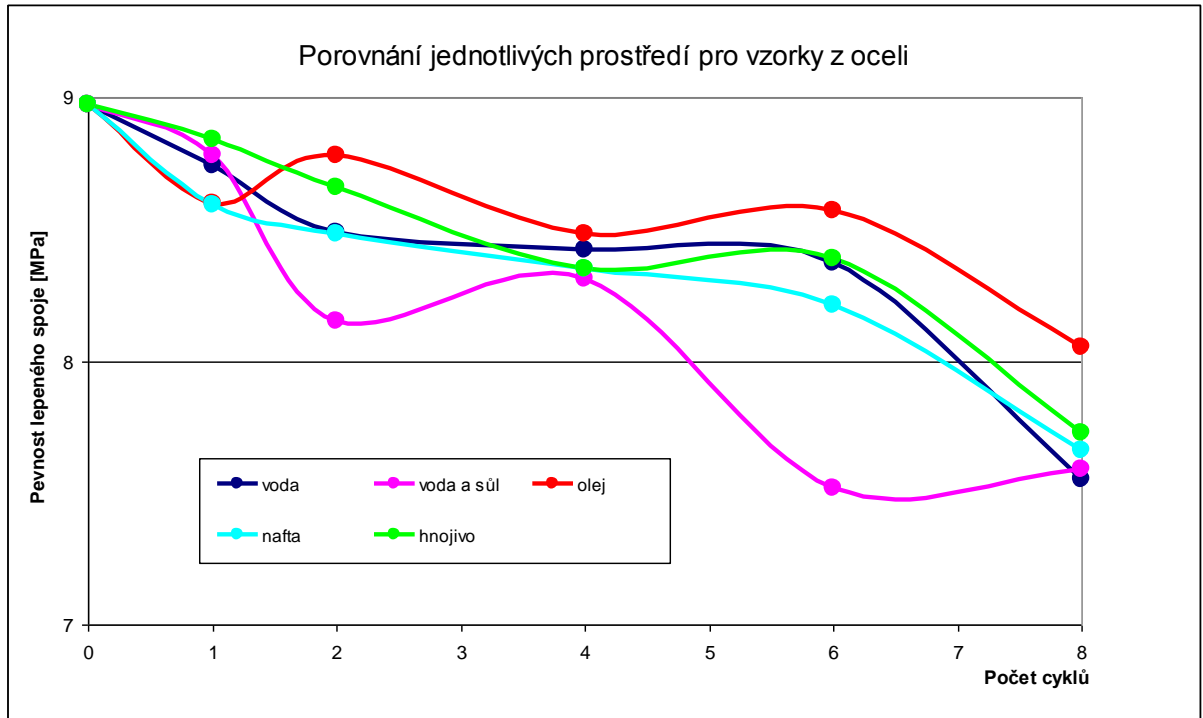


Obr. 23: Na následujícím obrázku je vidět změna barvy samotných vzorků a detaily lomových ploch v hnojivu.



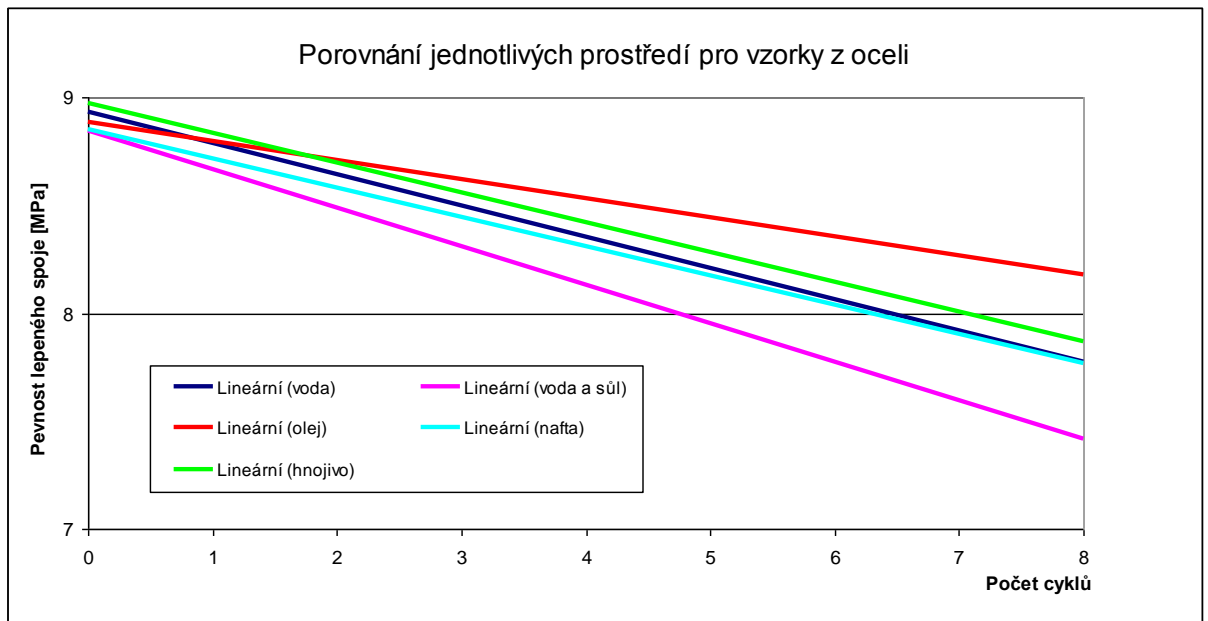
Změna barvy je patrná, na vzorcích je oschlé hnojivo Ceresit, po 2 a 4 cyklech značné zbarvení zapříčiněné korozí, po 8 tmavší z důvodu focení bezprostředně po zkoušce pevnosti.

Graf vývoje pevnosti lepeného spoje pro vzorky z oceli v jednotlivých prostředích:



Z tohoto porovnávacího grafu pro vzorky z oceli je zřetelný celkově největší pokles pevnosti mezi 6. a 8. cyklem. Dále je vidět velká vyrovnanost působení jednotlivých médií po 4. cyklu. Z měření vyplývá, že největší odolnost měly vzorky v oleji, naopak voda se solí odolávala degradaci nejméně. Působení ostatních médií je poměrně vyrovnané, ale přesto je znatelné, že hnojivo dosahuje vyšších hodnot pevnosti než například nafta.

Graf vývoje pevnosti lepeného spoje pro vzorky z oceli v jednotlivých prostředích vyjádřeno spojnicemi trendu:



Degradační prostředí – pořadí z hlediska agresivnosti pro vzorky z oceli:

Na základě spojnice trendu lze vytvořit predikci do budoucna a tím sestavit pořadí.

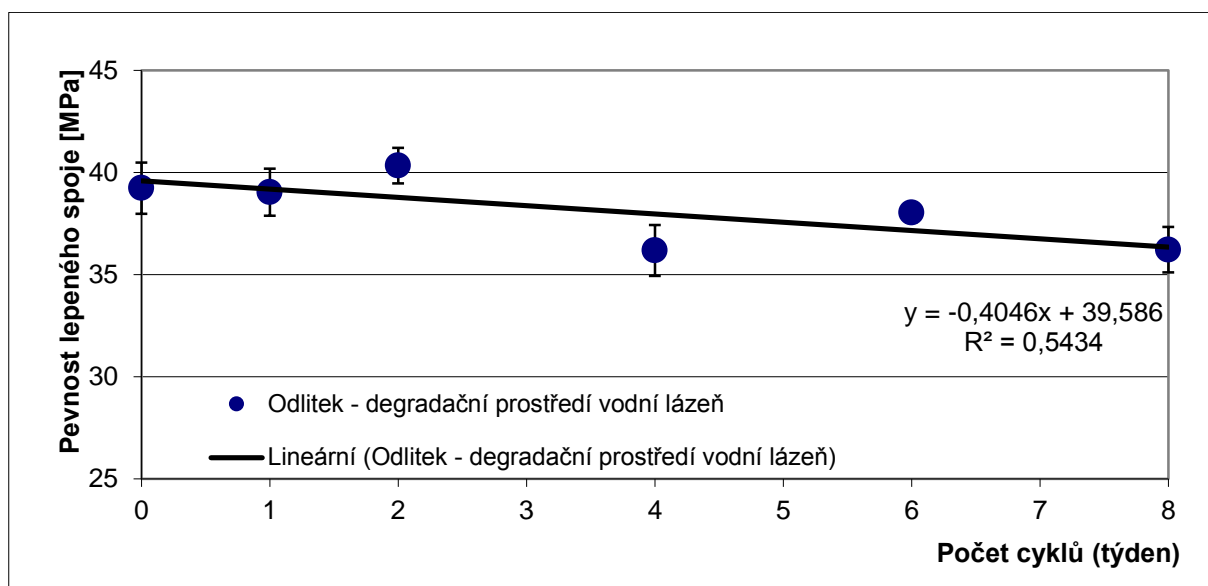
Výsledkem je předpokládaný počet týdenních cyklů, po kterých se lepený spoj rozpadne:

- | | | |
|----|-----------------------------|-----------|
| 1) | voda se 33% roztokem soli | 49 cyklů |
| 2) | voda | 61 cyklů |
| 3) | nafta | 65 cyklů |
| | universální hnojivo Cererit | 65 cyklů |
| 5) | olej | 101 cyklů |

4.5.6 Odlitky z epoxidové pryskyřice ve vodě

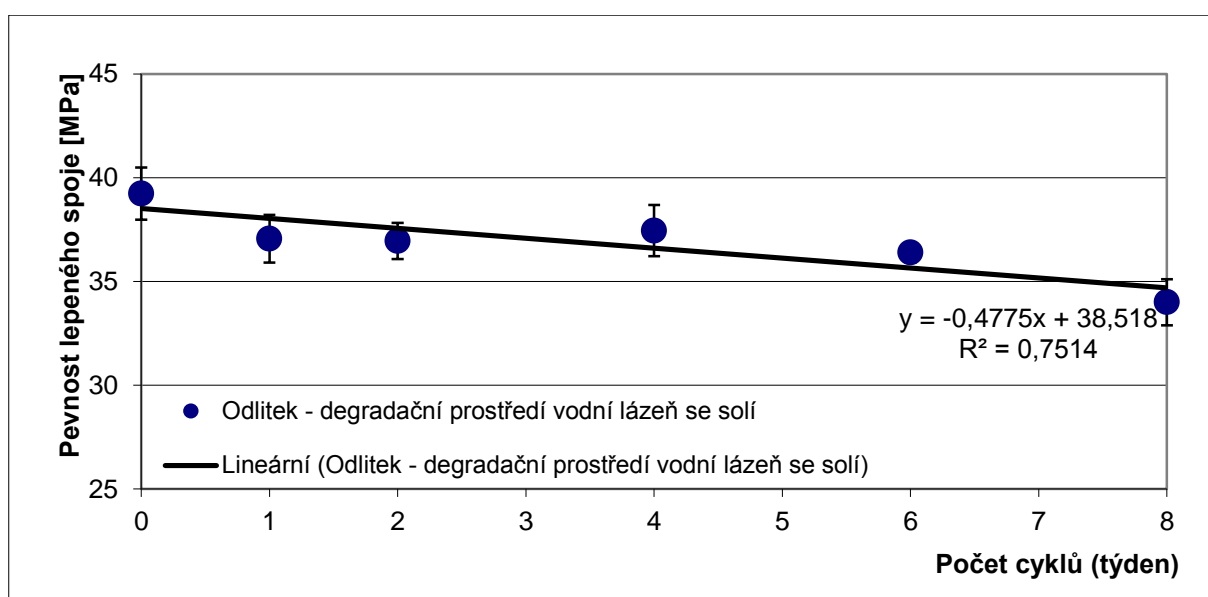
V dešťové vodě, jež byla v průběhu 8 týdenních cyklů udržována v laboratorní teplotě 23 °C, pevnost lepených spojů měla poměrně výrazné výkyvy. Po 2. cyklu byla hodnota pevnosti napětí ve smyku 40,33 MPa, po 4 cyklech degradace byla naměřena

hodnota 36,18 MPa, která byla téměř shodná s hodnotou 36,22 MPa po 8 cyklech. Z grafu lze usoudit, že ve vodě lepený spoj degradoval spíše pozvolna.



4.5.7 Odlitky z epoxidové pryskyřice ve vodě se 33% roztokem soli

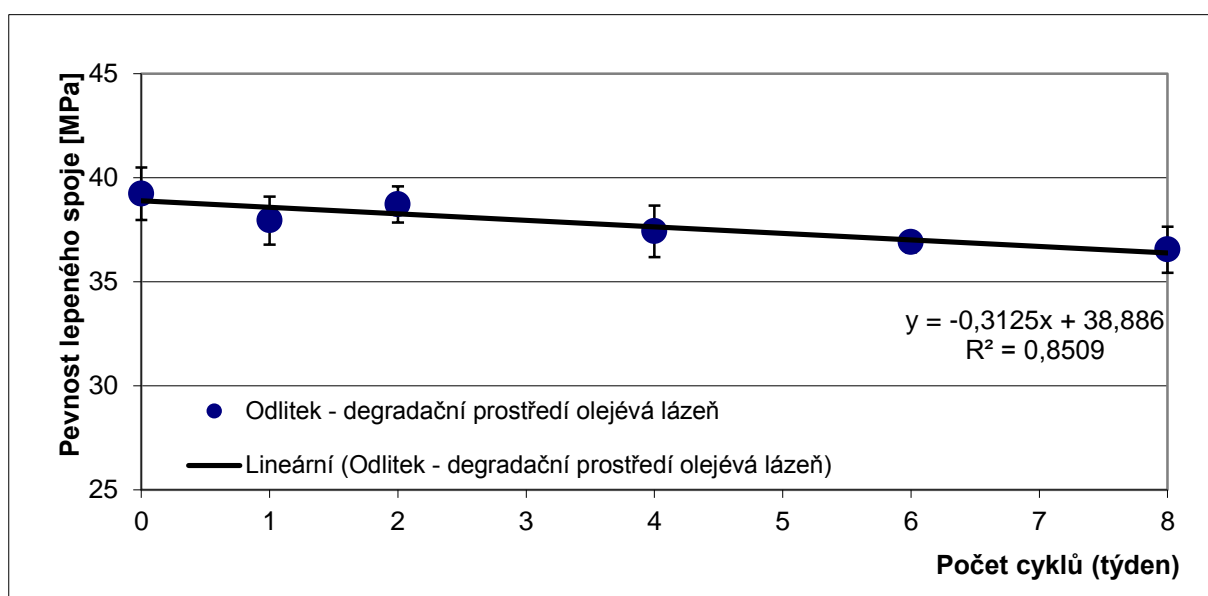
V dešťové vodě se 33% roztokem chloridu draselného, jenž byla v průběhu 8 týdenních cyklů udržována v laboratorní teplotě 23 °C, až po 4. cyklu začala pevnost výrazněji klesat. Z hodnoty po 4. cyklu 37,45 MPa se smyková pevnost dostala na rovných 34 MPa po 8. cyklu. Z grafu lze usoudit, že ve vodě se solí lepený spoj výrazně ztratil na pevnosti. Mezi 0 cyklem a hodnotou po 8 cyklech je pevnostní rozdíl 5,23 MPa.



4.5.8 Odlitky z epoxidové pryskyřice v oleji

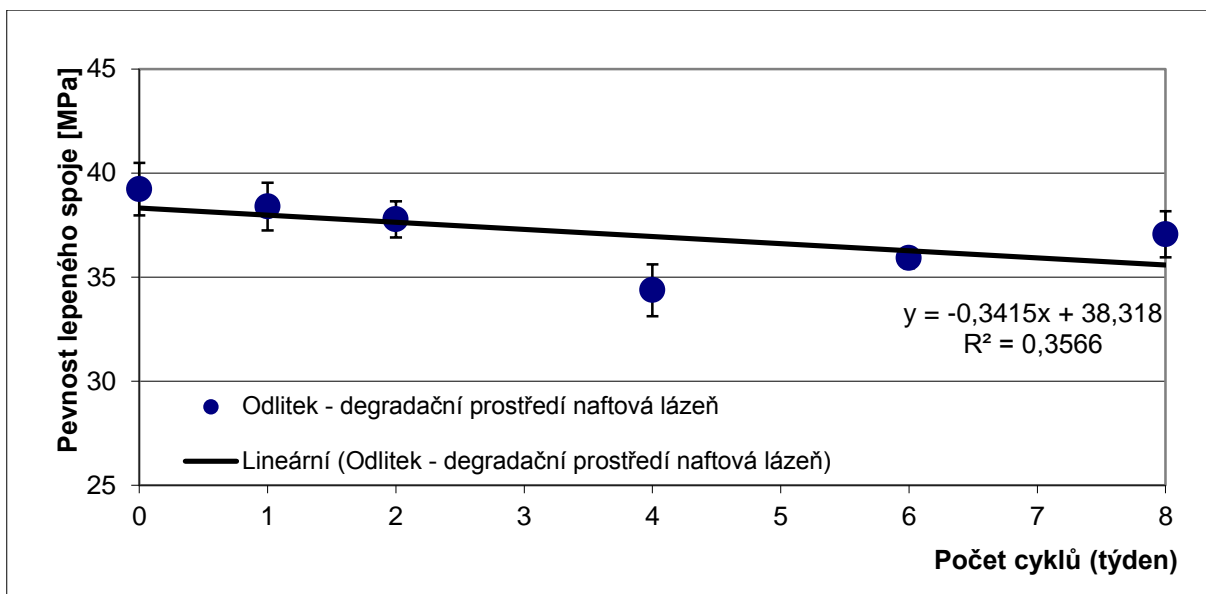
V oleji, jenž byl v průběhu 8 týdenních cyklů udržován v laboratorní teplotě 23 °C, se pevnost lepených spojů udržovala na přibližně stejné hodnotě. Z řady vybočuje pouze hodnota po prvním cyklu. Při posledním 8. cyklu degradace byla naměřena hodnota 36,54 MPa. U odlitků z oleje je zajímavé, že se výrazně kroutily viz obr. 24. Z grafu lze usoudit, že olej nijak výrazně nesnižoval pevnostní vlastnosti odlitků.

Obr. 24: Bokorys odlitku po provedení dvou cyklů



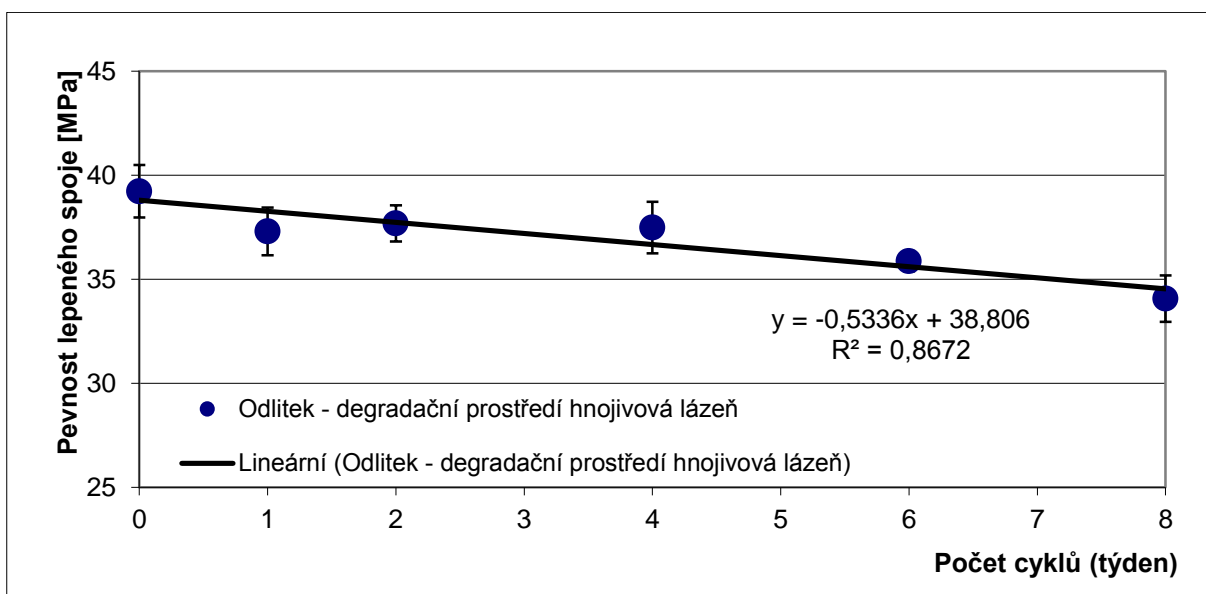
4.5.9 Odlitky z epoxidové pryskyřice v naftě

V naftě, jenž byla v průběhu 8 týdenních cyklů udržována v laboratorní teplotě 23 °C, pevnost lepených spojů klesala do 4. cyklu, poté začala stoupat. Vzorky nepoznamenané degradací měly původní hodnotu 39,23 MPa, po 8 cyklech degradace byla naměřena hodnota 37,06 MPa.

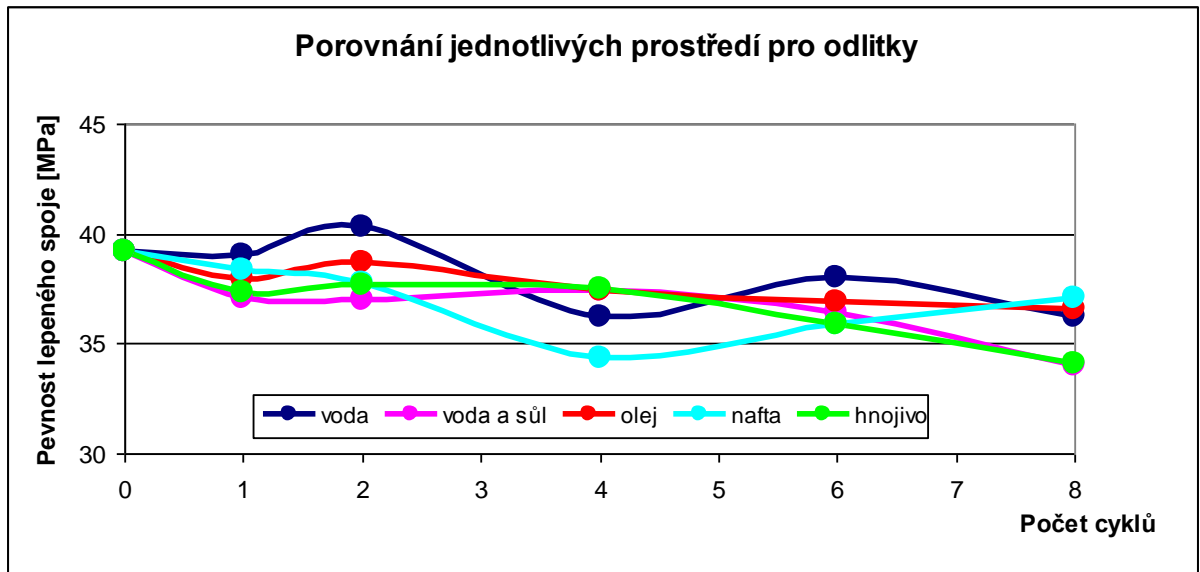


4.5.10 Odlitky z epoxidové pryskyřice v universálním hnojivu Cererit

V hnojivu, jenž bylo v průběhu 8 týdenních cyklů udržováno v laboratorní teplotě 23 °C, pevnost lepených téměř pravidelně klesala. Po 4. cyklu začala pevnost rovnoměrně klesat. Při posledním 8. cyklu degradace byla naměřena hodnota 34,07 MPa. Prostředí hnojiva bylo poměrně agresivní.

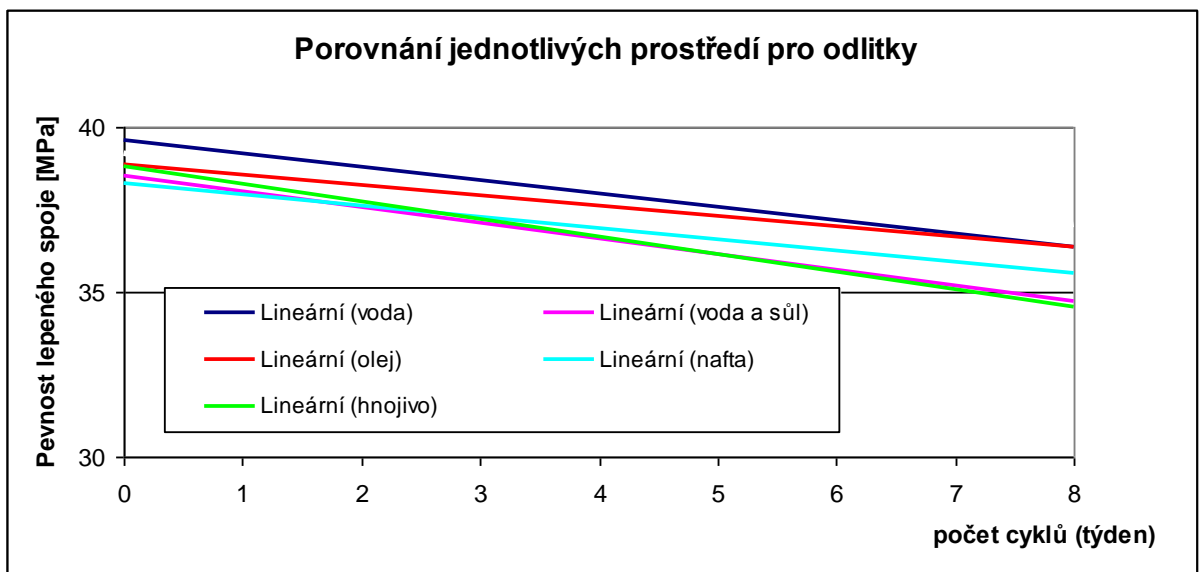


Graf vývoje pevnosti lepeného spoje pro odlitky v jednotlivých prostředích:



Z tohoto porovnávacího grafu pro odlitky je zřetelný celkově největší pokles pevnosti mezi 2. a 4. cyklem, kde klesala pevnost u odlitků ve čtyřech prostředích, kromě vody se solí. Nejdolnějšími prostředím se zdá být voda a olej. Naopak hnojivo a voda se solí po posledním cyklu výrazně ztratily na pevnosti. Lze usoudit, že pevnost odlitků po provedení 8-cyklového intervalu klesla ve všech pěti médiích, ovšem nevýrazně oproti vzorkům z oceli.

Graf vývoje pevnosti lepeného spoje pro odlitky v jednotlivých prostředích vyjádřeno spojnicemi trendu:



Degradační prostředí – pořadí z hlediska agresivnosti pro odlitky:

Na základě spojnice trendu lze vytvořit predikci do budoucna a tím sestavit pořadí. Výsledkem je předpokládaný počet týdenních cyklů, po kterých se lepený spoj rozpadne:

- | | | |
|----|-----------------------------|-----------|
| 1) | universální hnojivo Cererit | 72 cyklů |
| 2) | voda se 33% roztokem soli | 80 cyklů |
| 3) | voda | 97 cyklů |
| 4) | nafta | 112 cyklů |
| 5) | olej | 124 cyklů |

Obr. 25: Vzhled odlitků po 8 cyklech naložených v médiích společně s ocelovými zkušebními tělesy.



5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo především experimentální posouzení působení degradačních prostředí na lepidlo a lepené spoje.

V teoretické části práce byly popsány základní principy technologie lepení, výhody a nevýhody lepení a také nové trendy a technologie v lepení. V první části byla vysvětlena základní pravidla lepení, adheze a koheze. Také byla popsána technologie lepení z pohledu jednotlivých materiálů, jenž je možné navzájem spojovat. Dále byly rozebrány některé nové trendy uplatňující se v technologii lepení. Ve druhé části byla popsána obecně degradace polymerů. Faktorů, které ovlivňují lepený spoj je několik, prostředí ve kterém se nachází, zvýšená teplota, oheň, chemická činidla nebo mechanické namáhání. Lepené spoje kromě degradačních aspektů, mohou mít omezenou svoji pevnost, a to z důvodu závad. Závada vnější může být lehce rozeznatelná lidským okem, ale také může být rozeznatelná až detailním posouzením stykových ploch.

Experiment v praktické části byl posouzením interakce degradace adherendu, lepidla a lepeného spoje. Za tímto účelem bylo vybráno pět různých prostředí - voda, voda se 33% roztokem soli, olej, nafta a universální hnojivo Cererit. Zkušebními tělesy byly za prvé slepené ocelové vzorky a za druhé odlitky. Za pomoci peci a mrazáku bylo vytvořeno umělé agresivní prostředí, které umožnilo zaznamenání rozdílů pevnosti zkušebních těles v jednotlivých prostředích. Tyto výsledky bylo možné vyhodnotit na základě destruktivních zkoušek změřením smykové pevnosti v tahu. Na tyto pokusy bylo nakonec použito 162 zkušebních těles z oceli a 106 odlitků z epoxidové pryskyřice.

U zkušebních těles z oceli byl zřetelný pokles pevnosti mezi 6. a 8. cyklem. Z měření zřetelně vyplývá, že největší odolnost měly vzorky v oleji, poté v naftě a ve hnojivu, ve vodě a vzorky ve vodě se solí odolávaly degradaci nejméně. Vzorky přesto této zátěži odolaly, ani prudké změny teplot nezapříčinily úplné oddělení adherendů. Všechna tělesa mohla být podrobena smykové zkoušce pevnosti v tahu. Ovšem rozdíly pevnosti mezi zkušebními tělesy, jenž neabsolvovala 8-týdenní cyklus a těmi po absolvování 8-týdenního cyklu byly výrazné. Pro zkušební tělesa bez uměle vyvolaného degradačního prostředí byla naměřena pevnost 8,97MPa a pro zkušební tělesa, která prošla 8-týdenní zátěží neustálých změn teplot a prostředí byla naměřena znatelně nižší pevnost (7,55MPa - voda, 7,59MPa – voda se solí, 8,05MPa - olej, 7,66 MPa - nafta a 7,73 MPa - hnojivo).

U odlitků byl zřetelný největší pokles pevnosti mezi 2. a 4. cyklem. Nejdolnějším prostředím pro odlitky byly voda a olej. Naopak odlitky v hnojivu a vodě se solí po posledním cyklu výrazně ztratily na pevnosti. Lze usoudit, že pevnost odlitků po provedení 8-cyklového intervalu klesla ve všech pěti médiích, ovšem méně oproti vzorkům z oceli.

6 Použitá literatura

- [1] POKORNÝ, J.: Lepení a tmelení v dílně i domácnosti. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2000. 108 s. ISBN 80-7169-857-1
- [2] KALIBÁN, L.: Aplikace technologie lepení v praxi a trendy jejího vývoje. Bakalářská práce, 2009. 36 s.
- [3] OSTEN, M.: Práce s lepidly a tmely. 3. vydání. Praha: Grada Publishing, 1996. 136 s. ISBN 80-7169-338-3
- [4] DUCHÁČEK, V.: Polymery- výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vydání. Praha: VŠCHT, 2006. 278 s. ISBN 80-7080-617-6
- [5] BROŽEK, M.: Základy strojírenské technologie (návody na cvičení). 1. vydání. Praha: Editpress, 2001. 164 s. ISBN 80-213-0724-2
- [6] KOVAČIČ, Ľ.: Lepenie kovov a plastov. 2. vydání. Bratislava: ALFA, 1984. 400 s.
- [7] MÜLLER, M.; BROŽEK, M.: Mechanická úprava lepeného povrchu. TM VYDAVATELSTVÍ. [online]. [citace 20.2.2009]. Dostupné z: http://www.tmydavatelstvi.cz/svarovani/0402/str_56.pdf
- [8] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC . Technologie lepení v automobilovém průmyslu. [online]. [citace 10.3.2009]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
- [9] ŠPONER, V.: Lepení plastů. TM VYDAVATELSTVÍ. [online]. [citace 7.3.2009]. Dostupné z: http://www.tmydavatelstvi.cz/svarovani/05/str_26_27.pdf
- [10] GREGOR, M.: Lepidla a tmely. [online]. [citace 22.3.2009]. Dostupné z: <http://oblibene.cz/lepidla/?cap=4852>
- [11] GREGOR, M.: Lepení kovů. [online]. [citace 10.3.2009]. Dostupné z: <http://www.uhu.cz/lepeni-kovu>
- [12] PLICKA, T.: Stabilizace kolejového lože technologií lepení šterku pryskyřicí [online]. [citace 8.3.2011]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/stabilizace-kolejoveho-loze-technologie-lepeni-sterku-pryskyrici/>
- [13] BROŽEK, M.: Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje

[online]. [citace 6.3.2011]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vliv-tloustky-vrstvy-lepidla-na-pevnost-lepeného-spoje>

[14] MÜLLER, M: Lepení hliníku a duralu kyanoakryláty [online]. [citace 6.3.2011]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-hliniku-a-duralu-kyanoakrylaty>

[15] ČESKÝ KUTIL: Nové technologie v lepení [online]. [citace 6.3.2011]. Dostupné z: <http://www.ceskykutil.cz/lepeni-plastu-s-vysokou-pevnosti-1-dil>

[16] MÜLLER, M: Interakce degradace adherendu, lepidla a lepeného spoje. Závěrečná zpráva o řešení. 26 s.

Použité normy:

ČSN EN 1465 (1997):. *Lepidla - Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přehlátovaných tělesech*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 7 s.

ČSN ISO 10365 (1995): *Lepidla - Označení hlavních typů porušení lepeného spoje*. Praha: Český normalizační institut, 1995. 6 s.

ČSN EN ISO 9142 (2004): *Lepidla – Směrnice k výběru laboratorních podmínek stárnutí pro hodnocení lepených spojů*, Český normalizační institut, 2004. 26 s.

ČSN EN ISO 3167 (2004): *Plasty – Víceúčelová tělesa*, Český normalizační institut, 2004. 9 s.

7 Seznam příloh

- Příloha 1 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel ve vodě
- Příloha 2 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v 33% roztoku vody se solí
- Příloha 3 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v oleji
- Příloha 4 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v naftě
- Příloha 5 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v hnojivu
- Příloha 6 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice ve vodě
- Příloha 7 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v 33% roztoku vody se solí
- Příloha 8 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v oleji
- Příloha 9 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v naftě
- Příloha 10 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v hnojivu

Příloha 1 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel ve vodě

| cyklus | zátěžná síla (N) | délka přelevu (mm) | plocha přelevu (mm ²) | pevnost τ [MPa] | typ porušení | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|-------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------|-----------------|----------|-------|
| 0 | 2920 | 12,3 | 307,5 | 9,50 | AF | 8,97 | 1,26 | 14,1 |
| | 4020 | 13,2 | 330 | 12,18 | AF | | | |
| | 2560 | 12,6 | 315 | 8,13 | AF | | | |
| | 3100 | 13,3 | 332,5 | 9,32 | AF | | | |
| | 3070 | 13,5 | 337,5 | 9,10 | AF | | | |
| | 2180 | 13,1 | 327,5 | 6,66 | AF | | | |
| | 2680 | 12,8 | 320 | 8,38 | AF | | | |
| | 2710 | 12,6 | 315 | 8,60 | AF | | | |
| | 3020 | 13,5 | 337,5 | 8,95 | AF | | | |
| | 2980 | 13,3 | 332,5 | 8,96 | AF | | | |
| | 3410 | 13,8 | 345 | 9,88 | SCF | | | |
| 2640 | 13,3 | 332,5 | 7,94 | AF | | | | |
| \emptyset | 2941 | 13,11 | 327,71 | | | | | |
| 1 | 3390 | 13,9 | 347,5 | 9,76 | AF | 8,74 | 0,77 | 8,82 |
| | 2650 | 12,6 | 315 | 8,41 | AF | | | |
| | 2720 | 12,8 | 320 | 8,50 | SCF | | | |
| | 2850 | 13,4 | 335 | 8,51 | AF | | | |
| | 3300 | 13,6 | 340 | 9,71 | AF | | | |
| 2420 | 12,8 | 320 | 7,56 | AF | | | | |
| \emptyset | 2888 | 13,18 | 329,58 | | | | | |
| 2 | 2820 | 13,1 | 327,5 | 8,61 | SCF | 8,49 | 1,33 | 15,7 |
| | 3120 | 13,2 | 330 | 9,45 | AF | | | |
| | 4020 | 15,2 | 380 | 10,58 | AF | | | |
| | 2280 | 12,7 | 317,5 | 7,18 | AF | | | |
| | 3070 | 14,4 | 360 | 8,53 | AF | | | |
| 2140 | 13 | 325 | 6,58 | AF | | | | |
| \emptyset | 2908 | 13,60 | 340,00 | | | | | |
| 4 | 2200 | 12,8 | 320 | 6,88 | AF | 8,42 | 1,04 | 12,37 |
| | 3080 | 13,6 | 340 | 9,06 | AF | | | |
| | 3350 | 13,4 | 335 | 10,00 | AF | | | |
| | 2370 | 12,5 | 312,5 | 7,58 | AF | | | |
| | 3220 | 14,3 | 357,5 | 9,01 | AF | | | |
| 2640 | 13,2 | 330 | 8,00 | AF | | | | |
| \emptyset | 2810 | 13,30 | 332,50 | | | | | |
| 6 | 2660 | 13,2 | 330 | 8,06 | AF | 8,37 | 1,01 | 12,06 |
| | 2520 | 13,6 | 340 | 7,41 | AF | | | |
| | 3310 | 12,8 | 320 | 10,34 | AF | | | |
| | 2580 | 13,3 | 332,5 | 7,76 | AF | | | |
| | 3140 | 14 | 350 | 8,97 | SCF | | | |
| 2400 | 12,5 | 312,5 | 7,68 | AF | | | | |
| \emptyset | 2768 | 13,23 | 330,83 | | | | | |
| 8 | 1980 | 14 | 350 | 5,66 | AF | 7,55 | 1,11 | 14,73 |
| | 3160 | 14,6 | 365 | 8,66 | AF | | | |
| | 2630 | 12,7 | 317,5 | 8,28 | AF | | | |
| | 3080 | 14,1 | 352,5 | 8,74 | AF | | | |
| | 2290 | 13,2 | 330 | 6,94 | AF | | | |
| 2280 | 13 | 325 | 7,02 | AF | | | | |
| \emptyset | 2570 | 13,60 | 340,00 | | | | | |

Příloha 2 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v 33% roztoku vody se solí

| cyklus | zátěžná síla (N) | délka přelepu (mm) | plocha přelepu (mm ²) | pevnost τ [MPa] | typ porušení | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|-------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------|-----------------|----------|-------|
| 0 | 2920 | 12,3 | 307,5 | 9,50 | AF | 8,97 | 1,26 | 14,1 |
| | 4020 | 13,2 | 330 | 12,18 | AF | | | |
| | 2560 | 12,6 | 315 | 8,13 | AF | | | |
| | 3100 | 13,3 | 332,5 | 9,32 | AF | | | |
| | 3070 | 13,5 | 337,5 | 9,10 | AF | | | |
| | 2180 | 13,1 | 327,5 | 6,66 | AF | | | |
| | 2680 | 12,8 | 320 | 8,38 | AF | | | |
| | 2710 | 12,6 | 315 | 8,60 | AF | | | |
| | 3020 | 13,5 | 337,5 | 8,95 | AF | | | |
| | 2980 | 13,3 | 332,5 | 8,96 | AF | | | |
| | 3410 | 13,8 | 345 | 9,88 | SCF | | | |
| 2640 | 13,3 | 332,5 | 7,94 | AF | | | | |
| \emptyset | 2941 | 13,11 | 327,71 | | | | | |
| 1 | 2460 | 12,6 | 315 | 7,81 | AF | 8,78 | 0,85 | 9,66 |
| | 3290 | 12,7 | 317,5 | 10,36 | AF | | | |
| | 2710 | 13,2 | 330 | 8,21 | AF | | | |
| | 2780 | 13 | 325 | 8,55 | AF | | | |
| | 2620 | 12,5 | 312,5 | 8,38 | AF | | | |
| | 3090 | 13,2 | 330 | 9,36 | SCF | | | |
| \emptyset | 2825 | 12,87 | 321,67 | | | | | |
| 2 | 2760 | 13,3 | 332,5 | 8,30 | AF | 8,15 | 0,91 | 11,22 |
| | 2780 | 13,6 | 340 | 8,18 | AF | | | |
| | 2300 | 13,4 | 335 | 6,87 | AF | | | |
| | 2330 | 13 | 325 | 7,17 | AF | | | |
| | 3120 | 14 | 350 | 8,91 | AF | | | |
| | 2990 | 12,6 | 315 | 9,49 | AF | | | |
| \emptyset | 2713 | 13,32 | 332,92 | | | | | |
| 4 | 3220 | 13,7 | 342,5 | 9,40 | SCF | 8,31 | 0,98 | 11,82 |
| | 2410 | 13,4 | 335 | 7,19 | AF | | | |
| | 2150 | 12,6 | 315 | 6,83 | AF | | | |
| | 3060 | 13,2 | 330 | 9,27 | AF | | | |
| | 3100 | 14,8 | 370 | 8,38 | AF | | | |
| | 2740 | 12,5 | 312,5 | 8,77 | AF | | | |
| \emptyset | 2780 | 13,37 | 334,17 | | | | | |
| 6 | 2220 | 13,4 | 335 | 6,63 | AF | 7,52 | 0,72 | 9,54 |
| | 2380 | 12,5 | 312,5 | 7,62 | AF | | | |
| | 2270 | 12,3 | 307,5 | 7,38 | AF | | | |
| | 2640 | 12,8 | 320 | 8,25 | AF | | | |
| | 2860 | 13,4 | 335 | 8,54 | AF | | | |
| | 2090 | 12,5 | 312,5 | 6,69 | AF | | | |
| \emptyset | 2410 | 12,82 | 320,42 | | | | | |
| 8 | 2540 | 12,7 | 317,5 | 8,00 | SCF | 7,59 | 1,09 | 14,33 |
| | 2560 | 13,8 | 345 | 7,42 | AF | | | |
| | 3070 | 15 | 375 | 8,19 | AF | | | |
| | 3140 | 14,2 | 355 | 8,85 | SCF | | | |
| | 2400 | 12,4 | 310 | 7,74 | AF | | | |
| | 1770 | 13,2 | 330 | 5,36 | AF | | | |
| \emptyset | 2580 | 13,55 | 338,75 | | | | | |

Příloha 3 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v oleji

| cyklus | zátěžná síla (N) | délka přeletu (mm) | plocha přeletu (mm ²) | pevnost τ [MPa] | typ porušení | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|-------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------|-----------------|----------|-------|
| 0 | 2920 | 12,3 | 307,5 | 9,50 | AF | 8,97 | 1,26 | 14,1 |
| | 4020 | 13,2 | 330 | 12,18 | AF | | | |
| | 2560 | 12,6 | 315 | 8,13 | AF | | | |
| | 3100 | 13,3 | 332,5 | 9,32 | AF | | | |
| | 3070 | 13,5 | 337,5 | 9,10 | AF | | | |
| | 2180 | 13,1 | 327,5 | 6,66 | AF | | | |
| | 2680 | 12,8 | 320 | 8,38 | AF | | | |
| | 2710 | 12,6 | 315 | 8,60 | AF | | | |
| | 3020 | 13,5 | 337,5 | 8,95 | AF | | | |
| | 2980 | 13,3 | 332,5 | 8,96 | AF | | | |
| | 3410 | 13,8 | 345 | 9,88 | SCF | | | |
| | 2640 | 13,3 | 332,5 | 7,94 | AF | | | |
| \emptyset | 2941 | 13,11 | 327,71 | | | | | |
| 1 | 3040 | 14,05 | 351,25 | 8,65 | AF | 8,6 | 0,79 | 9,17 |
| | 3230 | 12,9 | 322,5 | 10,02 | SCF | | | |
| | 3040 | 13,6 | 340 | 8,94 | AF | | | |
| | 2730 | 12,8 | 320 | 8,53 | AF | | | |
| | 2650 | 13,4 | 335 | 7,91 | AF | | | |
| | 2440 | 12,95 | 323,75 | 7,54 | AF | | | |
| \emptyset | 2855 | 13,28 | 332,08 | | | | | |
| 2 | 3270 | 12,8 | 320 | 10,22 | AF | 8,78 | 0,94 | 10,65 |
| | 2340 | 13 | 325 | 7,20 | AF | | | |
| | 2950 | 12,4 | 310 | 9,52 | AF | | | |
| | 2730 | 12,8 | 320 | 8,53 | AF | | | |
| | 2910 | 13,7 | 342,5 | 8,50 | AF | | | |
| | 3080 | 14,1 | 352,5 | 8,74 | AF | | | |
| \emptyset | 2880 | 13,13 | 328,33 | | | | | |
| 4 | 2660 | 12,6 | 315 | 8,44 | AF | 8,48 | 1,22 | 14,4 |
| | 3000 | 12,8 | 320 | 9,38 | AF | | | |
| | 2490 | 13,3 | 332,5 | 7,49 | AF | | | |
| | 2140 | 13,2 | 330 | 6,48 | AF | | | |
| | 2980 | 13,4 | 335 | 8,90 | AF | | | |
| | 3500 | 13,7 | 342,5 | 10,22 | SCF | | | |
| \emptyset | 2795 | 13,17 | 329,17 | | | | | |
| 6 | 2190 | 12,8 | 320 | 6,84 | AF | 8,57 | 1,33 | 15,51 |
| | 3080 | 13,5 | 337,5 | 9,13 | SCF | | | |
| | 2220 | 13,2 | 330 | 6,73 | AF | | | |
| | 3310 | 13,1 | 327,5 | 10,11 | AF | | | |
| | 2920 | 13,2 | 330 | 8,85 | AF | | | |
| | 3280 | 13,4 | 335 | 9,79 | AF | | | |
| \emptyset | 2833 | 13,20 | 330,00 | | | | | |
| 8 | 2420 | 12,3 | 307,5 | 7,87 | AF | 8,05 | 0,62 | 7,73 |
| | 2950 | 13 | 325 | 9,08 | AF | | | |
| | 2860 | 14,6 | 365 | 7,84 | SCF | | | |
| | 2690 | 13,1 | 327,5 | 8,21 | AF | | | |
| | 2800 | 13,5 | 337,5 | 8,30 | AF | | | |
| | 2240 | 12,8 | 320 | 7,00 | AF | | | |
| \emptyset | 2660 | 13,22 | 330,42 | | | | | |

Příloha 4 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v naftě

| cyklus | zátěžná síla (N) | délka přeřepu (mm) | plocha přeřepu (mm ²) | pevnost τ [MPa] | typ porušení | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|-------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------|-----------------|----------|-------|
| 0 | 2920 | 12,3 | 307,5 | 9,50 | AF | 8,97 | 1,26 | 14,1 |
| | 4020 | 13,2 | 330 | 12,18 | AF | | | |
| | 2560 | 12,6 | 315 | 8,13 | AF | | | |
| | 3100 | 13,3 | 332,5 | 9,32 | AF | | | |
| | 3070 | 13,5 | 337,5 | 9,10 | AF | | | |
| | 2180 | 13,1 | 327,5 | 6,66 | AF | | | |
| | 2680 | 12,8 | 320 | 8,38 | AF | | | |
| | 2710 | 12,6 | 315 | 8,60 | AF | | | |
| | 3020 | 13,5 | 337,5 | 8,95 | AF | | | |
| | 2980 | 13,3 | 332,5 | 8,96 | AF | | | |
| | 3410 | 13,8 | 345 | 9,88 | SCF | | | |
| | 2640 | 13,3 | 332,5 | 7,94 | AF | | | |
| \emptyset | 2941 | 13,11 | 327,71 | | | | | |
| 1 | 2520 | 12,4 | 310 | 8,13 | AF | 8,59 | 0,87 | 10,15 |
| | 2670 | 12,85 | 321,25 | 8,31 | AF | | | |
| | 3260 | 13,1 | 327,5 | 9,95 | AF | | | |
| | 2840 | 13,25 | 331,25 | 8,57 | AF | | | |
| | 2420 | 13,4 | 335 | 7,22 | AF | | | |
| | 2960 | 12,7 | 317,5 | 9,32 | AF | | | |
| \emptyset | 2778 | 12,95 | 323,75 | | | | | |
| 2 | 3400 | 13,2 | 330 | 10,30 | SCF | 8,48 | 1,57 | 18,47 |
| | 3280 | 13,1 | 327,5 | 10,02 | AF | | | |
| | 1890 | 12,8 | 320 | 5,91 | AF | | | |
| | 2360 | 12,7 | 317,5 | 7,43 | AF | | | |
| | 2620 | 13,4 | 335 | 7,82 | AF | | | |
| | 3110 | 13,2 | 330 | 9,42 | SCF | | | |
| \emptyset | 2777 | 13,07 | 326,67 | | | | | |
| 4 | 2970 | 13 | 325 | 9,14 | AF | 8,35 | 0,69 | 8,2 |
| | 2850 | 13,8 | 345 | 8,26 | AF | | | |
| | 2720 | 14 | 350 | 7,77 | AF | | | |
| | 2360 | 13,1 | 327,5 | 7,21 | AF | | | |
| | 2990 | 13,4 | 335 | 8,93 | AF | | | |
| | 2820 | 12,8 | 320 | 8,81 | AF | | | |
| \emptyset | 2785 | 13,35 | 333,75 | | | | | |
| 6 | 2650 | 12,3 | 307,5 | 8,62 | AF | 8,21 | 0,47 | 5,77 |
| | 3040 | 14,2 | 355 | 8,56 | SCF | | | |
| | 2640 | 13,4 | 335 | 7,88 | AF | | | |
| | 3180 | 14,4 | 360 | 8,83 | AF | | | |
| | 2270 | 12 | 300 | 7,57 | AF | | | |
| | 2700 | 13,8 | 345 | 7,83 | AF | | | |
| \emptyset | 2747 | 13,35 | 333,75 | | | | | |
| 8 | 2400 | 13,7 | 342,5 | 7,01 | AF | 7,66 | 1,16 | 15,08 |
| | 2160 | 13,4 | 335 | 6,45 | AF | | | |
| | 2980 | 13,6 | 340 | 8,76 | AF | | | |
| | 2110 | 13,5 | 337,5 | 6,25 | AF | | | |
| | 2900 | 12,5 | 312,5 | 9,28 | AF | | | |
| | 2580 | 12,6 | 315 | 8,19 | AF | | | |
| \emptyset | 2522 | 13,22 | 330,42 | | | | | |

Příloha 5 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro ocel v hnojivu

| cyklus | zátěžná síla (N) | délka přeletu (mm) | plocha přeletu (mm ²) | pevnost τ [MPa] | typ porušení | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|-------------|---------------------|--------------------------|---|-------------------------|-----------------|-----------------|----------|-------|
| 0 | 2920 | 12,3 | 307,5 | 9,50 | AF | 8,97 | 1,26 | 14,1 |
| | 4020 | 13,2 | 330 | 12,18 | AF | | | |
| | 2560 | 12,6 | 315 | 8,13 | AF | | | |
| | 3100 | 13,3 | 332,5 | 9,32 | AF | | | |
| | 3070 | 13,5 | 337,5 | 9,10 | AF | | | |
| | 2180 | 13,1 | 327,5 | 6,66 | AF | | | |
| | 2680 | 12,8 | 320 | 8,38 | AF | | | |
| | 2710 | 12,6 | 315 | 8,60 | AF | | | |
| | 3020 | 13,5 | 337,5 | 8,95 | AF | | | |
| | 2980 | 13,3 | 332,5 | 8,96 | AF | | | |
| | 3410 | 13,8 | 345 | 9,88 | SCF | | | |
| | 2640 | 13,3 | 332,5 | 7,94 | AF | | | |
| \emptyset | 2941 | 13,11 | 327,71 | | | | | |
| 1 | 3200 | 13,5 | 337,5 | 9,48 | AF | 8,84 | 1,15 | 12,97 |
| | 2880 | 12,9 | 322,5 | 8,93 | AF | | | |
| | 2520 | 12,6 | 315 | 8,00 | AF | | | |
| | 2690 | 12,3 | 307,5 | 8,75 | AF | | | |
| | 3740 | 13,9 | 347,5 | 10,76 | AF | | | |
| | 2430 | 13,7 | 342,5 | 7,09 | AF | | | |
| \emptyset | 2910 | 13,15 | 328,75 | | | | | |
| 2 | 2630 | 12,9 | 322,5 | 8,16 | AF | 8,66 | 0,87 | 9,99 |
| | 3320 | 13 | 325 | 10,22 | AF | | | |
| | 3100 | 13,2 | 330 | 9,39 | AF | | | |
| | 2620 | 12,6 | 315 | 8,32 | AF | | | |
| | 2770 | 13,5 | 337,5 | 8,21 | AF | | | |
| | 2650 | 13,8 | 345 | 7,68 | AF | | | |
| \emptyset | 2848 | 13,17 | 329,17 | | | | | |
| 4 | 2190 | 14 | 350 | 6,26 | AF | 8,35 | 1,24 | 14,84 |
| | 2630 | 12,4 | 310 | 8,48 | AF | | | |
| | 3160 | 14,6 | 365 | 8,66 | AF | | | |
| | 3380 | 12,9 | 322,5 | 10,48 | SCF | | | |
| | 2820 | 14,2 | 355 | 7,94 | AF | | | |
| | 2600 | 12,6 | 315 | 8,25 | AF | | | |
| \emptyset | 2797 | 13,45 | 336,25 | | | | | |
| 6 | 2770 | 14,2 | 355 | 7,80 | AF | 8,39 | 0,48 | 5,67 |
| | 2580 | 12,6 | 315 | 8,19 | AF | | | |
| | 2540 | 13 | 325 | 7,82 | AF | | | |
| | 3230 | 14,7 | 367,5 | 8,79 | AF | | | |
| | 2800 | 12,6 | 315 | 8,89 | AF | | | |
| | 2840 | 12,8 | 320 | 8,88 | AF | | | |
| \emptyset | 2793 | 13,32 | 332,92 | | | | | |
| 8 | 2640 | 14,7 | 367,5 | 7,18 | AF | 7,73 | 1,11 | 14,38 |
| | 3160 | 13,2 | 330 | 9,58 | AF | | | |
| | 1900 | 12,6 | 315 | 6,03 | AF | | | |
| | 2810 | 14,2 | 355 | 7,92 | SCF | | | |
| | 3040 | 14,4 | 360 | 8,44 | AF | | | |
| | 2360 | 13,1 | 327,5 | 7,21 | AF | | | |
| \emptyset | 2652 | 13,70 | 342,50 | | | | | |

Příloha 6 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice ve vodě

| cyklus | a | b | plocha (mm ²) | F (N) | pevnost τ [MPa] | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|----------|-------------|-------------|------------------------------|-------|-------------------------|-----------------|-------------|--------------|
| 0 | 4,02 | 9,45 | 37,96 | 1280 | 33,72 | 39,23 | 3,66 | 9,32 |
| | 4,38 | 9,45 | 41,42 | 1840 | 44,42 | | | |
| | 4,52 | 9,42 | 42,53 | 1600 | 37,62 | | | |
| | 4,45 | 9,42 | 41,90 | 1820 | 43,43 | | | |
| | 4,17 | 9,38 | 39,10 | 1490 | 38,11 | | | |
| | 3,98 | 9,43 | 37,58 | 1430 | 38,06 | | | |
| ∅ | 4,25 | 9,43 | 40,08 | | | | | |
| 1 | 4,43 | 9,45 | 41,90 | 1610 | 38,43 | 39,03 | 2,37 | 6,07 |
| | 3,90 | 9,42 | 36,73 | 1300 | 35,40 | | | |
| | 4,07 | 9,40 | 38,23 | 1570 | 41,07 | | | |
| | 4,42 | 9,45 | 41,74 | 1720 | 41,21 | | | |
| ∅ | 4,20 | 9,43 | 39,65 | | | | | |
| 2 | 4,08 | 9,47 | 38,66 | 1410 | 36,48 | 40,33 | 2,37 | 5,86 |
| | 4,40 | 9,40 | 41,36 | 1700 | 41,10 | | | |
| | 4,15 | 9,43 | 39,15 | 1680 | 42,91 | | | |
| | 4,25 | 9,45 | 40,16 | 1640 | 40,83 | | | |
| ∅ | 4,22 | 9,44 | 39,83 | | | | | |
| 4 | 4,15 | 9,40 | 39,01 | 1600 | 41,02 | 36,18 | 6,18 | 17,08 |
| | 4,27 | 9,45 | 40,32 | 1720 | 42,66 | | | |
| | 4,20 | 9,40 | 39,48 | 1070 | 27,10 | | | |
| | 4,43 | 9,43 | 41,82 | 1420 | 33,95 | | | |
| ∅ | 4,26 | 9,42 | 40,16 | | | | | |
| 6 | 3,83 | 9,40 | 36,03 | 1330 | 36,91 | 38,03 | 2,45 | 6,44 |
| | 4,50 | 9,43 | 42,45 | 1510 | 35,57 | | | |
| | 4,27 | 9,48 | 40,46 | 1520 | 37,57 | | | |
| | 4,53 | 9,43 | 42,76 | 1800 | 42,09 | | | |
| ∅ | 4,28 | 9,44 | 40,43 | | | | | |
| 8 | 3,97 | 9,45 | 37,49 | 1360 | 36,28 | 36,22 | 3,17 | 8,76 |
| | 4,50 | 9,43 | 42,45 | 1510 | 35,57 | | | |
| | 4,47 | 9,40 | 41,99 | 1720 | 40,97 | | | |
| | 4,35 | 9,47 | 41,18 | 1320 | 32,05 | | | |
| ∅ | 4,32 | 9,44 | 40,78 | | | | | |

Příloha 7 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v 33% roztoku vody se solí

| cyklus | a | b | plocha (mm ²) | F (N) | pevnost τ [MPa] | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|----------|-------------|-------------|---------------------------|-------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|
| 0 | 4,02 | 9,45 | 37,96 | 1280 | 33,72 | 39,23 | 3,66 | 9,32 |
| | 4,38 | 9,45 | 41,42 | 1840 | 44,42 | | | |
| | 4,52 | 9,42 | 42,53 | 1600 | 37,62 | | | |
| | 4,45 | 9,42 | 41,90 | 1820 | 43,43 | | | |
| | 4,17 | 9,38 | 39,10 | 1490 | 38,11 | | | |
| | 3,98 | 9,43 | 37,58 | 1430 | 38,06 | | | |
| ∅ | 4,25 | 9,43 | 40,08 | | | | | |
| 1 | 4,13 | 9,43 | 38,99 | 1570 | 40,27 | 37,06 | 3,57 | 9,62 |
| | 4,13 | 9,47 | 39,13 | 1600 | 40,89 | | | |
| | 4,37 | 9,47 | 41,34 | 1420 | 34,35 | | | |
| | 4,10 | 9,38 | 38,47 | 1260 | 32,75 | | | |
| ∅ | 4,18 | 9,44 | 39,48 | | | | | |
| 2 | 4,27 | 9,50 | 40,53 | 1520 | 37,50 | 36,95 | 2,32 | 6,28 |
| | 3,90 | 9,42 | 36,73 | 1300 | 35,40 | | | |
| | 4,25 | 9,43 | 40,09 | 1380 | 34,42 | | | |
| | 4,07 | 9,42 | 38,29 | 1550 | 40,48 | | | |
| ∅ | 4,12 | 9,44 | 38,91 | | | | | |
| 4 | 3,85 | 9,48 | 36,51 | 1300 | 35,61 | 37,45 | 1,49 | 3,97 |
| | 4,37 | 9,42 | 41,12 | 1520 | 36,97 | | | |
| | 4,15 | 9,40 | 39,01 | 1550 | 39,73 | | | |
| | 4,37 | 9,47 | 41,34 | 1550 | 37,50 | | | |
| ∅ | 4,18 | 9,44 | 39,49 | | | | | |
| 6 | 4,18 | 9,43 | 39,46 | 1360 | 34,46 | 36,39 | 2,54 | 6,99 |
| | 4,43 | 9,43 | 41,82 | 1460 | 34,91 | | | |
| | 4,15 | 9,40 | 39,01 | 1590 | 40,76 | | | |
| | 4,30 | 9,45 | 40,64 | 1440 | 35,44 | | | |
| ∅ | 4,27 | 9,43 | 40,23 | | | | | |
| 8 | 4,33 | 9,43 | 40,88 | 1350 | 33,03 | 34,00 | 1,53 | 4,50 |
| | 4,43 | 9,43 | 41,82 | 1460 | 34,91 | | | |
| | 4,20 | 9,40 | 39,48 | 1420 | 35,97 | | | |
| | 4,08 | 9,47 | 38,66 | 1240 | 32,08 | | | |
| ∅ | 4,26 | 9,43 | 40,21 | | | | | |

Příloha 8 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v oleji

| cyklus | a | b | plocha (mm ²) | F (N) | pevnost τ [MPa] | \bar{x} [MPa] | So[MPa] | v [%] |
|----------|-------------|-------------|------------------------------|-------|-------------------------|-----------------|-------------|--------------|
| 0 | 4,02 | 9,45 | 37,96 | 1280 | 33,72 | 39,23 | 3,66 | 9,32 |
| | 4,38 | 9,45 | 41,42 | 1840 | 44,42 | | | |
| | 4,52 | 9,42 | 42,53 | 1600 | 37,62 | | | |
| | 4,45 | 9,42 | 41,90 | 1820 | 43,43 | | | |
| | 4,17 | 9,38 | 39,10 | 1490 | 38,11 | | | |
| | 3,98 | 9,43 | 37,58 | 1430 | 38,06 | | | |
| ∅ | 4,25 | 9,43 | 40,08 | | | | | |
| 1 | 3,72 | 9,40 | 34,94 | 1370 | 39,21 | 37,94 | 4,77 | 12,57 |
| | 4,07 | 9,45 | 38,43 | 1230 | 32,01 | | | |
| | 4,10 | 9,45 | 38,75 | 1380 | 35,62 | | | |
| | 3,88 | 9,40 | 36,50 | 1640 | 44,93 | | | |
| ∅ | 3,94 | 9,43 | 37,15 | | | | | |
| 2 | 3,82 | 9,43 | 36,00 | 1060 | 29,44 | 38,72 | 5,48 | 14,15 |
| | 4,30 | 9,42 | 40,49 | 1620 | 40,01 | | | |
| | 4,35 | 9,40 | 40,89 | 1730 | 42,31 | | | |
| | 4,07 | 9,47 | 38,50 | 1660 | 43,12 | | | |
| ∅ | 4,13 | 9,43 | 38,97 | | | | | |
| 4 | 4,23 | 9,43 | 39,93 | 1710 | 42,82 | 37,42 | 3,86 | 10,31 |
| | 4,17 | 9,47 | 39,44 | 1470 | 37,27 | | | |
| | 4,05 | 9,43 | 38,21 | 1440 | 37,69 | | | |
| | 4,40 | 9,40 | 41,36 | 1320 | 31,91 | | | |
| ∅ | 4,21 | 9,43 | 39,74 | | | | | |
| 6 | 4,45 | 9,43 | 41,98 | 1700 | 40,50 | 36,90 | 4,73 | 12,82 |
| | 4,20 | 9,40 | 39,48 | 1140 | 28,88 | | | |
| | 3,80 | 9,42 | 35,78 | 1360 | 38,01 | | | |
| | 4,47 | 9,47 | 42,28 | 1700 | 40,20 | | | |
| ∅ | 4,23 | 9,43 | 39,88 | | | | | |
| 8 | 3,73 | 9,43 | 35,22 | 1240 | 35,21 | 36,54 | 4,24 | 11,61 |
| | 4,40 | 9,47 | 41,65 | 1530 | 36,73 | | | |
| | 4,12 | 9,43 | 38,83 | 1670 | 43,00 | | | |
| | 4,37 | 9,47 | 41,34 | 1290 | 31,21 | | | |
| ∅ | 4,15 | 9,45 | 39,26 | | | | | |

Příloha 9 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v naftě

| cyklus | a | b | plocha (mm ²) | F (N) | pevnost τ [MPa] | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|----------|-------------|-------------|------------------------------|-------|-------------------------|-----------------|-------------|--------------|
| 0 | 4,02 | 9,45 | 37,96 | 1280 | 33,72 | 39,23 | 3,66 | 9,32 |
| | 4,38 | 9,45 | 41,42 | 1840 | 44,42 | | | |
| | 4,52 | 9,42 | 42,53 | 1600 | 37,62 | | | |
| | 4,45 | 9,42 | 41,90 | 1820 | 43,43 | | | |
| | 4,17 | 9,38 | 39,10 | 1490 | 38,11 | | | |
| | 3,98 | 9,43 | 37,58 | 1430 | 38,06 | | | |
| ∅ | 4,25 | 9,43 | 40,08 | | | | | |
| 1 | 4,00 | 9,45 | 37,80 | 1520 | 40,21 | 38,39 | 7,39 | 19,26 |
| | 3,87 | 9,38 | 36,28 | 960 | 26,46 | | | |
| | 4,15 | 9,48 | 39,36 | 1580 | 40,15 | | | |
| | 4,13 | 9,37 | 38,72 | 1810 | 46,75 | | | |
| ∅ | 4,04 | 9,42 | 38,04 | | | | | |
| 2 | 3,97 | 9,48 | 37,62 | 1510 | 40,14 | 37,78 | 6,26 | 16,58 |
| | 4,15 | 9,40 | 39,01 | 1660 | 42,55 | | | |
| | 4,55 | 9,45 | 43,00 | 1780 | 41,40 | | | |
| | 4,40 | 9,42 | 41,43 | 1120 | 27,03 | | | |
| ∅ | 4,27 | 9,44 | 40,26 | | | | | |
| 4 | 4,13 | 9,43 | 38,99 | 1040 | 26,67 | 34,37 | 6,36 | 18,51 |
| | 4,30 | 9,50 | 40,85 | 1230 | 30,11 | | | |
| | 4,33 | 9,47 | 41,02 | 1760 | 42,90 | | | |
| | 4,42 | 9,47 | 41,81 | 1580 | 37,79 | | | |
| ∅ | 4,30 | 9,47 | 40,67 | | | | | |
| 6 | 3,97 | 9,40 | 37,29 | 1370 | 36,74 | 35,91 | 1,49 | 4,16 |
| | 3,87 | 9,47 | 36,60 | 1220 | 33,33 | | | |
| | 4,15 | 9,40 | 39,01 | 1430 | 36,66 | | | |
| | 4,00 | 9,48 | 37,93 | 1400 | 36,91 | | | |
| ∅ | 4,00 | 9,44 | 37,71 | | | | | |
| 8 | 4,37 | 9,40 | 41,05 | 1500 | 36,54 | 37,06 | 5,13 | 13,84 |
| | 4,57 | 9,43 | 43,08 | 1310 | 30,41 | | | |
| | 4,80 | 9,43 | 45,28 | 2030 | 44,83 | | | |
| | 3,85 | 9,40 | 36,19 | 1320 | 36,47 | | | |
| ∅ | 4,40 | 9,42 | 41,40 | | | | | |

Příloha 10 Naměřené hodnoty smykové pevnosti v tahu pro odlitky lepidla epoxidové pryskyřice v hnojivu

| cyklus | a | b | plocha (mm ²) | F (N) | pevnost τ [MPa] | \bar{x} [MPa] | So [MPa] | v [%] |
|----------|-------------|-------------|---------------------------|-------|----------------------|-----------------|-------------|--------------|
| 0 | 4,02 | 9,45 | 37,96 | 1280 | 33,72 | 39,23 | 3,66 | 9,32 |
| | 4,38 | 9,45 | 41,42 | 1840 | 44,42 | | | |
| | 4,52 | 9,42 | 42,53 | 1600 | 37,62 | | | |
| | 4,45 | 9,42 | 41,90 | 1820 | 43,43 | | | |
| | 4,17 | 9,38 | 39,10 | 1490 | 38,11 | | | |
| | 3,98 | 9,43 | 37,58 | 1430 | 38,06 | | | |
| ∅ | 4,25 | 9,43 | 40,08 | | | | | |
| 1 | 4,15 | 9,47 | 39,29 | 1010 | 25,71 | 37,30 | 7,98 | 21,4 |
| | 4,35 | 9,32 | 40,53 | 1840 | 45,40 | | | |
| | 4,23 | 9,45 | 40,01 | 1760 | 43,99 | | | |
| | 4,37 | 9,40 | 41,05 | 1400 | 34,11 | | | |
| ∅ | 4,28 | 9,41 | 40,22 | | | | | |
| 2 | 4,00 | 9,43 | 37,73 | 1330 | 35,25 | 37,68 | 5,23 | 13,88 |
| | 4,07 | 9,40 | 38,23 | 1180 | 30,87 | | | |
| | 4,50 | 9,48 | 42,68 | 1920 | 44,99 | | | |
| | 4,05 | 9,42 | 38,14 | 1510 | 39,59 | | | |
| ∅ | 4,15 | 9,43 | 39,19 | | | | | |
| 4 | 4,10 | 9,45 | 38,75 | 1580 | 40,78 | 37,48 | 2,76 | 7,37 |
| | 4,23 | 9,50 | 40,22 | 1370 | 34,07 | | | |
| | 4,25 | 9,47 | 40,23 | 1430 | 35,54 | | | |
| | 4,33 | 9,40 | 40,73 | 1610 | 39,53 | | | |
| ∅ | 4,23 | 9,45 | 39,98 | | | | | |
| 6 | 4,40 | 9,48 | 41,73 | 1690 | 40,50 | 35,87 | 2,81 | 7,85 |
| | 3,92 | 9,47 | 37,08 | 1310 | 35,33 | | | |
| | 4,23 | 9,40 | 39,79 | 1380 | 34,68 | | | |
| | 4,15 | 9,43 | 39,15 | 1290 | 32,95 | | | |
| ∅ | 4,18 | 9,45 | 39,44 | | | | | |
| 8 | 4,03 | 9,43 | 38,05 | 1400 | 36,80 | 34,07 | 1,6 | 4,71 |
| | 4,37 | 9,40 | 41,05 | 1360 | 33,13 | | | |
| | 4,60 | 9,43 | 43,39 | 1420 | 32,72 | | | |
| | 4,05 | 9,47 | 38,34 | 1290 | 33,65 | | | |
| ∅ | 4,26 | 9,43 | 40,21 | | | | | |