

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Výzkum interakce rozhraní adherend / lepidlo

diplomová práce

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

Diplomant: Jan Huml

PRAHA 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Huml Jan

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Výzkum interakce rozhraní adherent / lepidlo

Anglický název

Research of interface adherend / adhesive interaction

Cíle práce

Zpracování literární rešerše současného stavu problematiky technologie lepení s důrazem na interakci rozhraní adherent / lepidlo. Experimentální navázání na řešenou problematiku ve světě v oblasti výzkumu lepených spojů s důrazem na interakci rozhraní adherent / lepidlo.

Metodika

Současný stav řešeného problému, cíle práce a metody jejího zpracování, výsledky experimentů a jejich diskuse, závěry a přínos práce.

Osnova práce

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Technologické aspekty tvorby lepeného spoje
4. Výzkum interakce rozhraní adherent / lepidlo
5. Závěr
6. Seznam použité literatury
7. Příloha

Rozsah textové části

60

Klíčová slova

Adherend, degradace, lepidlo, technologie lepení

Doporučené zdroje informací

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

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

LOCTITE: Der Loctite. Worldwide Design Handbook. München: Loctite European Group, 1998. 452 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.

PIZZI, A., MITTAL, K. L.: Handbook of adhesive technology. New York: Dekker, 2003. 1024 s.

Časopisy: International Journal of Adhesion & Adhesives, Composite structures, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Surface and Coating Technology, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojirenská technologie, The journal of adhesion, Journal material science, The Journal of Physical Chemistry, International Journal of Fatigue, Journal of materials processing technology.

Vedoucí práce

Müller Miroslav, doc. Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012



Vedoucí katedry



Děkan fakulty

V Praze dne 31.1.2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Výzkum interakce rozhraní adherend / lepidlo“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Kladně, dne 23. března 2013



.....
podpis bakaláře

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph. D. za poskytnuté informace, odborné vedení a konzultace při zpracování diplomové práce. Nemalý dík patří též členům Katedry materiálu a strojírenské technologie, Technické fakulty České zemědělské univerzity, jež mi v případě potřeby podali pomocnou ruku.

Velké poděkování patří mé rodině a blízkým přátelům, bez jejichž motivace a psychické podpory by tato práce vznikla jen velmi obtížně.

Abstrakt: Diplomová práce si klade za cíl provedení a vyhodnocení experimentu, podloženého znalostmi z literární rešerše. Zdokumentuje obecné informace z oblasti technologie lepení, stejně jako současný stav této technologie s důrazem na interakci rozhraní adherend / lepidlo. Výsledky, komentáře autorů o vzájemné interakci budou získávány z českých i cizojazyčných zdrojů, maximálně tři roky starých.

Navazující experiment dokáže a výpočty statisticky vyhodnotí, vzájemné vztahy mezi povrchem materiálu, jeho úpravou a výslednou pevností lepeného spoje. Dojde k výsledkům, zda spoj dosáhne různými povrchovými úpravami rozličných pevností. K zasazení problematiky do širšího kontextu bude vypracováno dotazníkové šetření. V neposlední řadě bude technologie lepení zhodnocena z ekonomického hlediska.

Klíčová slova: adheze – koheze, povrchová úprava, lepení, pevnost spoje, nečistota

Research of interface adherend / adhesive interaction

Summary: This thesis aims to perform and evaluate an experiment, based on knowledge of literary research. It will also focus on general information in the field of adhesive technology as well as the present state of the technology, with emphasis on the interaction interface of adherend / adhesive. The results, the author's comments about interaction will be obtained from both Czech and foreign speaking sources, no more than three years old.

The experiment (which follows-up) is going to prove and statistically evaluate the relationship between the surface of the material, its treatment and the resulted strength of bond. It will be determined whether different surface finishes reach various strength of joint. Questionnaire will be created to place the topic in the broader context. Last but not least the bonding technology will be economically evaluated.

Key words: adhesion – cohesion, surface working, bonding, bond strength, impurity

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce a metodika.....	3
3	Technologické aspekty tvorby lepeného spoje	4
3.1	Historie	4
3.2	Vymezení základních pojmů.....	5
3.2.1	Adheze, českým ekvivalentem přilnavost	6
3.2.2	Teorie adheze	7
3.2.3	Test smáčivosti	8
3.2.4	Adhezní síly.....	9
3.2.5	Koheze, českým ekvivalentem soudržnost.....	9
3.3	Výhody a nevýhody lepení	10
3.4	Úprava vzorků před lepením	11
3.5	Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje	13
3.5.1	Nános lepidla	14
3.5.2	Vliv velikosti lepené plochy	16
3.5.3	Vliv drsnosti povrchu.....	17
3.5.4	Vliv doby vytvrzování	18
3.5.5	Vliv přeplátování spoje	19
3.5.6	Vliv teploty a času	23
3.5.7	Vliv prostředí	26
3.5.8	Vliv druhu zatížení	28
3.5.9	Vady ve vrstvě lepidla.....	30
4	Výzkum interakce rozhraní adherend / lepidlo	32
4.1	Vymezení vzorků, lepidel	34
4.2	Příprava vzorků.....	36
4.3	Úprava vzorků před lepením	37
4.4	Lepení zkušebních vzorků.....	38
4.5	Destruktivní zkoušky na trhacím stroji ZDM 5	40
4.6	Teoretické základy.....	42
4.7	Vyhodnocení experimentu	46
4.7.1	Ověření hmotnosti nečistot na lepeném povrchu	46
4.7.2	Vliv úpravy povrchu materiálu na pevnost spoje vzniklého lepením.....	47
4.7.3	Určení drsnosti povrchu	53
4.8	Dotazníkové šetření.....	54

4.9 Ekonomické zhodnocení	58
5 Závěr	61
6 Seznam použité literatury	63
Seznam použitých obrázků, tabulek, grafů a vzorců	67
Seznam obrázků	67
Seznam tabulek	68
Seznam grafů.....	68
Seznam vzorců.....	68
7 Přílohy	69
Příloha 1: Zjištění optimální tloušťky lepeného spoje pro lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a Polyester MTB	I
Příloha 2: Výsledky destruktivní zkoušky	III
Příloha 3: Obrazová analýza lepeného spoje	VII
Příloha 4: Hodnoty hmotností dosažené před a po chemické úpravě Acetonem P6401 pro materiály S235J0 a AlCu4Mg	IX
Příloha 5: Dotazníkové šetření (Vzor dotazníku, výsledky dotazovaných).....	X

1 Úvod

Při zadání hesla „lepení“ do nejpoužívanějšího internetového vyhledávače bylo nalezeno více než dva milióny relevantních odkazů. Možné jiné technologie spojování materiálů jsou na tom podstatně lépe, např. při hledání slova „nýtování“ je možné zobrazit až šest miliónů stránek. Prostou logikou by tak bylo možné konstatovat, že je lepení nejméně vyhledávanou technologií jak na internetu, tak v praxi. Již dlouho se tato technologie potýká se stavem, kdy je chápána spíše jako doplňková pro ostatní, využívané hlavně v průmyslu. Lze se též setkat s názory o krátké historii a sporné využitelnosti.

Spíše než ze zlé vůle lze dovozovat neznalost, při hodnocení výše napsaného. Technologii lepení by si dnes snad již nikdo, kdo se jí zabývá, nedovolil nazvat doplňkovou. Její historie, ač v počátcích spíše náhodná, sahá hluboko do minulosti až k době kamenné. Za dobu své existence si tato technologie vybudovala pevné postavení jak v zemědělství, stavebnictví, letectví a dalších oblastech, tak si našla cestu i do domácností. Pro některé lidi není představitelné spojovat, renovovat či jiným způsobem zpracovávat materiály jinak, než lepením. Spoje vytvořené lepením mohou dosáhnout takových vlastností, jež jiné technologie nedokáží ze své podstaty opakovat. Aplikací lepidel není narušen estetický vzhled lepeného spoje, spoj může být barevně upraven, dokáže působit jako izolant. Lze připravit taková lepidla, která jsou lidskému zdraví zcela neškodná. Do výčtu oblastí, kde se lze s touto technologií setkat, lze tedy dále zařadit umění a zdravotnictví (technologie lepení je využitelná od oprav památkově chráněných budov až po chirurgické ošetření ran).

Nelze však říci, že by lepení bylo všespásné. Samotná příprava i aplikace je v tomto duchu velice důležitá. Ve značné míře lze za nekvalitním spojem dovést lidskou chybu. Spojování materiálů za pomoci lepidel je zpravidla rychlé, technologicky nenáročné a levné. Při správném postupu a dodržení pravidel výrobce lze limitující faktory minimalizovat.

Jedním ze základních stavebních kamenů kvalitního lepeného spoje je úprava lepeného materiálu. Lze ho ponechat beze změny, lze na něj působit mechanicky, chemicky, případně oběma možnostmi.

Po shromáždění zdrojů, uvedení historie, vymezení kladných a limitujících vlastností, zamyšlení se nad již realizovanými experimenty v oblasti interakce rozhraní materiálu / lepidla v České republice i ve světě a určení hlavních faktorů ovlivňujících

pevnost vzniklého spoje bude možné přistoupit k samotnému experimentu ze zadání této práce. Jakých pevností spoj dosáhne při provedení povrchových úprav té či oné povahy, jak dopadne ve srovnání se spojem, na jehož materiál žádná úprava nepůsobila? Věřím, že v závěru práce bude nejen na tuto otázku uvedena odpověď.

2 Cíl práce a metodika

Cílem práce je provedení a vyhodnocení experimentu, podloženého znalostmi uvedenými v části literární rešerše. Ta se bude opírat o obecné informace z oblasti lepení stejně, jako o současný stav technologie lepení s důrazem na interakci rozhraní adherend / lepidlo. Literární rešerše bude přehledně strukturovaná, ucelená a zaměřená na taková témata, jež mají přímý vztah k zadání práce.

Existuje předpoklad, že čím je kvalitativně vyšší úprava povrchu, tím je vyšší přilnavost lepidla, tedy v důsledku pevnost samotného lepeného spoje. Tento fakt vychází z poměrně jednoduché logiky, která ovšem nezohledňuje ekonomické, bezpečnostní, technologické a další aspekty. Berme tento předpoklad jako výchozí bod. Experimentálně budou dokázány a statisticky vyhodnoceny vzájemné vztahy mezi povrchem materiálu, jeho úpravou a výslednou pevností lepeného spoje a bude potvrzen či vyvrácen daný předpoklad. Na základě normou stanovené technologie práce budou využity dva materiály, dvě lepidla a šest kombinací úprav povrchu materiálu povahy mechanické a chemické. To vše, aby byly vytvořeny lepené spoje rozličných vlastností. Následně budou podrobeny trhacímu stroji a výsledné hodnoty za pomoci statistických funkcí prezentovány v závěru práce. Existuje totiž předpoklad o obdobných výsledcích při použití stejných metod úpravy povrchu na různých typech materiálů za současného využití různých lepidel. Detailní popis experimentu, zapojení materiálů, lepidel, přístrojů a norem a následné zpracování výsledků bude popsáno v bodě 4. Výzkum interakce rozhraní adherend / lepidlo, shrnutí výsledků poté v části 5. Závěr.

Data a slovní popis doplní pro přehlednost tabulky, grafy, vzorce a obrázky.

Zajímavým prvkem experimentální části bude též drsnost povrchu, která bude u každé z úprav jiná. Dá se předpokládat přímá úměra mezi velikostí drsnosti a odolností lepeného spoje vůči působícím silám. Pro vybrané úpravy materiálu bude uvedena daná drsnost, dojde též ke vzájemnému srovnání s drsnostmi ostatních úprav povrchu materiálu, vyhodnocení dosahu drsnosti na samotnou pevnost lepeného spoje.

Možnosti použití lepidel jsou v dnešní době limitovány kupříkladu ekonomickým hlediskem. V bodě 4. práce dostane prostor ekonomické zhodnocení této technologie, které bude následně srovnáno s ekonomickým zhodnocením nejběžněji využívanými technologiemi spojování materiálů. Neméně zajímavé výsledky lze očekávat z dotazníkového šetření, jež bude realizováno mezi laickou veřejností.

3 Technologické aspekty tvorby lepeného spoje

Pokud srovnáme lepení s klasickými metodami spojování, kterými jsou např. svařování, šroubování, nýtování, sešívání, pak lze poznamenat, že právě lepení poskytuje nové možnosti a dovoluje získat spoje takových konstrukčních vlastností, jež nejsou dosažitelné jinými technologiemi spojování materiálů.

Nelze předpokládat, že každé lepidlo splní představy konstruktérů beze zbytku, i když některá lepidla lze využít k lepení mnoha materiálů (např. epoxidová a chloroprenová). I tak platí, že řetěz je tak silný, jak silný je jeho nejslabší článek, proto je nutné dbát na stanovená pravidla a doporučení. Příčinou selhání spojů ve většině případů totiž není nízká pevnost lepidla, ale lidská chyba zastoupená nedostatečnou přípravou lepených povrchů, nevhodně zvoleným lepidlem nebo nevhodnou konstrukcí lepeného spoje.

3.1 Historie

Technologie lepení je považována za moderní způsob spojování materiálů v důsledku velkého rozmachu posledních desítek let. Navzdory tomu se jedná o velice starou technologii, jejíž počátky sahají až do doby kamenné. Již v té lze nalézt příklady lepení např. připevněné hroty šípů a harpun nebo při výrobě věder. V těchto počátcích bylo lepení objeveno pravděpodobně náhodně díky materiálům, jež mají lepivé účinky (vlasy spleené zasychající krví nebo hmyz, který byl přilepen ke stromu smolou).

Ukotvit první archeologické nálezy lze z doby Babylónu. Byly nalezeny sošky, jejichž oči byly vlepeny do hlavy. Pevnost lepidel byla taková, že spoje vydržely šest tisíc let. Obyvatelé Babylónu našli i další funkci lepidel, když je využili při opravě svých lodí jako těsnění. Ve starém Egyptě se k čistě praktickým možnostem lepení přidalo využití umělecké – docházelo ke zdobení dřevěných rakví lepidly vyrobenými ze směsi křídy a klihu.

Období středověku znamenalo rozšíření zdrojů využívaných k lepení. To umožnila např. látka albumin získaná ze zvířecí krve, dextrin z papyrusu a dále vařením kostí, kůží a zbytku ryb se vyráběl glutin.

Sedmnácté století posunulo lepení vpřed, když Holandsko založilo své první plantáže na zpracování klihu. Jak se potřeby lidí stávaly propracovanějšími, bylo nutné též vyrábět specializovanější a dokonalejší lepidla. Roku 1814 je v Americe udělen první patent na

výrobu lepidel, o devět let později Velká Británie patentuje lepení kaučukovým lepidlem. Důležitým mezníkem ve vývoji byl objev nitrace celulosy (v letech 1845 až 1846) a následné otevření továren na její zpracování. Téměř až do období druhé světové války se lepidla díky svým schopnostem využívala na lepení materiálů, jež svou podstatou mohla lepidlo vsáknout (textil, papír, kůže, dřevo). Po tomto období dochází k objevům polymerů, např. epoxidu, polychloroprenu, butylkaučuku a také byla objevena fenolformaldehydová pryskyřice modifikovaná polyvinylformalem. Ta pod technickým názvem Redux umožnila společnosti de Havilland ve Velké Británii roku 1943 revoluci ve vnímání technologie lepení. Došlo ke zkonstruování letounu DH-103 Hornet. Jedná se o stroj smíšené konstrukce dřeva a kovu, kde se podařilo snížit množství dřeva na křídlech lepením duralu na překližky. Následoval rozmach výroby syntetických lepidel a posunutí vývoje k jejich racionálnímu využití [8, 10, 54].

Technologie lepení lze v současné chvíli nalézt např. v zemědělství, stavebnictví, letectví i zdravotnictví. Již dávno nelze hovořit o lepení jako o podpůrné technologii, v současné době si nelze některé i složitější aplikace bez něj představit. Od lepidel tzv. universálních, použitelných pro spojování různých materiálů, se přechází k přesně specializovaným lepidlům, která jsou tvořena spotřebitelům tzv. „na míru“.

3.2 Vymezení základních pojmů

Na začátku je vhodné definovat základní pojmy a podívat se na problematiku po teoretické stránce. V této části budou zmíněny pojmy adheze, koheze, budou definovány adhezní teorie a u smáčivosti povrchu bude vysvětlena její důležitost, možnost snadného ověření v praxi.

Lepení je technologický postup spojování částí (adherendů) prostřednictvím lepidel (adheziv) v nerozebíratelný spoj, při kterém se využívají adhezivní síly mezi lepidlem, adherendem a vlastní koheze lepidla. Způsoby lepení jsou závislé na druhu použitého lepidla, konstrukčním řešení lepeného spoje, tvaru a velikosti součástí a celkovém technologickém postupu zhotovení lepeného spoje [22].

3.2.1 Adheze, českým ekvivalentem přilnavost

Pojem adheze lze nalézt snad ve všech publikacích zabývajících se lepením. Snad proto má její definice mnoho podob. Jednu z výstižných uvedl Pokorný - určuje ji jako souhrn chemických a fyzikálních sil, kterými se navzájem poutají částice povrchu přiblížených materiálů (lepeného materiálu a lepidla) [1]. Obsáhleji, spolu se základními podmínkami, ji hodnotí společnost Loctite. Přilnavost je síla lepeného spoje na kontaktních površích dvou materiálů. Fyzikální síly přitažlivosti a adsorpce, které jsou dohromady popisovány jako síly Van der Waalsovy, jsou pro lepení nejdůležitější. Vliv těchto mezimolekulárních sil je značně nižší, jestliže se lepidlo nedostane do těsného styku s povrchem lepeného materiálu např. vlivem relativní drsnosti jeho povrchu, způsobené mechanickým opracováním. Proto lepidlo musí pronikat přímo do povrchových nerovností a dokonale smočit celý povrch. Pevnost lepeného spoje tak závisí jak na smáčení povrchu (pro dosažení co nejúplnějšího celomolekulárního kontaktu), tak na přilnavosti. Při daném povrchovém napětí lepidla smáčení závisí na povrchové energii lepeného materiálu a na viskozitě lepidla. Smáčení může být rovněž sníženo, jsou-li na povrchu znečištěná místa [2].

Alfou omegou lepení je dodržování základních pravidel, jejichž splnění vede k uspokojivým výsledkům a naopak. Jedním z důležitých je sledování velikostí povrchového napětí lepidla a lepeného materiálu. Povrchové napětí lepidla musí být menší, než je povrchové napětí u lepeného materiálu. K problematickému uplatnění dochází u lepení plastů, kde se povrchové napětí adherendu přibližuje hodnotám adheziva. Tento stav se dá zvrátit použitím aktivátorů¹. V tab. 1 jsou uvedeny základní adherendy, lepidla obecně a voda s jejich povrchovými napětími.

Tab. 1 Přehled velikostí povrchových napětí u vody, základních adherendů a lepidel

Kapalina	Povrchové napětí [mN.m ⁻¹]	Adherend	Povrchové napětí [mN.m ⁻¹]	Lepidla	Povrchové napětí [mN.m ⁻¹]
Voda	72,8	Železo Hliník Nikl Titan Měď Sklo PVC PTFE ABS	2030 1200 2450 2050 1850 290 40 18 35 - 42	Různá lepidla podle povahy	25 - 47

Zdroj: [3]

¹ Aktivátor je přípravek, který se používá k úpravě povrchu před lepením obtížně lepitelných plastů. Jeho použitím dochází ke zlepšení adheze.

3.2.2. Teorie adheze

Jak je již uvedeno výše, za základní předpoklad úspěšného lepení lze považovat adhezi. K vysvětlení vzniku adhezních sil bylo vypracováno pět teorií: teorie molekulová, teorie elektrostatická, teorie difuzní, teorie chemická a teorie rheologická.

Teorie molekulová (absorpční)

Tato teorie vychází z jevu smáčení, adsorpce a adheze. Základem adheze je vzájemné působení mezi adhezivem a adherendem. Předpokladem je, aby oba druhy molekul měly funkční polární skupiny², schopné vzájemného působení [4]. Průběh vzniku adhezivního spojení lze rozdělit na dvě hlavní stádia. Do prvního stádia spadá transport molekul adheziva k adherendu. Do druhého stádia spadá vzájemné působení mezimolekulárních sil (Van der Waalsova vazba) při vzdálenosti menší než 0,5 nm [5].

Teorie elektrostatická

Tato teorie předpokládá dvojí vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozličných substancí ve spoji jako základ pro vznik adheze. Spoj je kondenzátorem, u kterého se rozdílně nabitě části přitahují. Jakmile je rozdělíme, vzniklý potenciální rozdíl se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise [6].

Teorie difuzní

Difuzní teorie objasňuje adhezi polymerů difuzí makromolekul nebo jejich částí. Difuze probíhá mezi lepidlem a adherendem a výsledkem je vznik pevného spoje. Průběh difuze je závislý především na čase, teplotě, viskozitě, kompatibilitě adherendu lepidla a relativní molekulové hmotnosti polymerů. Tato teorie však nevysvětluje možnost spojení materiálů, které vzájemně nedifundují³, ale dobře se lepí [6].

Teorie chemická

Podle této teorie je potřebné, aby materiály, které se mají navzájem spojit, reagovaly prostřednictvím kovalentních, iontových nebo vodíkových vazeb. Ty se tvoří napříč rozhraním. Silné kovalentní vazby C-O jsou tvořeny, když se isokyanátová lepidla používají na substrátech z hydroxylové skupiny, jako je dřevo a kůže. Kovalentní vazba Si-O je tvořena,

² Polární skupina je funkční skupina molekuly, u níž uspořádání elektronů vytváří elektrický dipólový moment.

³ Materiály se nedifundují, pokud se částice látek nemohou pohybovat, a tak se rozptýlí do celého prostoru.

když jsou spojovací látky na bázi silanu používané na sklo. Vodíkové vazby zahrnující fluor, jsou silnější než jiné typy z důvodu elektronegativity fluoru [5].

Teorie rheologická

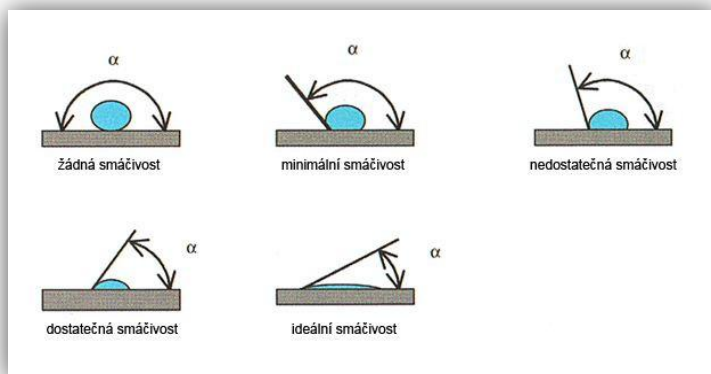
Rheologická teorie pracuje s předpokladem, že pevnost lepeného spoje je dána fyzikálně - mechanickými a rheologickými vlastnostmi materiálů (tečení, mísitelnost, životnost, způsob aplikace, chování při lisování apod.), které vytvářejí lepený systém. Experimentálně bylo zjištěno, že roztržení pravého lepeného spoje neprobíhá nikdy na jeho rozhraní, ale v jednom nebo druhém materiálu, lom je kohezní. Tato teorie nezdůvodňuje příčinu vzniku lepeného spoje, ale umožňuje výpočty jeho pevnosti. Neuvažuje síly ovlivňující pevnost spoje, ale zabývá se jevy, které utvářejí vrstvu vazeb a její chování [7].

3.2.3 Test smáčivosti

Má-li lepidlo smáčet pevný povrch látky, musí být jeho povrchová energie menší, než je kritická povrchová energie lepené látky. Nejvyšší povrchovou energii z kapalin má voda. Jestliže bude voda smáčet povrch materiálu, pak lze usoudit, že materiál bude smáčen i jinými kapalinami (lepidly) [8]. Test smáčivosti pevného povrchu vychází z teorie adsorpce. Smáčivost povrchu tekutým lepidlem závisí na kontaktním úhlu a na povrchovém napětí obou látek. Poměr povrchové energie lepidla a smáčené látky je v přímé souvislosti s okrajovým úhlem. U lepených látek ovlivňuje povrchová energie roztečení kapaliny po povrchu, čímž dochází ke smáčení lepeného povrchu [6].

Ke zjištění smáčivosti materiálu lze využít několik metod, z nichž nejpoužívanější je tzv. kapková metoda, prezentována na obr. 1

Obr. 1 Kapková metoda – metoda ke zjištění smáčivosti povrchů



Zdroj: [9]

Technologicky se samotná metoda provede nanesením kapky vody o předem známém průměru na zkušební povrch a za pomoci optických přístrojů (případně z fotografie) se odečte úhel α , který svírá tečna povrchu kapky s lepeným materiálem. Platí, že čím je úhlem α menší, tím lepší je smáčivost materiálu.

Na smáčivost lepeného povrchu mají též vliv nerovnost, rychlost smáčení lepeného povrchu a viskozita lepidla. Do jaké míry pokryje lepidlo mikropovrch lepeného materiálu je tedy záležitostí konzistence lepidla, čistoty a drsnosti povrchu, ale také tvaru povrchových nerovností. Tvar a velikost povrchových nerovností je dán přirozenou strukturou materiálu, způsobem jeho výroby a také způsobem dodatečné povrchové úpravy [10].

3.2.4 Adhezní síly

Existenci adhezních sil vysvětlují dva teoretické modely vazby mezi adherendem a lepidlem:

- mechanická vazba,
- chemická vazba.

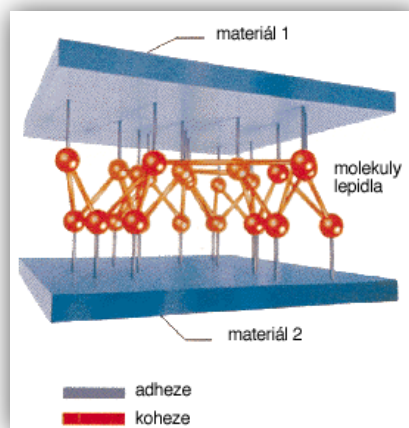
Uplatnění mechanické vazby je jen u členitých nebo porézních povrchů. Kapalné lepidlo zatéká při lepení do pórů a prohlubní a po jeho ztuhnutí se vytvoří pevný zámek mezi hmotou lepidla a lepeného materiálu. Mechanická vazba je velmi důležitá při lepení materiálů jako jsou dřevo, papír, keramika nebo pěnové plasty. Při lepení leštěných hladkých ploch je mechanická vazba zanedbatelná [11].

3.2.5 Koheze, českým ekvivalentem soudržnost

Koheze je někdy označována jako vnitřní adheze. Jedná se o síly vznikající ve filmu lepidla, které způsobují jeho soudržnost. Tyto síly se skládají z mezimolekulárních přitažlivých sil, označovaných jako Van der Waalsovy, a také ze vzájemného propojení molekul mezi sebou. Existují dva základní typy Van der Waalsových sil - reakce mezi molekulami s trvalými dipóly a mezi nepolárními molekulami. Nejsilnější z nich jsou ty mezi trvalými dipóly, známy jsou jako síly Keesomovy. Základem je přítomnost permanentních elektrických dipólů v makromolekulách, kde záporný konec jedné molekuly směřuje ke kladnému konci druhé molekuly. Mezi nepolárními subjekty dochází k nejslabším Van der

Waalsovým silám, někdy označovanými také jako Londonovy disperzní síly⁴ [5]. I ve spojitosti s lepením platí, že řetěz je tak silný jak silná je jeho nejslabší část. Proto i při značné kohezi, vlivem použití kvalitního lepidla, nemusí spoj dosáhnout požadovaných pevností vlivem malé adheze. V největší míře se jedná o důsledek špatně opracovaného povrchu. Znázornění sil ahezních a kohezních je patrné na obr. 2.

Obr. 2 Znázornění adhezních a kohezních sil



Zdroj: [2]

3.3 Výhody a nevýhody lepení

Obdobně jako jiné technologie spojování materiálů, tak i lepení se vyznačuje značnými výhodami oproti jiným metodám. Samozřejmě je nutné též počítat s limitujícími faktory. Uvažujeme-li o možnosti spojování, pak nelze na lepení pohlížet jako na doplněk klasických metod spojování materiálů (např. šroubování, pájení, svařování, nýtování), nýbrž jako na plně využitelnou technologii, jež nyní prožívá svou renesanci.

Výhody lze shrnout následujícími body:

- lepení umožňuje spojování stejných (např. ocel - ocel, dural - dural, pryž - pryž, sklo - sklo aj.) nebo různých (např. ocel - dural, ocel - pryž, ocel - sklo, dural - pryž, pryž - sklo aj.) materiálů bez ohledu na jejich tloušťku,
- aplikací lepidel není narušena celistvost, profil ani estetický vzhled lepeného souboru,
- lepení umožňuje připravit spoje vodotěsné, plynotěsné, spoje s dobrou elektrickou, tepelnou a zvukovou izolací, případně s dobrou elektrickou vodivostí,
- lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru,

⁴ Disperzní síly jsou charakteristické nesymetrickým rozložením elektronů a vznikem krátkodobého dipólu.

- aplikací lepení lze uspořít náklady na výrobu lícovaných spojů,
- lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů,
- lepením se prakticky nezvyšuje hmotnost lepeného souboru, což je jedním z předpokladů miniaturizace,
- lepené spoje mohou být průhledné, v případě požadavku i barevně přizpůsobené,
- lepením lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázu [15].

Pro úplnost uvedme výčet limitujících vlastností:

- lepení klade vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílů,
- u adherendů se špatnými adhezními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchu (např. použití aktivátorů),
- u některých lepidel je třeba použít vytvrzovací přípravky, případně připravit směs několika složek (tzv. vícesložková lepidla),
- konstrukčně použitelné lepené spoje jsou nerozebíratelné,
- většina lepených spojů je citlivá na namáhání v odlupování,
- životnost některých typů lepidel je časově omezená,
- maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době (platí i pro tzv. „vteřinová“ lepidla),
- lepené spoje mají omezenou odolnost proti vyšším teplotám,
- lepení v průmyslovém měřítku je náročnější na vybavení pracoviště (jsou potřeba nanášecí zařízení, lisy, přípravky apod.) [15].

Lepidlo jako sloučeninu známe v kapalném, polotuhém nebo tuhém skupenství. Kvalita, odolnost a pevnost vzniklých lepených spojů hrají v poslední době významnou roli a těší se velké důležitosti hlavně v průmyslu. Druhy materiálů, jež lze v současné době spojit touto technologií, jsou prakticky neomezené.

3.4 Úprava vzorků před lepením

Pro získání požadovaných vlastností vzniklého lepeného spoje je obvykle nutné povrch upravit. K tomu lze použít mechanické nebo chemické úpravy, případně kombinaci

obou. Nejběžnějšími úpravami jsou: tryskání povrchu abrazivem, broušení smirkem, odmaštění povrchu dle povahy vzorku.

Mechanická úprava má za cíl zvýšit adhezi. V praxi se vyjma výše uvedených realizují úpravy povrchu např. pilováním, kartáčováním nebo obráběním.

Autoři Müller, Kolář a Valášek se zabývali vlivem parametrů drsností dosažených při mechanické úpravě lepeného povrchu AlCu4Mg tryskáním na pevnost lepeného spoje. Zmínili se o účelu mechanických úprav povrchu - jedná se především o nutnosti očistit povrch od všech nečistot, vytvořit vyhovující adhezní podmínky, vytvořit podmínky pro zvýšení korozní odolnosti, zlepšit mechanické vlastnosti povrchu. Ze závěru jejich experimentu vyplynulo, že struktura povrchu je velmi důležitá, projevuje se na celkové mezi pevnosti spoje. S rostoucími hodnotami rozměru tryskaného materiálu rostou i parametry drsnosti. Dále bylo dokázáno, že pro výslednou mez pevnosti lepeného spoje je důležité stanovení druhu a velikosti eroziva [42].

Experimenty potvrdily nutnost konkrétního stanovení úpravy lepeného povrchu z důvodu, že každá mechanická úprava poskytuje jinou drsnost. Ta ve spojení s tloušťkou vrstvy lepidla výrazně podmiňuje pevnost a životnost spojů. Použitím nevhodně zvoleného abraziva, eroziva, případně v kombinaci s nevhodně zvolenou tloušťkou vrstvy lepidla, může způsobit výrazný pokles pevnosti lepeného spoje. Autoři Shahid, Hasmid uvádí jako nejúčinnější metodu přípravy povrchu tryskání povrchu abrazivem [43]. Tento způsob mechanické úpravy bude mimo jiné využit pro vzorky v experimentální části. Chandler a kolektiv popisují tryskání jako proces, ve kterém jsou kovová nebo nekovová zrna pneumaticky nebo mechanicky vržena proti povrchu adherendu. Zrna naruší povrch adherendu a tím vytvoří jeho zdrsnění. V průběhu procesu tryskání dochází též k narušení vlastního povrchu tryskaného materiálu, obvykle je velice křehký [44].

Jiným směrem se zabýval experiment autorů Prolonga a kolektivu, kteří zkoumali topografii kompozitů uhlíkových vláken/epoxy v závislosti na jejich povrchové úpravě. Analyzovali plochy adherendů, jež byly v kontaktu s plísní (P) a též plochy uzavřené ve vakuovém sáčku (V). Dále studovali tři povrchové úpravy: využití syntetické tkaniny, tryskání povrchu abrazivem a využití atmosférické plazmy. Bylo zjištěno, že aby bylo možné správně korigovat drsnost povrchu, pak je třeba brát v úvahu i ostatní povrchové parametry, než je jen průměrná drsnost. To dokládají povrchy P a V , jež měly podobné hodnoty pevnosti spoje a též smáčivosti navzdory různým průměrným drsnostem. Vysvětlení našli v hustotě špiček.

Povrch P má poměrně vysokou hustotu nízkých špiček, zatímco povrch V obsahuje malou hustotu s vysokými špičkami. Porovnání možností úprav povrchu vychází nejlépe pro plasmu. Autoři uvádí, že poskytuje nejvyšší pevnost spoje, protože způsobuje významné zvýšení polární složky povrchové energie. Tryskání lze považovat též za účinnou povrchovou úpravu vzhledem k tvorbě vysoké hustoty relativně vysokých špiček, což vytváří větší kontaktní plochu mezi lepidlem a adherendem. Využití syntetické tkaniny má dle experimentu jen nízký index pevnosti spoje vzhledem k tvorbě nízkých špiček [41].

Chemické, resp. elektrochemické úpravy povrchu, mají především význam v odstraňování nečistot z povrchu materiálů před úpravami následujícími. K těmto úpravám patří technologie odmašťování, moření, odrezování a leštění [45]. Pro účely experimentu bude využito odmaštění.

3.5 Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje

Pro dlouhodobou spolehlivost a trvanlivost lepeného spoje je nutné přizpůsobit celou konstrukci tak, aby: mechanické namáhání bylo rozděleno rovnoměrně a nesoustředilo se pouze v místě spoje; plocha spoje byla dostatečně velká a napětí bylo v celém lepeném spoji rovnoměrně rozložené; spoj byl zatěžován převážně namáháním v tahu a ve smyku a minimálně namáháním v odlupování, které je pro lepené spoje nejméně příznivé; lepené materiály měly stejné nebo alespoň podobné koeficienty teplotní roztažnosti [16].

Dodržením výše uvedených pravidel lze konstruovat lepené spoje s výjimečnými vlastnostmi. Ukázku lze nalézt na obr. 3.

Obr. 3 Zvedání a transport skladovací nádrže ethanolu s hmotností 26 000 kg za pomoci lepených spojů



Zdroj: [17]

Předchozí obrázek vychází z článku autorů Da Costa Mattos, Sampaio a Monteiro, kteří se zaměřili na modelování matematických rovnic využitelných svou jednoduchostí v praxi. Cílem své práce tak poskytli metodu pro snadné provádění statických analýz poruch lepených spojů. V některých případech je potřebné spojovat materiály bez využití klasických metod, jako např. svařování, z důvodu tvorby tepla. Obr. 3 ukazuje typický příklad zastoupení technologie lepení při dopravě válcové nádrže pro skladování ethanolu s hmotností 26 000 kg pomocí lepených spojů.

Bylo provedeno mnoho studií a experimentů, jež zkoumaly faktory zaměřené na pevnost lepených spojů. V jedné takové se Song a kolektiv zaměřili na vliv výrobních postupů na pevnost kompozitních lepených spojů. Vyrobili téměř čtyři sta vzorků různými výrobními postupy. Následně zkoumali souvislosti délky přesahu, tloušťky spoje a typu adherendu. Dospěli k názoru, že síla nutná k porušení spoje byla nižší u spojů s tlustší vrstvou lepidla a vyšší u vzorků s větším přesahem adherendů. Výsledky také ukázaly, že se síla značně mění v závislosti na tloušťce adherendu a též, že sekundárně lepené spoje dosahují vyšší pevnosti než ostatní [47].

3.5.1 Nános lepidla

Množství nanášeného lepidla se udává v $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ lepené plochy. Limity spodní a horní hranice dávkování jsou uváděny mezi 90 až $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Při zpracování lepivých tmelů může být spotřeba i vyšší, až $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ [16].

Müller vidí jako jeden z předpokladů vytvoření pevného spoje rovnoměrný, přiměřeně tlustý film lepidla [18]. Osten uvádí, že většina lepidel nabývá optimálních adhezních vlastností, neklesne-li tloušťka ztuhlého filmu lepidla ve spáře pod spodní limit 0,05 mm. Jako horní limit tloušťky filmu označuje hranici 0,25 mm. Mimo toto rozmezí se zpravidla pevnost spoje prudce snižuje [8].

Zmíněné hodnoty lze brát jako orientační, dle experimentu Brožka a Müllera se dosáhne nejvyšší pevnosti ve smyku pro epoxidové pryskyřice v rozmezí tloušťky vrstvy od 0,11 mm do 0,16 mm [21].

V obecné rovině lze poznamenat, že tenká vrstva je mnohem citlivější na dynamické namáhání. Oproti tomu vrstva tlustá bývá zpravidla odolnější vůči smykovému namáhání. Smykové zatížení se tak rozloží do větší plochy [20].

Štefan ve své práci uvádí tloušťku vrstvy pro epoxidové pryskyřice až do 0,7 mm (tab. 2).

Tab. 2 Tolerance tloušťky vrstvy pro vybrané typy konstrukčních lepidel

Druh lepidla	Vrstva [mm]
Epoxidy	0,1 - 0,7
Modifikované epoxidy	0,1 - 0,2
Fenolformaldehydová lepidla	0,05 - 0,25
Lepidla odolávající vysokým teplotám	0,52

Zdroj: [20]

Stanovení optimální tloušťky je možné buď na základě stanovení výrobcem daného lepidla nebo experimentálně. Za experimentální jmenujme např. test autora Müllera. Jednalo se o řadu zkoušek dle normy ČSN EN 1465. V daném případě bylo posuzováno šest epoxidových lepidel. Samotnému lepení předcházela úprava povrchu tryskáním umělým korundem a následně odmaštěním perchloretylenem. Poté bylo na zkušební vzorky nanášeno lepidlo. Dodržení požadované tloušťky lepidla bylo zajištěno distančními drátky, které byly vloženy mezi lepené plochy. Pro každé lepidlo byly vytvořeny série o čtyřech různých parametrech tloušťky lepené vrstvy. Takto vzniklé vzorky byly vytvářeny v laboratorním prostředí v podmínkách předepsaných výrobcem. Následovala samotná zkouška smyku tahem, provedená na univerzálním trhacím stroji ZDM 5. Po porušení vzorku byla odečtena maximální síla ze stupnice, změřena plocha přelepu a vypočtena pevnost lepeného spoje.

Z výsledku experimentu plyne, že pro každé z lepidel existuje optimální tloušťka vrstvy lepidla. Pro epoxidová adheziva v rozmezí od 0,1 – 0,7 mm, pro modifikované epoxidy 0,1 – 0,2 mm, pro formaldehydová lepidla 0,05 – 0,25 mm, pro kyanokryláty 0,1 – 0,25 mm. Při jejím dodržení jsou zaručeny optimální pevnosti spojů. Dále lze vysledovat u čtyř ze šesti lepidel stoupající tendenci pevnosti a to až do optimální hodnoty, poté dochází k poklesu těchto hodnot. U zbylých dvou lepidel byl průběh opačný [18].

Vzájemnou závislostí tloušťky lepidla na pevnost v tahu a pevnost ve smyku se též zabývali Naito, Onta a Kogo ve svých experimentech. Testy byly provedeny na tupých a jednoduše přeplátovaných spojích. Autoři došli k závěrům:

- pevnost v tahu tupých spojů klesá s rostoucí tloušťkou lepidla, pevnost ve smyku jednoduše přeplátovaných spojů je téměř konstantní bez ohledu na tloušťku lepidla,
- nebyly zpozorovány žádné mikropóry v lepidle ani u jednoho ze dvou typů spojů [24].

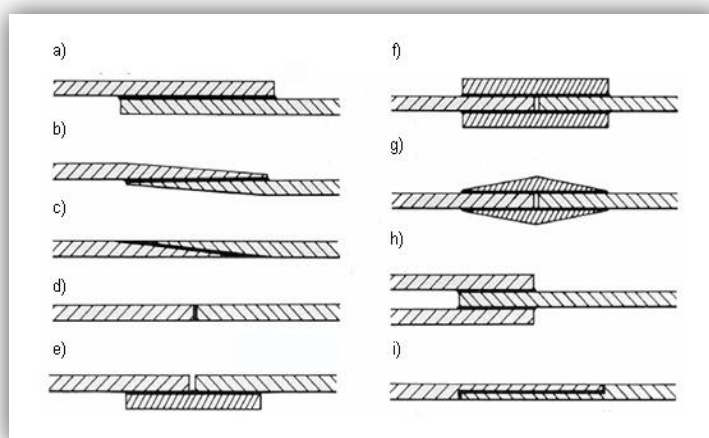
Vzhledem k tomu, že jsou lepené konstrukce široce využívány v různých strojírenských oborech, pak je pochopitelné, že správnému stanovení tloušťky lepidla byla a je věnována náležitá pozornost. Její závislost vztaženou k celkové síle lepených spojů experimentálně ověřovali též autoři Xu, Wei. Jejich výsledky potvrdily již výše zmíněné a to, jak je nezbytně nutné správné určení tohoto parametru. Zkoumali též změny tloušťek lepidel s výslednou celkovou změnou pevnosti daných spojů [51].

3.5.2 Vliv velikosti lepené plochy

Velikost lepené plochy při vzrůstající tendenci zvyšuje tahovou pevnost spoje. Lepené spoje ji při návrhu zvětšují například příložkou, přeplátováním, zkosením nebo zvětšením kombinovaným spojem. V případě zvětšení plochy S , při stejné síle F se napětí sníží. Nejméně vhodné spojení adherendů je na tupo. U tohoto spoje je styková plocha velmi malá, pro přenášení větších sil je nutné stykovou plochu zvětšit vhodným způsobem [22].

Realizovat zvětšení plochy S můžeme různými možnostmi vzniku lepeného spoje. Jak je patrné z obr. 4, je vhodné volit takovou konstrukci spoje, která maximalizuje stykové plochy. Např. a) jednoduše přeplátovaný spoj má mnohonásobně větší stykovou plochu než d) tupý čelní spoj.

Obr. 4 Možnosti lepených spojů



Zdroj: [23]

Legenda k obrázku: a) jednoduše přeplátovaný spoj, b) zúžený přeplátovaný spoj, c) zkosený spoj, d) tupý čelní spoj, e) přeplátovaný spojený pásem, f) dvojitě přeplátovaný spojený pásem, g) dvojitě přeplátovaný spoj zúženými pásy, h) dvojitě přeložený spoj, i) stupňovitě přeložený spoj.

Z výpočtů pevnosti v tahu vyplývá, že při tahovém namáhání se napětí snižuje s větší lepenou plochou.

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq \sigma_{DT} \quad (1)$$

kde je: σ ... pevnost v tahu [MPa]
 F ... zatěžující síla [N]
 S ... nosná lepená plocha [mm²]
 σ_{DT} ... dovolená pevnost v tahu [MPa]

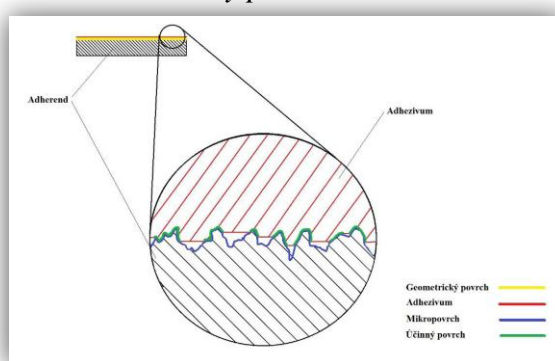
3.5.3 Vliv drsnosti povrchu

Pokusem byla dokázána pevnost v řádech desítek MPa u spojení molekulárně hladkých povrchů a to i bez použití lepidel. Určitým přiblížením nám mohou být například Johansonovy měrky, u kterých je pro oddělení potřeba vynaložit sílu i přesto, že nebylo použito lepidlo. Z uvedeného příkladu by se mohlo zdát, že lepený povrch nemá smysl zdršňovat. To však neodpovídá praktickým zkušenostem.

U lepené plochy rozeznáváme tři druhy povrchů (znázorněny jsou na obr. 5):

- geometrický povrch, určený pro vnější rozměry lepené plochy,
- mikropovrch, zahrnující plochu všech nerovností,
- účinný povrch, tj. část mikropovrchu, který je smáčen lepidlem [10].

Obr. 5 Druhy povrchu adherendu



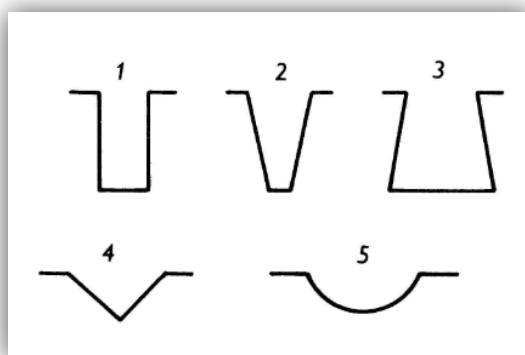
Zdroj: [10]

Úpravou drsnosti lepených ploch a následným získáním většího mikropovrchu často dosáhneme vyšší pevnosti lepeného spoje. Je však potřeba mít na paměti, že ne každé zdrsnění povrchu zvýší pevnost lepeného spoje. Rozhodující je totiž povrch účinný a ne mikropovrch. Jako nejvhodnější hloubka zdrsnění se obvykle uvádí rozmezí 1 až 6 μm .

Pro vznik pevného spoje mezi tuhými materiály jsou nejvhodnější plochy jemně opracované, nikoliv hlazené (leštěné). Přiměřené zdrsnění lepeného povrchu má příznivý vliv na pevnost spoje tím, že zvětšuje absolutní plochu možného styku s lepidlem. Nikdy však nesmí mít zdrsňování povrchu za následek snížení vlastností jeho vlastní soudržnosti, ať již rozvláknováním (u dřeva) nebo porušením celistvosti (u lehčích plastů a sklolaminátů) [8].

U drsnosti povrchu je důležité rozeznávat typy nerovností. De Bruine uvádí pět základních, graficky jsou znázorněny na obr. 6. Jedná se o nerovnosti: 1) válcovou, 2) kónickou otevřenou, 3) kónickou uzavřenou, 4) a 5) kónickou plochou.

Obr. 6 Základní typy nerovností lepených ploch



Zdroj: [10]

3.5.4 Vliv doby vytvrzování

Jedná se o parametr, kterým výrobce stanovuje dobu nutnou na zajištění pevnosti spoje. Jeho nedodržení může vést až ke snížené pevnosti, porušení spoje. Vytvrzování je přímo závislé na teplotě prostředí a též použitém lepidle. Delší doby vytvrzování indikují větší nároky adheziva na pevnost.

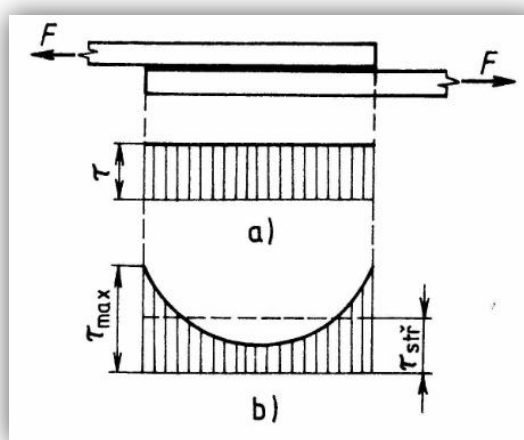
Zajímavá situace je u tzv. vteřinových lepidel, kde existuje obecný názor, že doba vytvrzování je v řádu vteřin. Brožek provedl experiment, kde se pokusil toto tvrzení podložit. Z něj vyplynulo, že i tzv. vteřinové lepidlo potřebuje k dosažení maximální pevnosti určitý čas. Výhodou tohoto druhu lepidel je dosažení manipulační pevnosti (není potřebné spoj zatěžovat) po poměrně krátké době. Jeho experiment potvrzují i samotní výrobci, kteří u těchto lepidel doporučují dodržet stanovenou dobu vytvrzování, nejčastěji 24 hodin [25].

Doby vytvrzování se dotkne též připravované dotazníkové šetření. Jedna z otázek bude zaměřena na názor, zkušenost dotazovaných k času potřebnému pro tvorbu pevného spoje.

3.5.5 Vliv přeplátování spoje

U přeplátovaných spojů neplatí, že by pevnost vzniklého spoje vzrůstala s délkou překrytí neustále, ale dochází zde k dosažení maxima, za kterým již nemá význam překrytí zvyšovat. Odůvodněním je nerovnoměrné rozložení napětí v lepidle, které je způsobeno pružností a deformací materiálu. Moment silové dvojice zvyšuje napětí na okraji lepeného spoje. Zde dochází k tahovému napětí, které zapříčiní odlupování okrajů spoje. Jsou zde měřitelná maxima tahového napětí. Rozložení napětí ve spoji je znázorněno na obr. 7 [22].

Obr. 7 Rozložení napětí ve spoji



Zdroj: [22]

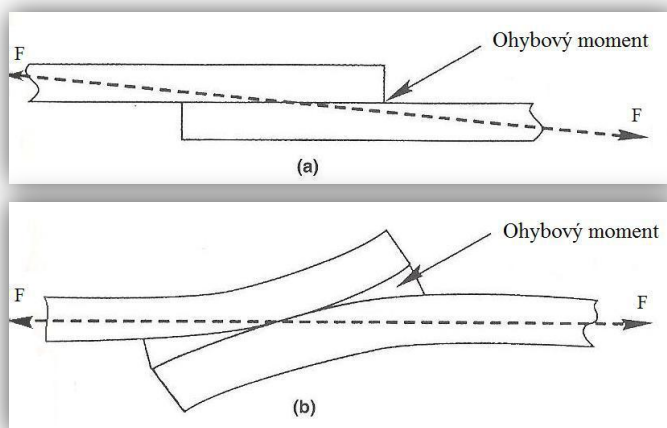
Legenda k obrázku: F - působící síla [N], τ - napětí ve smyku [MPa], τ_{max} - maximální napětí ve smyku [MPa], τ_{sir} - střední napětí ve smyku [MPa]. Část a) představuje tuhý adherend, kde je patrné stejné napětí ve smyku po celé délce spoje. Část b) znázorňuje elastický adherend.

Z obrázku 7 lze usoudit odlišnost napětí ve spoji - uprostřed je dosahováno nižších napětí než na konci. Tento stav může být příčinou odlupování. Omezení odlupování napomůže zvětšení tloušťky adherendu, zvětšení pevnosti spoje, případně vhodné konstrukční úpravy spoje.

Důležitým faktorem je též nesouosost sil, která v důsledku vytváří ohybový moment. Pokud by bylo nutné tento moment odstranit, pak by se muselo působení sil posunout od roviny přeplátovaného spoje, viditelné na následujícím obr. 8a. Síly se do jedné osy dostanou až deformací spoje, což je výsledek ohybového momentu působící síly F . Situace je znázorněna na obr. 8b [26].

Schéma deformace způsobené nesouosostí sil je patrné na obr. 8.

Obr. 8 Deformace způsobená nesouosostí sil



Zdroj: [27]

Pro zvýšení pevnosti spoje lze využít jednu z následujících možností: rozšíření spoje, volba vhodného přeplátovaného spoje, omezení excentrických sil.

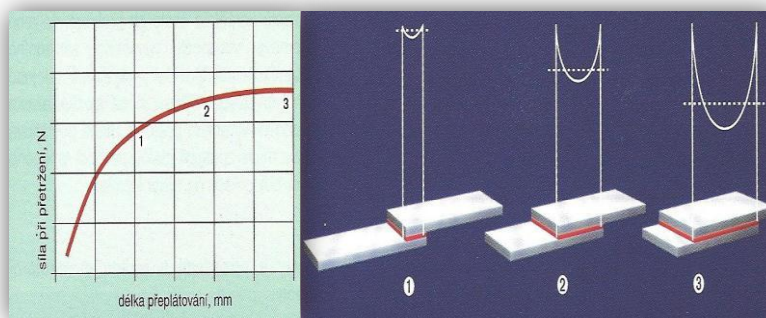
Rozšíření spoje

Jednou z možností je zvětšit šířku přeplátovaného spoje a tím i zvýšit zatížení, které je potřebné k porušení spoje. Touto jednoduchou možností dojde ke zvětšení pevnosti lepeného spoje. Rozšířením spoje se však neodstraní nerovnoměrné napětí ve spoji.

Volba vhodného přeplátovaného spoje

Zde je potřeba zvažovat dvě hlediska – délku přeplátování a konstrukci spoje. Je nutné si uvědomit, jak bylo poznamenáno, že prodloužením délky přeplátování nad určitou mez se pevnost spoje nezvyšuje. Na obr. 9 je patrná závislost síly přetržení na délce přeplátovaného spoje.

Obr. 9 Závislost síly přetržení na délce přeplátovaného spoje



Zdroj: [2]

Přerušovaná čára v pravé části na výše uvedeném obrázku představuje průměrné napětí ve spoji. Jak je patrné porovnáním vzorků 1), 2) a 3), tak s narůstající délkou přeplátování se zvětšuje vzdálenost od špiček napětí k průměrným napětím. Tento stav samozřejmě nezvyšuje pevnost samotného spoje.

Výše uvedený text ukazuje na podstatný faktor ovlivňující mez pevnosti a životnost lepeného spoje - konstrukční tvar spoje. Cílem je získání určité stykové plochy a též případné vyloučení nevhodných způsobů namáhání. Dle Adamse dochází k rozdílné deformaci lepidla v tloušťce vrstvy lepidla. Nejvyšší deformace, tzv. „napěťové špičky“ se nachází na koncích přeplátování [28]. Na obr. 9 jsou patrné přibližně hyperbolickým průběhem. Tento průběh kopíruje průběh napětí po celé délce přeplátování. Důležitým prvkem je též délka přeplátování, jež určuje parametry napěťových špiček.

Experimenty v dané oblasti provedl Müller a kolektiv, kteří se zabývali kritérii návrhu optimální délky přeplátování. Optimální plocha přeplátování nejen zvýší únosnost lepeného spoje, ale též sníží náklady investované do neopodstatněného předdimenzování plochy lepeného spoje. Müller uvádí kritéria, které je potřebné při dimenzování jednostranně přeplátovaných lepených spojů zohlednit: využití maximální únosnosti spojovaného materiálu, využití maximální únosnosti lepidla, eliminace tahového namáhání, využití smykového namáhání, při kterém dosahují lepené spoje v porovnání s ostatními druhy namáhání (tah, odlupování, jejich kombinace) vyšších hodnot zatěžované síly. Müller mimo jiné při svých experimentech došel k názoru, že nárůst meze pevnosti v tahu vzhledem k jednotkovým nákladům roste exponenciálně a při návrhu lepeného spoje je vždy důležité si uvědomit, jakou mez pevnosti spoje očekáváme. Tomu se přizpůsobí výběr lepidla [29].

Lepené spoje jsou charakterizovány velkými špičkami napětí na konci přeplátování, jež můžou způsobit selhání spoje. Problematiku experimentálně ověřovali Vallée a kolektiv, kteří zjišťovali možné úpravy lepeného spoje (samotného lepidla), pro zvýšení pevnosti spoje při namáhání. Jako možné metody ke zvýšení pevnosti konstrukčních prvků je dle jejich experimentů možné snížit působení špiček napětí buď geometrií spoje nebo za pomoci lepidla. Geometrii upravili např. skosením adherendu, u lepidel doporučují využití tvárných lepidel. U křehkých adherendů, tedy u těch vyztužených polymery a u dřeva, vyšetřovali nejčastější metody pro snížení napětí ve spoji. Došli k obdobnému závěru, kde uvádí úpravu skosením adherendu, využití tvárných lepidel [30].

Zjednodušeně lze jejich experiment popsat následujícími body:

- všechny zkoumané metody snížili napětí ve spoji,
- napětí jsou obvykle snížena změnami v poli napětí, zdůrazňují tak možnost zvýšení objemu adherendů,
- všechny experimentálně zkoumané lepené spoje selhaly v křehkém místě [30].

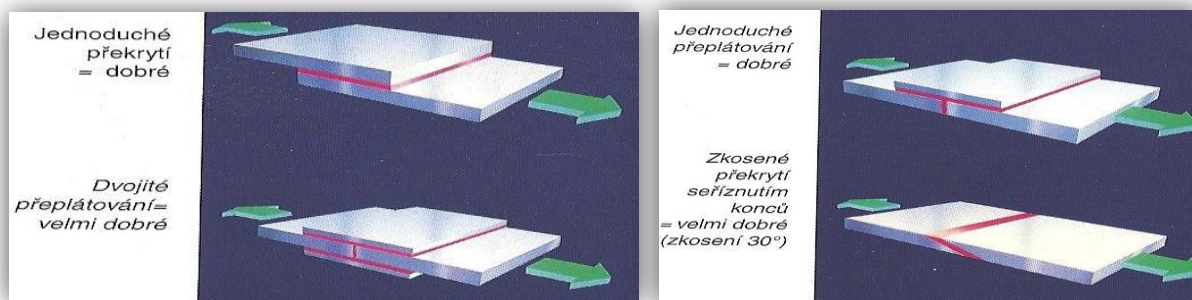
Značný význam kladený na experimentální a početní stanovení, pokud možno optimální délky přeplátování spoje a též určení tloušťky vrstvy lepidla, podtrhuje mnoho autorů ve svých výzkumech. Jmenujme Vallée, Correia a Keller, kteří se zabývali danou oblastí. Závěry formulovali do následujících bodů:

- pevnost spoje je nezávislá na tloušťce vrstvy lepidla, nicméně se zvyšuje s délkou přeplátování spoje,
- vzorky s délkou přeplátování kratší než 150 mm lze považovat za křehké s rychlým průběhem selhání. Naopak spoje s vyšší délkou přeplátování lze označit za stabilní,
- pevnost spoje se zvyšuje s délkou přesahu, což potvrzuje dřívější zjištění,
- při posuzování optimální tloušťky lepidla bylo experimentálně dokázáno, že za optimum lze považovat vrstvu o tloušťce 1 mm. Tato hodnota maximalizuje pevnost spoje [31].

Omezení excentrických sil

Pro zabránění vzniku těchto sil je možné lepený spoj konstruovat za pomoci překrytí případně přeplátování. Jako velmi dobré se jeví dvojitě přeplátování. Při této konstrukci se nesouosost působících sil dostává do jedné roviny. Ze stejného důvodu je velmi dobře chápáno také zkosené překrytí, kde jsou čela povrchů zkosena o 30° a lepena přímo na sebe. Možnosti konstrukcí velmi dobrých i méně vhodných jsou zobrazeny na obr. 10.

Obr. 10 Možnosti konstrukce spojů předcházejících nesouososti sil



Zdroj: [2]

3.5.6 Vliv teploty a času

V technické praxi je potřebné vytvářet spoje i v extrémních klimatických podmínkách, přičemž je důležité testovat lepené spoje právě za nich. Je dokázáno, že nízké vytvrzovací teploty prodlužují čas potřebný k získání maximálních hodnot pevnosti a naopak vysoké teploty proces vytvrzování urychlují. Experimentálně se předchozím konstatováním zabývali Müller, Hůrka. Použili dvě epoxidová dvousložková lepidla, jež byla vystavena rozdílným teplotám v rozmezí 23 °C až 120 °C. Z experimentu bylo zjištěno, že doba vytvrzování se u posuzovaných lepidel s rostoucí teplotou zkracuje. Závěrem konstatovali nutnost správného určení optimální teploty pro urychlení vytvrzovacího procesu [33].

Na tento experiment navázali Müller, Henc a Kejval, jež zjišťovali vliv teploty a času na výslednou pevnost lepeného spoje. Zmíněná interakce byla stanovena v následujících prostředích: laboratorní prostředí (23 ± 2 °C), venkovní prostředí (-7 ± 8 °C), chladicí komora (0 ± 3 °C) a laboratorní sušárna (50 ± 3 °C). Při testech zjistili jiné hodnoty pevnosti lepeného spoje, než uvádí výrobce v materiálových listech. Příčinou byla pravděpodobně méně vhodná úprava povrchu nebo nevhodně zvolený zkušební materiál. Testy dále ukázaly možnost aplikovat metylmetakrylátová lepidla v podmínkách v intervalu teplot cca -15 až $+50$ °C s tím, že proces vytvrzování není při nízkých ani při vysokých teplotách zastaven [32].

Teplota je jedním z faktorů, který může výraznou měrou změnit výslednou pevnost lepeného spoje. Pokud bude spoj nesprávně navržen, pak může dojít vlivem teploty k jeho destrukci. V extrémních podmínkách je nutné dbát na správný výběr adheziva.

Za nepříznivý faktor se považují jak nízké teploty, tak i vysoké. Ke snížení pevnosti může dojít v adhezivu vlivem teplotní roztažnosti materiálů. Například při lepení odlišných druhů materiálu (kov – plast), dochází k odlišné délkové teplotní roztažnosti. To vyvolává vznik dodatečných pnutí. Teplotní odolnost je možné zlepšit použitím vhodných lepidel, pro vysoké teploty použitím lepidla vytvrzovaného za tepla. Kritický pokles pevnosti ve smyku všech lepidel bývá obvykle v rozmezí teplot 60 až 100 °C. Vlivem teploty zároveň s dlouhodobým zatížením může dojít ke creepu⁵ [10].

Mrazuvzdornost spoje (odolnost proti nízkým teplotám) je závislá na míře snížení teploty, vlivu napětí, rychlosti namáhání apod. Význam zde má poměr mezi adhezivní

⁵ Creep je pomalá, časově závislá, trvalá deformace, ke které dochází v průběhu dlouhodobého působení vysokých teplot při konstantním zatížení nebo konstantním napětí nižším než mez kluzu.

a kohezivní pevností spoje při dané teplotě. Kohezivní charakter lomu se pro většinu lepidel mění na adhezivní [22].

Z hlediska teploty můžeme lepení jednoduše rozlišit na:

- lepení za běžné teploty 15 až 29 °C,
- lepení za teplot od 30 do 100 °C,
- lepení za teplot nad 100 °C.

Právě u poslední zmíněné kategorie, lepení nad teplot 100 °C, provedli své experimenty autoři Banea, Da Silva a Campilho. Zaměřili se při nich na studování lepeného spoje za vysoké teploty lepidla XN1244. Jejich výsledky lze však zobecnit. Autoři při testech ukázali na vysokou pevnost a tuhost lepidla při pokojové teplotě. Při zvýšených teplotách byla naměřena zvyšující se tažnost (až do selhání spoje) a s tím související snižující se pevnost. Pevnost ve smyku lepidla se zvyšuje až do hodnoty, jež je kompromisem mezi tažností a nahromaděnou silou. Teplota odpovídající nejlepší kombinaci pevnosti a tažnosti pro využití lepidlo byla 125 °C [34].

Opačný teplotní pól byl zkoumán autory Bang, Kim a Lee. Vyšetřovali výkon adhezivně lepených spojů složených z hliníkového plechu a nerezových folií při velmi nízké teplotě (-150 °C). Fólie byly porovnávány s klasicky využívanými metodami úpravy materiálu mechanické a chemické povahy. Výsledky experimentů ukázaly, že vazebné síly závisí do značné míry na způsobu povrchové úpravy, na tloušťce lepidla a vláknech výztuže. Bylo také zjištěno, že tloušťka lepeného spoje vykazuje sníženou soudržnost při velmi nízkých teplotách. Tento stav zlepšily výztuže ze skleněných vláken (2,5 krát). V pevnosti ve stříhu na lepených spojích, složených z hliníku a nerezové oceli, bylo zjištěno, že za velmi nízké teploty významně poklesla tloušťka lepidla ve spoji [52].

Souvislosti mezi teplotou a rychlostí vytvrzování zkoumal tým autorů Cebrian, Zogg a Ermanni. Vytvořili metodu použitelnou jako doplněk pro jednotlivé testy ve smyku. Výhodná je z důvodu nezávislosti na kvalitě materiálu. Optimální podmínky pro vytvrzování jsou, u jimi zkoumaných lepidel, teplota 100 °C po dobu jedné hodiny. Tím se doba vytvrzování snížila o 75 % oproti doporučeným vytvrzovacím podmínkám. Za teplot nad 120 °C dochází k tepelné degradaci ve struktuře lepidla [36].

Na vliv času lze nahlížet především z hlediska procesu stárnutí a vytvrzování lepeného spoje. Nejen pro technické potřeby je nutné sledovat jednoduchost a efektivnost výrobního

procesu. Problematickou oblastí se u lepení stává hlavně proces stárnutí a omezená doba trvanlivosti garantovaná výrobcem. Po překročení tohoto mezního stavu již nejsou výrobem lepidel garantovány mechanické vlastnosti deklarované v materiálových listech.

Müller, Brožek v roce 2005 uveřejnili článek, kde zkoumali dvě dvousložková lepidla. Ta byla použita cca jeden rok po překročení doporučené expirační doby uvedené výrobcem. Jejich výsledky dokázaly důležitost dodržování této doby. Již po krátké době po překročení se projevuje značným poklesem pevnosti lepených spojů. Aby se vyloučil vliv pouze jednoho druhu zatížení, pak byly experimenty provedeny dle dvou norem ČSN EN 1465 a ČSN EN 26922. U všech zkoušených lepidel se potvrdil klesající trend pevnosti při využití lepidla s uplynulou expirační dobou. Pevnost lepeného spoje klesla o 13 až 73 % oproti původní pevnosti spoje lepeného v době garantované výrobcem [21].

Vzhledme k tomu, že dané experimenty zohlednili překročení expirační doby o jeden rok, proto Müller provedl laboratorní experiment zaměřený na hodnocení vlivu degradačního prostředí a trvanlivosti lepidla garantovanou výrobcem překročenou o 5 a 9 let na změnu mechanických vlastností. Při realizaci byly lepené spoje vystaveny působení vodní lázni, roztoku minerálního hnojiva cererit⁶ s vodou, roztoku soli s vodou a motorové naftě. Slepená zkušební tělesa byla ponořena do daného roztoku, jež byl zředěn vodní lázní v poměru 1:3 (tj. cca 33,3% roztok). Z hlediska trvanlivosti garantované výrobcem byla testována dvousložková epoxidová lepidla s trvanlivostí garantovanou výrobcem nepřekročenou, dále překročenou o 5 a o 9 let. Pro spoje vystavené laboratornímu prostředí je z výsledků patrný pokles pevnosti ve spoji o 10,8 % při překročení trvanlivosti garantované výrobcem o 5 let a o 28,6 % při překročení o 9 let. U spojů s překročenou garantovanou dobou o 9 let byl též prokázán difuzní průsak v lepeném spoji. Takové spoje zaznamenaly rapidní pokles pevnosti blízký se 50 %. Pevnost spoje byla v jednotlivých kontaminantech následující: motorová nafta 44,7 %, roztok minerálního hnojiva cererit a vody 45,4 %, roztok soli s vodou 40 % a vodní lázeň 38,2 %. Na základě vyhodnocení provedeného experimentu lze říci, že výsledná pevnost lepených spojů s postupem času za současného působení okolního prostředí klesá. Míra poklesu pevnosti je závislá na trvanlivosti garantované výrobcem, specifických podmínkách okolního prostředí. Proto je nutné důsledné plánování, skladování a minimalizování pojistných zásob lepidel. Jako vhodné se pak nabízí využití principu tzv. FIFO, tj. nejprve použít ta lepidla, která byla naskladněna dříve [35].

⁶ Cererit je vícesložkové bezchloridové hnojivo NPK se sírou, hořčíkem a stopovými prvky bórem, molybdenem, mědí a zinkem.

3.5.7 Vliv prostředí

V návaznosti na výše uvedený text je patrné značné ovlivnění lepeného spoje v důsledku působení prostředí. Pokud jsou spoje vystaveny vnějším povětrnostním vlivům, jsou ponořeny do kapalin, pak se hovoří o degradaci materiálu. Každý ze spojů je svým prostředím ovlivňován, ve většině případů dochází ke změnám nežádoucím.

Zajímavé experimenty provedli Herák a kolektiv v Indonésii, kde studovali účinky vnějšího prostředí na pevnost lepených spojů vystavených podmínkám tropického prostředí. Došli k závěru, že pevnost lepených spojů v průběhu času poměrně výrazně klesá [37].

Degradace materiálu je nežádoucí změna vlastností polymerního materiálu v průběhu jeho skladování, zpracování a používání. Změny vlastností jsou většinou spojeny se změnou struktury anebo molekulové hmotnosti polymeru [27].

Odolnost spojů vůči vnějšímu prostředí lze rozdělit do těchto kategorií:

- odolnost vůči přírodním prostředím,
- odolnost vůči chemickým činidlům,
- odolnost vůči zvýšeným teplotám,
- odolnost vůči ohni [27].

Odolnost vůči prostředí lze dále dělit do podkategorií: malá, střední a velká. Pro přehlednost jsou nejnámější prostředí a k nim přiřazené stupně odolnosti u epoxidové pryskyřice uvedeny v tab. 3.

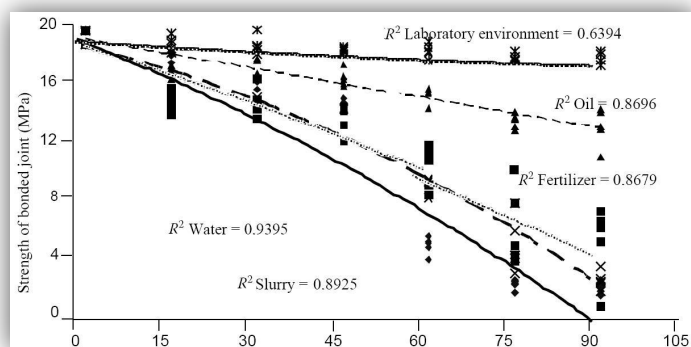
Tab. 3 Stupně odolnosti v závislosti na druhu prostředí pro epoxidové pryskyřice

Druh prostředí	Stupeň odolnosti
Oxidační činidla	Malá
Rozpouštědla	Malá - velká
Voda	Střední
Roztoky solí	Střední
Kyseliny	Střední
Zásady	Střední
Mikrobiální odolnost	Velká
Odolnost vůči povětrnosti	Velká

Zdroj: [27]

V roce 2009 uskutečnil Müller a kolektiv experiment vlivu degradace na pevnost lepených spojů u epoxidových pryskyřic. Byla testována následující média: voda, olej, hnojivo a kejda⁷. Z výsledků plyne, že nejagresivnějším prostředím se stala právě kejda. Experiment spočíval v ponoření vzorků do zmíněných médií a zkoumání výsledků po 90-ti dnech. Na grafu 1 je znázorněna závislost pevnosti ve smyku na počtu dní, po které byly vzorky v médiu ponořeny. Po této době klesla pevnost spoje vzorků ponořených do kejdy na nulu a např. do vody na cca pětinu původní pevnosti [38].

Graf 1 Závislosti vlivu degradačního média na pevnosti lepeného spoje



Zdroj: [38]

Legenda ke grafu:

◆ slurry	■ fertiliser
▲ oil	× water
✱ laboratory environment	— — — water
- - - oil	— — — laboratory environment
..... fertiliser	— slurry

Slurry – kejda, Oil – olej, Laboratory environment – laboratorní prostředí, Fertiliser – hnojivo, Water – voda. Koeficient R^2 znázorňuje hodnotu spolehlivosti pro jednotlivá média.

Se zaměřením na agronomickou oblast zkoumali autoři Müller a Valášek životnost lepených spojů vystavených okolnímu prostředí. Technologie lepení je použita v konstrukci linek strojů, přístrojů a zařízení pro zemědělství, lesnictví a potravinářství. Autoři hovoří o perspektivě lepení vzhledem ke značnému množství kladných vlastností, jež tato technologie má. Výsledky daly za cíl poznat degradační procesy odehrávající se v lepených spojkách s důrazem na aplikaci v zemědělství. Experimentálně byl potvrzen předpoklad o významu správného určení vrstvy lepidla a též o snížení pevnosti spoje kvůli degradačním procesům.

⁷ Kejda hospodářských zvířat je tekuté statkové hnojivo, částečně zkvašená směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat a zbytků krmiv s podílem technologické vody.

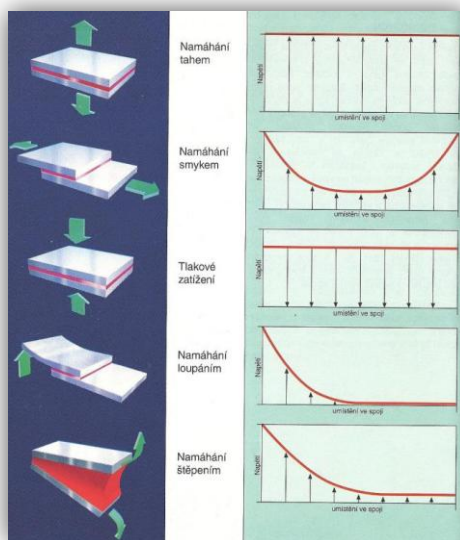
Na základě vyhodnocení provedených experimentů je možno říci, že pevnost lepených spojů klesá v důsledku času a též v důsledku vlivu okolního prostředí. Míra poklesu pevnosti závisí na konkrétních podmínkách okolního prostředí. Autoři uvádí, že může dojít i ke spontánnímu zničení lepených spojů již po velmi krátké době vystavení degradace. Tomu by mělo být zabráněno omezením jejich vlivu. Z výsledků je zřejmé, že koroze je většinou zcela jednoznačným faktorem ovlivňujícím pevnost spoje.

3.5.8 Vliv druhu zatížení

Návrh a samotná konstrukce spoje musí splňovat základní kritérium – spoj by neměl být namáhán v odlupování. Důvodem je nízká pevnost lepidla při působení tohoto zatížení. Lepené spoje jsou ve většině případů namáhány těmito typy zatížení: tahem, smykem, tlakem, loupáním, štěpením anebo kombinací těchto druhů. Nejvyšších hodnot pevnosti je dosahováno při namáhání smykem, menší tahem a nejmenších v odlupování [22]. Pro potřeby práce bude realizováno namáhání smykem. Na obr. 11 je patrné, že největší koncentrace napětí je na začátku a konci spoje. Střední část je vystavena napětí menšímu.

Na obr. 11 jsou znázorněny nejznámější typy namáhání spolu s rozložením napětí ve spoji. Šipky ukazují směr působení síly.

Obr. 11 Typy namáhání a rozložení napětí ve spoji



Zdroj: [2]

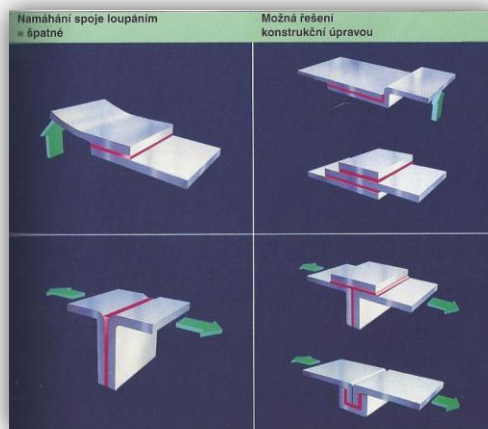
Experimenty a analytickými výpočty bylo dokázáno, že hodnota ohybového napětí na koncích lepeného spoje může být několikanásobně vyšší, než je hodnota smykového napětí ve spojovaných součástech. V případě nevhodné konstrukce lepeného spoje může tento typ

namáhání způsobit tzv. loupání (peel).

Jednoduchými konstrukčními návrhy lepeného spoje lze výrazně zvýšit jeho pevnost. Toho se dosahuje zvětšením lepené plochy. Malá plocha je náchylnější na namáhání loupáním, které je pro lepené spoje nepřijatelné. Na přetížení, selhání spoje má často velký vliv tuhost komponentů, tuhost vlastního lepidla. Poté platí, že čím tužší je díl, tím méně je ovlivněno namáhání spoje jeho geometrií.

Na následujícím obr. 12 jsou zobrazeny způsoby namáhání spojů loupáním v levé části, v pravé pak možná konstrukční řešení k potlačení tohoto nežádoucího namáhání [2].

Obr. 12 Namáhání spoje loupáním a jeho potlačení konstrukční úpravou



Zdroj: [2]

Zajímavou možností, jak ovlivnit nechtěná namáhání, jsou konstrukce hybridních spojů. V současné době se nejvíce využívají lepené spoje vyztužené nýtů. Takové spoje podrobili analýze autoři Sadowski, Golewski a Zarzeka-Raczkowska. Zkušební testy a počítačové simulace ukázaly, že pevnost v tahu hybridních kloubů byla vyšší než u spojů vytvořených pouze lepením nebo spojů vytvořených za pomoci pěti nýtů. Doplněním nýtů do lepidla lepeného spoje se zvyšuje absorpce energie. Výsledky dále ukázaly následující závěry:

- hybridní spoje vzniklé lepením spolu s využitím pěti nýtů jsou ve srovnání s ryze lepenými spoji (nýtovanými spoji) o mnoho lepší,
- pevnost v tahu hybridního spoje je cca o 11 % vyšší než u lepeného spoje a cca o 130 % vyšší, než u spoje nýtovaného za pomoci pěti nýtů,
- takto zkoumané spoje měly vyšší spolehlivost a delší životnost,
- výsledky experimentu byly dokázány počítačovou simulací [39].

Ukázka lepeného spoje vyztuženého nýty je na obr. 13.

Obr. 13 Fotografie hybridní konstrukce spoje – vzniklá lepením a využitím pěti nýtů

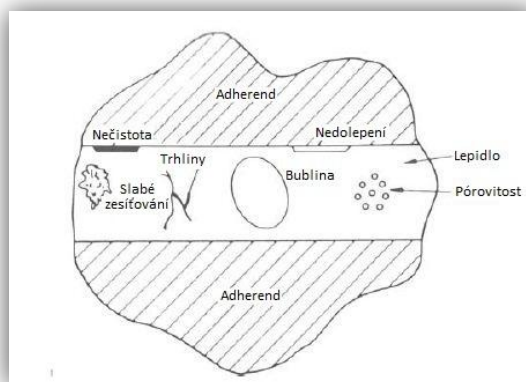


Zdroj: [39]

3.5.9 Vady ve vrstvě lepidla

Pro vytvoření kvalitního lepeného spoje je bezpodmínečně nutné dodržet technologický postup daný výrobcem. Jeho dodržením lze dosáhnout nejen uvedených mechanických vlastností, ale též předcházet vzniku nežádoucích vad. I malý defekt může způsobit nerovnováhu s možným vyústěním až v porušení spoje. Takové vady snižují maximální pevnost spoje, jež je ve velké míře závislá na ploše spoje. Výčet a znázornění nejběžnějších defektů vyskytujících se v lepeném spoji jsou patrné na obr. 14.

Obr. 14 Typy defektů v lepeném spoji



Zdroj: [46]

Především potřeba navrhnout lehké struktury o specifických vlastnostech vedla v průmyslu, převážně v leteckém a automobilovém, k rozšíření technologie lepení. Spoje vzniklé lepením je nutné sledovat z hlediska jejich zdravotního stavu. K tomuto účelu se rozšiřují efektivní techniky, převládají vibrační testy.

Numerické a experimentální ověření provedl Xiaocong. Jeho cílem bylo poskytnout možnosti pro predikce dynamické odezvy lepených nosníků a ověřit předpovědi díky

experimentálními zkouškami. Autor získal shodu mezi naměřenou a předpokládanou dynamickou odezvou lepených nosníků. Jeho výzkum tak umožní mnoho vibračních zkoušek k simulaci situací oproti současné době. Zjištění zdravotního stavu spoje je nyní časově zdlouhavé, případně finančně nákladné [40].

Na běžně se vyskytující únavové poškození se ve svém článku zaměřili Meneghetti, Quaresimin a Ricotta. Zkoumali vývoj poškození u jednotlivých spojů za využití různých technik spojování - zohlednili orientaci vrstvy lepidla vůči adherendu (0° a 45°), geometrii rohu plochy lepeného materiálu a délku překrytí (20 mm nebo 40 mm). V důsledku těchto únavových zkoušek selhaly všechny spoje v lepené oblasti.

Mezi další výsledky autorů patří:

- u konstrukčních materiálů lze podotknout, že nejdůležitějšími vlastnostmi ovlivňujícími únavovou pevnost spoje jsou geometrie rohu adherendu a délka překrytí. Nejlepších výsledků bylo dosaženo zaoblením hrany a přeplátováním v délce 40 mm. Oproti tomu nejhorších výsledků bylo dosaženo s ostrou hranou adherendu a délkou přeplátování 20 mm,
- při mikroskopickém pozorování u naleštěných hran adherendů bylo patrné, že poškození jde po celé šířce spáry [49].

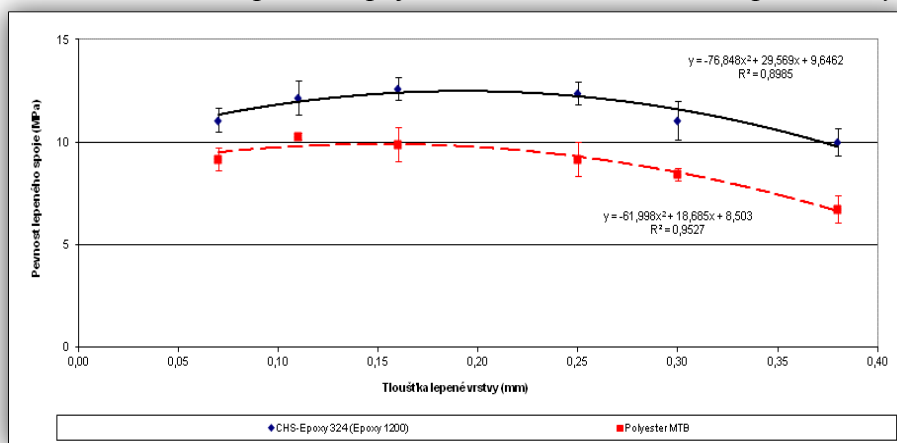
S narůstajícím počtem poruch roste též potřeba provádět analýzy poruch spoje. Výzkum v této oblasti provádí autoři Costa Mattos, Monteiro a Palazzetti. Jejich hlavní motivací je nahrazení svařovaných spojů tam, kde jsou svým technologickým postupem nevhodné (např. působení tepla při svařování na ropných plošinách). Cílem je navrhnout natolik jednoduché modelové rovnice, aby bylo možné jejich využití v provozních podmínkách. Ve své předběžné studii rozpracovávají účinek délky překrytí na celkovou sílu vzniklého spoje. Výsledky jejich experimentálního testování porovnány s predikovaným modelem vykazují dobrou korelaci. Podrobnější studie budou následovat [50].

4 Výzkum interakce rozhraní adherend / lepidlo

Experimentální část diplomové práce vychází z teoretických poznatků uvedených v rešeršní části. Cílem experimentu je získat statistické vyhodnocení a na jeho základě uvést závěry zkoumané oblasti, ve které je posuzován vliv úpravy povrchu materiálů na pevnost spoje vzniklého lepením. Do experimentu jsou zapojeny dva materiály, ocel S235J0 a dural AlCu4Mg, a dvě lepidla. Tím je odstraněna chybovost z využití jednoho adherendu.

Hlavní části experimentu předchází přípravná fáze, do které lze zařadit zjištění optimální tloušťky lepeného spoje pro obě z využitých lepidel. Jedná se o CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a Polyester MTB. V souladu s normou ČSN EN 1465 (Lepidla - Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přeplátovaných tělesech) jsou vytvořeny lepené spoje s různou tloušťkou spoje, což zabezpečují distanční drátky vložené do spoje s průměry 0,07; 0,11; 0,16; 0,25; 0,3; 0,38 mm. Ty jsou voleny na základě předchozího zkoumání uvedeného v rešeršní části. Na každou ze sérií je vytvořeno normou stanovené minimální množství šesti lepených spojů, které jsou následně roztrhány na trhacím stroji a je sledována pevnost každého ze spojů. Za pomoci statistických funkcí a grafického znázornění lze jednoznačně určit optimální tloušťku spojů vzniklých lepením, pro obě zmíněná lepidla, v rozmezí 0,15 – 0,20 mm, jak uvádí obr. 15.

Obr. 15 Pevnost lepeného spoje v závislosti na tloušťce lepené vrstvy



Zdroj: autor

Obrázek prezentuje výsledek jako závislost pevnosti spoje na jeho tloušťce. Jeho optimum je zvoleno na hodnotu 0,18 mm, což odpovídá zařazení distančních drátků o průměrech 0,18 mm do experimentu. Hodnoty naměřené, statisticky vypočtené z této přípravné fáze experimentu jsou uvedeny v příloze 1.

Za přípravnou fází lze považovat i provedení povrchových úprav materiálu. Vzhledem k mnoha možnostem kombinací materiálů, lepidel a úprav byla zvolena následující metoda popisu vzorků. Nejprve byly označeny dle využitého lepidla (*E* u lepidla CHS-Epoxy 324, Epoxy 1200 a *P* u Polyester MTB), následně charakteristikou materiálu (*O* pro S235J0 a *D* pro AlCu4Mg) a poté kombinací povrchové úpravy (*T* jakožto tryskání povrchu abrazivem, *B* znamená broušení na brusném plátně a *O* spočívá v ošetření povrchů Acetonem P6401⁸). Číslice určuje pořadí lepeného spoje v sérii od prvního po desátý lepený spoj. Kombinace povrchových úprav spolu s označením vzorků jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Typy úprav materiálů, označení lepených spojů

Pořadí série	Mechanická úprava	Chemická úprava	Konkrétní typy úprav	Označení vzorků S235J0, lepidlo CHS-Epoxy 324, Epoxy 1200	Označení vzorků S235J0, lepidlo Polyester MTB	Označení vzorků AlCu4Mg, lepidlo CHS-Epoxy 324, Epoxy 1200	Označení vzorků AlCu4Mg, lepidlo Polyester MTB
1.	Ne	Ne	neotryskané (neobroušené), neodmaštěné	E O1 - 10	P O1 - 10	E D1 - 10	P D1 - 10
2.	Ano - 1.	Ano	otryskané, odmaštěné	E OTO1 - 10	P OTO1 - 10	E DTO1 - 10	P DTO1 - 10
3.	Ano - 2.	Ano	obroušené, odmaštěné	E OBO1 - 10	P OBO1 - 10	E DBO1 - 10	P DBO1 - 10
4.	Ne	Ano	neotryskané (neobroušené), odmaštěné	E OO1 - 10	P OO1 - 10	E DO1 - 10	P DO1 - 10
5.	Ano - 1.	Ne	otryskané, neodmaštěné	E OT1 - 10	P OT1 - 10	E DT1 - 10	P DT1 - 10
6.	Ano - 2.	Ne	obroušené, neodmaštěné	E OB1 - 10	P OB1 - 10	E DB1 - 10	P DB1 - 10

Zdroj: autor

Tyto úpravy se odkazují na experimenty popsané v literární rešerši a dále je rozvíjejí. Pro připomenutí lze uvést, že nejčastěji využívanými mechanickými úpravami jsou tryskání povrchu abrazivem a broušení povrchu na brusném plátně. Chemickou úpravu povrchu běžně zastupuje úprava odmaštěním, v případě této práce s využitím Acetonu P6401. Aby bylo možné srovnat dopad konkrétních úprav materiálu na výslednou pevnost lepeného spoje, pak je vždy jedna série pro každý z materiálů ponechána úplně bez úpravy.

Technologicky po provedení úprav následuje lepení. Lepené spoje jsou odtrhány, čímž jsou v důsledku odečteny údaje o konkrétních pevnostech. Za pomoci výpočetní techniky a statistických vzorců lze data porovnat, vyhodnotit. Blíže k jednotlivým částem experimentu v dalších bodech.

Na základě informací obsažených v zahraniční literatuře dojde k využití modifikované normy ČSN EN 1465, jejíž podstatou je stanovení pevnosti lepeného přeplátovaného spoje. K tomu dochází při stanovení smykového namáhání jednoduchého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, které jsou namáhány tahovou silou, působící rovnoběžně s plochou slepu

⁸ Aceton P6401 se používá jako speciální rozpouštědlo, např. pro nitrocelulózu a lepidla.

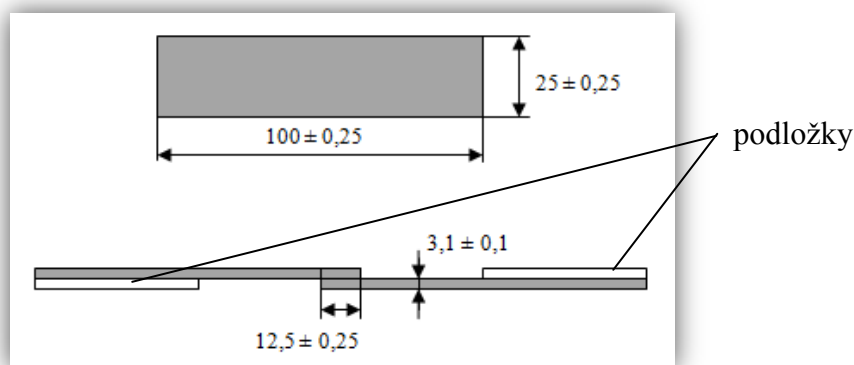
a hlavní osou vzorku. Výsledkem zkoušky je naměřená síla nebo napětí při porušení spoje [55]. Modifikace normy bude vysvětlena v následujícím oddíle 4.1 Vymezení vzorků, lepidel.

Ke stanovení typu porušení lepeného spoje po zkoušce bude využita norma ČSN ISO 10365 (Označení hlavních typů porušení lepeného spoje), jež obsahuje grafické znázornění daných poruch pro snadné určení [48].

4.1 Vymezení vzorků, lepidel

Norma ČSN EN 1465 stanovuje rozměry základního zkušebního tělesa o rozměrech: $100 \pm 0,25 \times 25 \pm 0,25 \times 1,6 \pm 0,1$ mm s doporučenou délkou přeplátování $12,5 \pm 0,25$ mm. Oproti těmto rozměrům se autor rozhodl k modifikaci spočívající ve zvětšení tloušťky adherendu na $3,1 \pm 0,1$ mm a též ke změně profilu lepeného spoje. Ostatní rozměry zůstávají dle normy. Schematicky znázorněné rozměry zkušebních rozměrů jsou uvedeny na obr. 16.

Obr. 16 Rozměry zkušební vzorku dle modifikované normy ČSN EN 1465 [mm]



Zdroj: autor

K dané modifikaci dochází na základě informací z části 3.5.5 Vliv přeplátování spoje, kde je popsána problematika nesouososti sil. Ta ve svém důsledku vede až k nechtěnému ohybovému momentu. Jako jedna z možných úprav, omezující tento nežádoucí stav, byla zmíněna možnost rozšíření spoje. Tato úprava se jeví jako technologicky nejméně náročné a pro potřeby práce dostačující. Obdobné modifikace se již běžně objevují v zahraniční literatuře. Vhodné je též zmínit, že s modifikací počítá i samotná norma. K předcházení deformace spoje, kdy síly působí mimo rovinu přeplátovaného spoje, byla zvolena druhá úprava založená na vlepování podložek na oba konce lepeného materiálu tak, jak je patrné z obr. 16. Změna profilu tím posouvá působení sil do roviny přeplátovaného spoje.

Jak již bylo zmíněno, adherendy pro tvorbu lepených spojů jsou S235J0 a AlCu4Mg. Adhesiva lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a Polyester MTB. Série jsou tvořeny po 10 lepených spojích v souladu s normou, ta počítá s minimálním počtem šesti spoji. Celkem bylo slepeno cca 700 adherendů do 350 zkušebních lepených spojů.

Lepidlo CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) je dle technicko-aplikačního listu středněmolekulární viskózní epoxidovou pryskyřicí modifikovanou nereaktivním změkčovadlem P11. Využívá se k lepení kovů, skla, keramiky, kameniny a dřeva [14]. Základní parametry uvádí tab. 5.

Tab. 5 Vlastnosti nevytvrzené pryskyřice CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)

Vzhled:	nažloutlá až žlutá čirá silně viskózní kapalina
Hustota ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$):	1,15 (2 °C)
Viskozita (Pa.s):	30 – 80 (23 °C)
Viskozita (Pa.s):	20 – 60 (25 °C)
Obsah epoxidových skupin ($\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$):	3,0 – 3,4
Epoxidový hm. ekvivalent ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$):	290 – 330
Celkový obsah chloru (%):	max. 0,5

Zdroj: [14]

Technicko-aplikační list dále udává míšící poměr - 100 hmotnostních dílů CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) : 7 hmotnostním dílům tvrdidla P 11. Doba želatinace je uvedena 30 až 50 minut při 23 °C v závislosti na připravovaném množství. Se zvyšující se hmotností natužené směsi se zkracuje. Vytvrzení je udáno do 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C [14].

Výrobce provedl řadu zkoušek s takto vytvrdlou pryskyřicí CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200), jejich výsledky s požadovanými úrovněmi jsou patrné z tab. 6.

Tab. 6 Provedené zkoušky pro lepidlo CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)

Vlastnost		Zkušební postup	Výsledek zkoušky	Požadovaná úroveň
Pevnost ve smyku (adherend slitina hliníku)		ČSN EN 1465	21,8 MPa	Min. 10 MPa
Senzorická zkouška		ČSN EN 1230-1	Stupeň 1–2 (pach právě zachytitelný–mírný pach)	Max. stupeň 2 (mírný pach)
Přílnavost k	betonu	ČSN EN 24624	6,79 MPa	Min. 1,5 MPa
	oceli		2,20 MPa	Min. 1,2 MPa

Zdroj: [14]

Technicko-aplikační list lepidla Polyester MTB jej definuje jako polyesterovou pryskyřici s nízkou emisí styrenu na bázi ortoftalové kyseliny, se střední dobou želatinace. Využívá se k zalévání kabelových spojů a koncovek, integrovaných obvodů, vinutí, k odlévání modelů, člunů a septických nádrží. V neposlední řadě též pro výrobu technického laminátu [13]. Detailnější informace jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7 Vlastnosti nevytvrzeného lepidla Polyester MTB

Vzhled:	nažloutlý až žlutozelený
Hustota ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$):	1,1
Viskozita ($\text{mPa}\cdot\text{s}$):	1200
Viskozita ($\text{Pa}\cdot\text{s}$):	20 – 60 (25 °C)
Zpracovatelnost:	15 – 20 min. při 23 °C. Při vyšší teplotě se doba zpracovatelnosti zkracuje.
Vytvrzení	40 minut při 23 °C, max. teplota je 110 °C.
Aplikační metody:	ruční nanášení, stříkání

Zdroj: [13]

List dále hovoří o míšicím poměru lepidla s iniciátorem, konkrétně 100 hmotnostních dílů Polyester MTB : 1,5 hmotnostních dílů iniciátoru. Doba vytvrzení je stanovena na 40 minut při 23 °C. Doba vytvrzení byla pro obě uvedená lepidla vždy dodržena.

4.2 Příprava vzorků

Vzorky z obou materiálů byly získány shodně – oddělením z polotovarů na padacích nůžkách (obr. 17). Byly opatřeny hutnické polotovary ve formě plechů v tabuli s tloušťkou $3,1 \pm 0,1$ mm, z nichž byly stříhány v dílně katedry samotné vzorky o rozměrech 100 x 25 mm, s tolerancí $\pm 0,25$ mm.

Obr. 17 Padací nůžky



Zdroj: autor

Na ovládacích kroužcích byly nastaveny požadované hodnoty, do nůžek se vložil plech a za pomoci nožního ovladače došlo k oddělení vzorku od zbylého plechu. Vzorky odpadávaly v prostoru za nůžkami do připravené přepravky. Celý postup se opakoval do chvíle oddělení posledních vzorků. V průběhu stříhání byly rozměry vzorků namátkově kontrolovány posuvným měřítkem.

4.3 Úprava vzorků před lepením

Z povahy zadání práce byly použity jak mechanické, tak chemická úpravy povrchů. Metodami mechanické úpravy povrchů vzorků byly metody tryskání povrchu abrazivem a metoda broušení na brusném plátně. Chemická úprava spočívala v ošetření povrchů Acetonem P6401.

Tryskání povrchu abrazivem bylo prováděno v ruční tryskací komoře PK - ITB 65 s nožním ovladačem tlakového vzduchu (obr. 18) v dílnách katedry. Praktická část otryskávání probíhala za stálého tlaku 3,5 MPa při použití brusného zrna zrnitosti 80 jako média. Před samotným zahájením a v průběhu činnosti byly tryskací komora, tryska i přívodní hadice kontrolovány.

Obr. 18 Tryskací komora PK – ITB 65



Zdroj: autor

Samotné tryskání jednoho vzorku zabralo cca 10 sekund s tím, že bylo soustředěno na místo budoucího slepu. Vzorek byl otryskán vždy na jednom svém konci z jedné strany a to do vzdálenosti více než 12,5 mm od konce vzorku. Tato vzdálenost vychází z normy ČSN EN 1465 a určuje vzdálenost pro přelep dvou vzorků přes sebe. Tryska o průměru 3 mm byla udržována v pracovní vzdálenosti cca 10 cm od povrchu vzorku.

Pro tuto úpravu se stalo limitujícím faktorem médium, které zůstávalo v kabině komory a kompresor jej tak nemohl nasát do trysky. Tím se po krátké době využívání tryskací komory značně snížila její efektivnost. Úprava se tak mohla prodloužit, u jednoho vzorku, i na dobu 30 sekund. Při zpozorování tohoto jevu bylo tryskání přerušeno a poklepem do tryskací komory došlo k uvolnění v ní zachyceného média. Otryskané vzorky je nutné v krátkém časovém úseku dále využít, jinak dochází ke znehodnocení ulpěním nečistot a zamaštění. K tomu byl stanoven časový interval 30 minut, do kterého byly vzorky dále využity (slepeny, chemicky ošetřeny) nebo bylo tryskání zopakováno.

Druhou možností, mechanického ošetření povrchu vzorku, bylo využití brusného plátna. Jednalo se o plátno zrnitosti 120 na stabilní, hustě tkané bavlněné podložce. Plátno této zrnitosti je vhodné na broušení kovů, barev, dřeva a umělých hmot. Zajišťuje vysoký brusný výkon a je určeno k ručnímu broušení plošné i pro obrus kulatin, hran a hůře přístupných míst. Odtržením a upevněním do čelistí bylo možné začít s úpravou. Vzorky byly postupně jeden po druhém tlakem udržovány ve vodorovné pozici, pohybem vpravo a vlevo obrušovány. Bylo nutné dbát na vizuální kontrolu broušeného místa a též na volení vždy nové brusné plochy na papíře.

Z tab. 4 vychází nutnost některé adherendy ošetřit chemicky. K tomu byl využit přípravek Aceton P6401. Dle bezpečnostního listu výrobce [19] se jedná o výrobek sloužící jako speciální organické rozpouštědlo, např. pro celulózová lepidla. Jeho povaha je zdraví škodlivá a nebezpečná pro životní prostředí. Proto bylo nutné při jeho používání dbát zvýšené pozornosti a vyvarovat se přímému kontaktu s kůží a vdechnutí par. K této úpravě byl využit ochranný oděv, byla zajištěna kvalitně větraná místnost. Každý z požadovaných vzorků byl odmaštěn následovně - přípravkem bylo v malých dávkách napuštěno čistící rouno, kterým bylo požadované místo vyčištěno a odmaštěno. Protože při ošetření dochází k úniku těkavých látek, proto byly vzorky odkládány na připravená skla, aby mohlo dojít k odpaření.

4.4 Lepení zkušebních vzorků

Mechanicky, případně chemicky, ošetřené povrchy lepených vzorků byly popsány dle používaného lepidla a úpravy jejich povrchu. Popsání proběhlo před samotným lepením, aby nedošlo k záměně vzorků.

Práce s lepidly je v důsledku aplikace a tvrzení náročná na čas. Proto je nutné postup zvolit tak, aby na sebe činnosti bez prostojů navazovaly. V prostorách dílny byla připravena

podkladová skla, na něž byly položeny papíry s nakreslenými měrkami 12,5 mm od sebe pro dodržení délky přeplátování stanovené normou. Připraveny byly též distanční drátky o průměrech 0,18 mm vždy ve dvou kusech na jeden lepený spoj. Tyto drátky zabezpečily v nově vzniklém spoji konstantní vzdálenost obou adherendů od sebe.

Následně bylo možné začít s tvorbou lepených spojů. První byly slepeny vzorky tryskané, případně ošetřené kombinací tryskání povrchu abrazivem a chemickou úpravou, až následně vzorky např. bez provedených úprav. O postupujícím experimentu si autor vedl zápisky, které obsahovaly informace v jaké fázi se která ze sérií nachází.

Využita byla již zmíněná lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a Polyester MTB. Postup byl u obou stejný – do připravené umělohmotné nádoby umístěné na přesné váze s nulovou hodnotou bylo nalito určité množství lepidla. Váhy byly opět vynulovány a dle instrukcí výrobce bylo přidáno v přesně daném poměru tvrdidlo P11 pro lepidlo CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200), případně iniciátor pro lepidlo Polyester MTB. Poměr byl uveden na balení daného lepidla. Směs byla promíchána a připravena k použití. Za pomoci dřevěné špachtle bylo malé množství lepidla aplikováno na jeden z připravených vzorků. Vzorek s nanesenou směsí byl položen na papírový podklad přesně na vymezené měrky. Do aplikovaného směsi lepidla byly opatrně vloženy dva distanční drátky. Zde bylo nutné dbát na pečlivost a udržovat vzdálenost obou drátků stejně daleko od kraje vzorku, reagovat na případný posun. Následovalo nanesení směsi lepidla na druhý vzorek. Opatrnou manipulací byl položen na první, opět v duchu dodržení určené vzdálenosti uvedené měrkami na papíře. Postup lepení se opakoval do vyčerpání lepidla nebo do slepení veškerých, v tu chvíli připravených, adherendů. Každý z nově vzniklých spojů byl v místě spoje opatrným tlakem prsty autora fixován, díky čemuž došlo k vytečení přebytečného lepidla ze spoje. Tím se zabezpečila správná šířka spoje (distanční drátky plně dosedly na oba adherendy). Každý ze spojů byl zatížen závažím o hmotnosti 175 g v místě přelevu, působící na zkušební těleso tíhou 1,7 N. Situace je znázorněna na následujícím obrázku. Cílem bylo uchytit spoj v konstantní poloze, zabránit posunutí a též zajistit stejnosměrné zatížení spoje.

Nově vzniklé spoje, fixované závažím, jsou patrné na obr. 19.

Obr. 19 Nově vzniklé lepené spoje, vzorky S235J0



Zdroj: autor

Při manipulaci s lepidly, vzorky se ukázalo jako nezbytné šetrné zacházení. Celý postup probíhal při laboratorních podmínkách. Dle technických listů jsou obě lepidla schopná vytvrdnout za dobu menší než je 24 hodin, což bylo vždy beze zbytku naplněno. Odpadla tedy obava z malých fixačních sil ve spoji. Po následném opatrném sejmutí závaží a vizuální kontrole spoje byly vzorky seřazeny a vloženy do přepravních krabic.

4.5 Destruktivní zkoušky na trhacím stroji ZDM 5

Destruktivní zkouška lepených spojů byla prováděna na univerzálním trhacím stroji ZDM 5 (obr. 20) v dílnách katedry.

Obr. 20 Univerzální trhací stroj ZDM 5



Zdroj: autor

Před samotnou zkouškou byl autor poučen, byl mu vysvětlen princip stroje, jeho nastavení a ovládání. Též byl upozorněn na případné faktory, které mohou měření ovlivnit. Nejčastěji se jedná o nesprávné upnutí do čelistí trhačího stroje, nesprávné nastavení rychlosti zatěžování, nesprávně zvolený posuv čelistí, neuvedení ručiček stroje pro odečítání síly do nulové hodnoty. Univerzální trhačí stroj ZDM 5 má rozsah zatěžování 0 – 50 000 N s různou možností odečítání hodnot (do 10 000 N na stupnici A, do 25 000 N na stupnici B a do 50 000 N na stupnici C). Vzhledem k využitým lepidlům, čerpáno z technických listů, byla zvolena stupnice A se silami zatěžování do 10 000 N. Vyšší hodnoty nebyly očekávány. Rychlost zatěžování lze na tomto typu stroje nastavit v rozmezí od 6 do 20 mm.min⁻¹. Při experimentu byla s ohledem na přesnost měření zvolena rychlost zatěžování s nejnižší hodnotou 6 mm.min⁻¹.

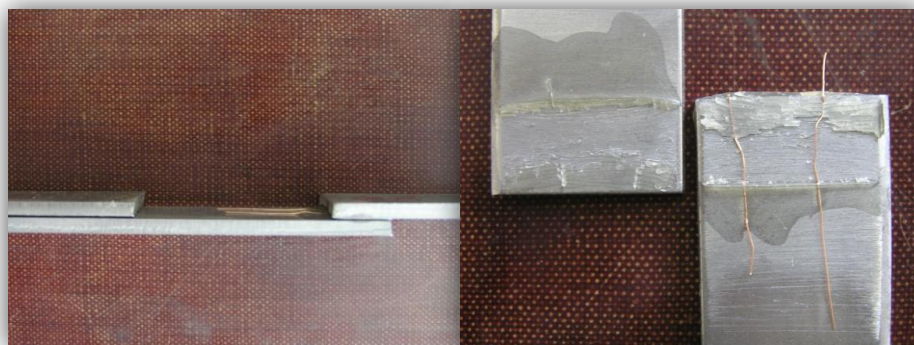
Univerzální trhačí stroj byl zkontrolován – byla nastavena stupnice A pro odečítání hodnot, nastavena rychlost zatěžování 6 mm.min⁻¹, byly instalovány čelisti stroje vhodné pro ploché vzorky. Kontrolou prošly i lepené spoje, byly seřazeny dle sérií a pořadových čísel. U čelistí pro ploché vzorky se může chybou upnutí stát, že spoj není destruován, ale jeden z jeho konců prokluzuje v čelistech. Měření tak nepokračuje. K eliminaci tohoto stavu byl mezi čelisti stroje a zkoušené vzorky vkládán smirkový papír, který se postaral o zvýšení tření a tím i pevnější uchycení vzorků. Dle normy ČSN EN 1465 bylo samotné uchycení prováděno tak, aby zkoušené těleso bylo umístěno symetricky do čelistí a vzdálenost každé čelisti od bližšího konce přeplátování byla 50 ± 1 mm. K porušení spoje musí dojít v časovém intervalu 65 ± 25 s. V ojedinělých případech, hlavně u sérií bez mechanické a chemické úpravy povrchu, docházelo k porušení spojů v kratším časovém úseku nebo při samotné manipulaci ještě před vložením do čelistí stroje. Tento jev je pochopitelný vzhledem k nerovnoměrnému zamaštění, znečištění povrchu, jež zabraňují vytvořit spoje dostatečných pevností. Na základě této zkušenosti se autor rozhodl provést ověření hmotnosti nečistot na lepeném povrchu. Více k tomuto pokusu v části 4.7.1 Ověření hmotnosti nečistot na lepeném povrchu.

Po upevnění vzorku, nastavení ručiček pro odečítání na nulovou hodnotu, kontrole rychlosti posuvu byl stroj spuštěn. Zatěžování probíhalo až do doby, než došlo k poruše lepeného spoje. Po vypnutí stroje a opatrném vyjmutí porušeného vzorku z čelistí, byla odečtena hodnota maximální zatěžovací síly na stupnici A. Byla změřena délka přeplátování. Do připravené tabulky byly vepsány následující údaje: informace o charakteristice zkoušeného materiálu, délka přeplátování, typ porušení a síla, jež lom způsobila. Typ porušení byl volen dle normy ČSN ISO 10365, podle níž byl vybrán jeden z následujících:

adhezní, kohezní nebo speciálně kohezní [48]. Porušené spoje byly dle své charakteristiky uskladněny v dílnách katedry. Hodnoty destruktivní zkoušky jsou uvedeny v příloze 2.

Na obr. 21 je vidět jeden z lepených spojů před a po zkoušce. Patrné jsou jak distanční drátky k udržení optimální tloušťky spoje, tak samotný lom, v tomto případě adhezní.

Obr. 21 Lepený spoj před a po destruktivní zkoušce



Zdroj: autor

Pro potřeby obrazové analýzy lepeného spoje bylo vytvořeno několik vzorků, u kterých byla její pomocí ověřena tloušťka distančního drátku. Obrazová analýza je umístěna v příloze 3, jsou v ní prezentovány zajímavé lepené spoje s krátkým popisem.

4.6 Teoretické základy

Před vyhodnocením experimentu, okomentováním výsledků a uvedením závěru je prostor na stanovení základních vztahů destruktivní zkoušky, možných typů porušení lepeného spoje a také zmínění statistických funkcí.

Výsledky destruktivní zkoušky se vyjádří jako aritmetický průměr a variační koeficient síly při přetržení ze všech platných těles v N nebo jako napětí při přetržení v MPa. [55]. Vyjádření výsledků pomocí síly F je ovšem diskutabilní. Tímto postupem by nebyla zohledněna plocha přeplátování, která je u každého ze vzorků odlišná - výsledky by trpěly zkreslením. Oproti tomu mez pevnosti ve smyku τ [MPa] s touto plochou počítá. Je definována jako podíl zátěžné síly F [N] a plochy lepeného spoje S [mm²]. Plochu lepeného spoje S [mm²] vyjádříme součinem šířky přeplátování lepeného spoje b [mm] s délkou přeplátování l [mm]. Délka přeplátování byla vždy po provedení destruktivní zkoušky na

univerzálním trhacím stroji změřena posuvným měřítkem, šířka přeplátování byla konstatních 25 mm. Výše popsané vztahy lze pro přehlednost uvést formou vzorců:

$$\tau = F / S \quad (2)$$

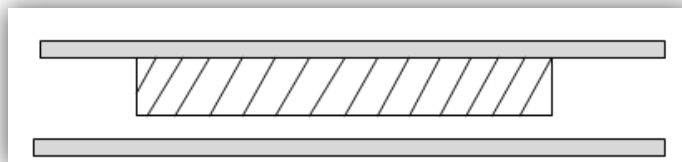
$$S = l \cdot b \quad (3)$$

Neméně důležitou součástí interpretování výsledků je i označení typů porušení lepeného spoje. Pro potřeby práce bylo počítáno s existencí adhezního, kohezního a speciálně kohezního porušení.

Adhezní porušení

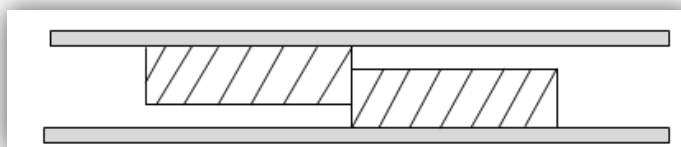
V případě porušení adhezního dochází k oddělení lepidla od adherendu. To může mít podobu oddělení celého objemu lepidla od jednoho z adherendů, jak je znázorněno na obr. 22a, případně se část objemu lepidla oddělí od jednoho z adherendů, druhá část analogicky od druhého. Tato možnost je patrná z obr. 22b. Značí se AF.

Obr. 22a Schéma adhezního porušení – celý objem lepidla se oddělí od jednoho z adherendů



Zdroj: autor

Obr. 22b Schéma adhezního porušení – část objemu lepidla se oddělí od jednoho z adherendů, druhá část od druhého



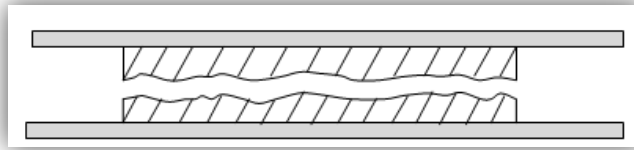
Zdroj: autor

Kohezní porušení

Tento druh porušení se vyznačuje porušením soudržnosti lepidla. Na následujícím obrázku je patrná vrstva lepidla na obou lepených plochách. Značí se CF.

Obr. 23 znázorňuje schéma kohezního porušení.

Obr. 23 Schéma kohezního porušení

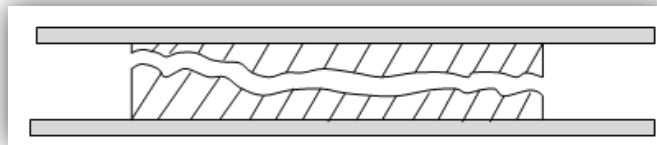


Zdroj: autor

Speciálně kohezní porušení

V případě nepravidelnosti porušení vrstvy lepidla hovoříme o speciálně kohezním porušení (obr. 24). Tento druh je třeba rozvést o procentuální poměr, který stanoví míru zastoupení jednotlivých druhů porušení (např. 20 % CF a 80 % AF). Značí se zkratkou SCF.

Obr. 24 Schéma speciálně kohezního porušení



Zdroj: autor

K interpretaci experimentu je vhodné využít následující statistické funkce: aritmetický průměr, směrodatná odchylka, variační koeficient a variační rozpětí.

Aritmetický průměr

Jedná se o statistickou veličinu, která vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Je definován jako součet všech naměřených hodnot vydělený počtem prvků daného souboru. Většinou se označuje vodorovným pruhem nad názvem proměnné, obvykle \bar{x} .

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \quad (4)$$

kde je: \bar{x} ... hodnota aritmetického průměru

$x_1 + x_2 + \dots + x_n$... hodnoty naměřených prvků

n ... počet prvků

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je v teorii statistiky často používanou mírou rozptylu, označuje kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, pak mají prvky většinou vzájemnou podobnost. Naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Označit ji můžeme σ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (5)$$

kde je: σ ... hodnota směrodatné odchylky
 x_i ... hodnoty jednotlivých prvků
 \bar{x} ... hodnota aritmetického průměru
 n ... počet prvků

Variační koeficient

Variační koeficient je charakteristikou variability rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Je definovaný jako podíl směrodatné odchylky a aritmetického průměru. Značí se v a udává v procentech.

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100 \quad (6)$$

kde je: v ... variační koeficient [%]
 σ ... hodnota směrodatné odchylky
 \bar{x} ... hodnota aritmetického průměru

Variační rozpětí

Definujeme jako statistickou charakteristiku, která vyjadřuje míru variability statistického souboru. Jedná se o rozdíl nejvyšší a nejnižší hodnoty sledovaného souboru. Ukazuje interval, ve kterém se hodnoty prvků pohybují. Značí se R .

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (7)$$

kde je: R ... variační rozpětí
 x_{\max} ... prvek s největší hodnotou
 x_{\min} ... prvek s nejmenší hodnotou

4.7 Vyhodnocení experimentu

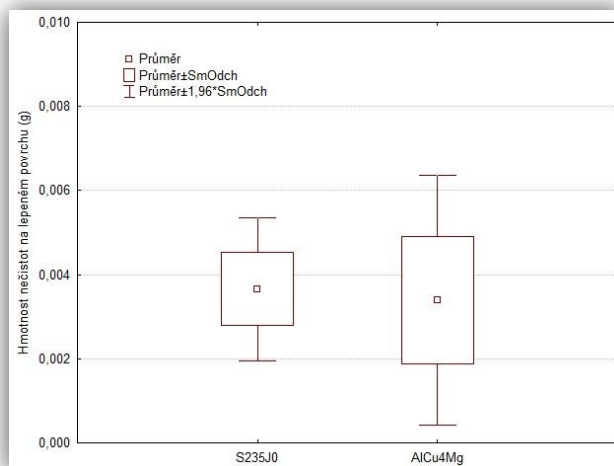
Literární rešerše k danému tématu byla uvedena, na jejím základě byl proveden experiment posouzení vlivu úprav povrchu materiálu na pevnost spoje vzniklého lepením. V jeho průběhu se ukázalo jako přínosné uskutečnit pokus k ověření hmotnosti nečistot na povrchu materiálu. Získaná data budou pomocí zmíněných statistických funkcí, výpočetní techniky, a pro přehlednost i graficky, prezentována. K zasazení technologie lepení do širších souvislostí bylo realizováno dotazníkové šetření. Technologie lepení bude následně porovnána s ostatními technologiemi z ekonomického hlediska.

4.7.1 Ověření hmotnosti nečistot na lepeném povrchu

Lze předpokládat, že nečistoty a poruchy na povrchu lepeného materiálu značně snižují výslednou pevnost lepeného spoje. I malá nerovnost může způsobit nerovnováhu ústící až v defekt spoje. Obdobná je situace u mastnoty. Vliv provedené povrchové úpravy materiálu na pevnost spoje vzniklého lepením bude uvedeno v rámci vyhodnocení experimentu. Níže je vysvětlen pomocný pokus zaměřený na hmotnostní stanovení nečistot na povrchu materiálu.

Za každý z adherendů bylo náhodně vybráno 30 vzorků o rozměrech, které byly využity pro destruktivní zkoušku. Vzorky nebyly mechanicky ani chemicky ošetřeny a jeden po druhém byly zváženy na velmi přesných vahách. Následně došlo k chemickému ošetření - odmaštění celých povrchů vzorků Acetonem P6401. Vážení bylo zopakováno. Hodnoty hmotností dosažené před a po chemické úpravě jsou uvedeny v příloze 4. Z daného pokusu vychází graf 2, kde jsou k materiálům znázorněny hmotnosti nečistot na jejich površích.

Graf 2 Hmotnost nečistot na lepeném povrchu



Zdroj: autor

Průměrná hmotnost nečistot na lepeném povrchu byla u materiálu S235J0 vypočtena 0,00366 g se směrodatnou odchylkou 0,00085 g. Materiál AlCu4Mg vykázal menší zamaštění o hmotnosti 0,00337 g při směrodatné odchylce 0,00149 g.

I když se jedná o malé hmotnostní rozdíly mezi adherendem bez chemické úpravy a po ní, přesto lze předpokládat význam této povrchové úpravy na pevnost spoje. Jak značný ukáží výsledky následujícího bodu.

4.7.2 Vliv úpravy povrchu materiálu na pevnost spoje vzniklého lepením

Experiment byl zaměřen na zjištění vlivu úpravy povrchu materiálu na výslednou pevnost spoje. Byl proveden na materiálech S235J0 a AlCu4Mg za využití lepidel CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a Polyester MTB. Bylo zvoleno šest kombinací úprav, jak bylo zmíněno v tab. 4. Experiment byl realizován dle modifikované normy ČSN EN 1465 a ČSN ISO 10365. Vzniklé lepené spoje byly podrobeny destruktivní zkoušce, k prezentaci dopomohou sloupcové grafy s vyznačenými chybovými úsečkami.

Pevnost spoje byla nejprve posuzována u lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) ve spojení s materiály S235J0 a AlCu4Mg. Výsledky aritmetických průměrů a směrodatných odchylek jednotlivých kombinací povrchových úprav zmiňuje tab. 8.

Tab. 8 Výsledek experimentu u lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)

	pro lepidlo CHS-Epoxy 324, Epoxy 1200	bez úprav	otryskané + odmaštěné	obroušené + odmaštěné	odmaštěné	otryskané	obroušené
S235J0	Art. pr. [MPa]	0,29	15,1	11,39	3,24	14,55	10,21
	Sm. odch. [MPa]	0,52	0,74	0,91	0,3	1,29	0,89
AlCu4Mg	Art. pr. [MPa]	2,59	11,1	6,66	4,14	10,59	9,86
	Sm. odch. [MPa]	1,03	0,88	0,62	0,37	0,91	0,6

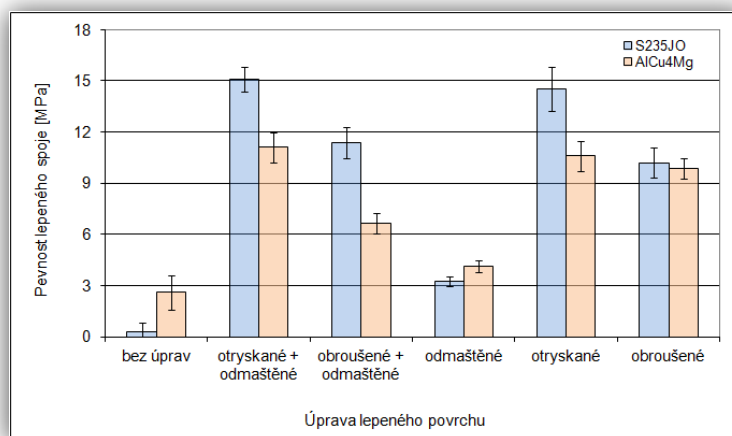
Zdroj: autor

Díky datům z tabulky byl sestaven graf závislosti pevnosti lepeného spoje na úpravě lepeného povrchu, uveden je níže.

Veškeré naměřené hodnoty a statistické funkce jsou uvedeny v příloze 2. Při posuzování výsledků je vhodné okomentovat každé z lepidel zvlášť. Následující informace se týkají materiálu S235J0 spojeného lepidlem CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) - v grafu níže je znázorněn modrými sloupci.

Pevnost lepeného spoje v závislosti na úpravě lepeného povrchu při využití lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a materiálů S235J0 a AlCu4Mg je patrná z grafu 3.

Graf 3 Pevnost lepeného spoje v závislosti na úpravě lepeného povrchu při využití lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a materiálů S235J0 a AlCu4Mg



Zdroj: autor

Z dat v příloze je patrné, že při ponechání lepených spojů bez povrchové úpravy trpí značným rozptylem hodnot dosažených pevností. Většina spojů, sedm z deseti, nebylo dostatečně pevných, spoje destruovaly při manipulaci před samotnou zkouškou. Síla potřebná k destrukci zbylých spojů byla změřena od 80 do 480 N, což odpovídá pevnosti spoje do 1,5 MPa. Tento jev je pochopitelný vzhledem k nerovnoměrnému zamaštění, znečištění povrchu, jež zabraňují vytvořit spoje dostatečných pevností. V takovém případě nedochází k dobré adhezi lepidla k materiálu. Povrch má též malou drsnost z důvodu neprovedení mechanických úprav. Zjištěním lze podložit důležitost realizací úprav před samotným lepením.

Tryskání povrchu abrazivem zvyšuje parametry drsnosti daného povrchu, čímž dochází ke zvětšení účinného povrchu, zlepšení smáčivosti. Tím je dosahováno větších výsledných pevností spoje. Potvrzením je maximální pevnost naměřená při úpravě *otryskané + odmaštěné*. Na grafu č. 3 je viditelná jako druhý sloupec. Průměrná pevnost dosahuje hodnoty 15,1 MPa.

O něco menší průměrné pevnosti dosáhly spoje upravené samotným tryskáním povrchu abrazivem, jedná se o sloupec nazvaný *otryskané*. Hodnota průměru je vypočtena na 14,55 MPa, což je o 0,55 MPa méně, než bylo u předchozí povrchové úpravy. Z výsledků lze vyvodit značný význam tryskání povrchu abrazivem a označit též chemickou úpravu ve spojení s mechanickou za úpravu pomocnou. Rozdíl 0,55 MPa je zanedbatelný.

Důležitost mechanické úpravy povrchu potvrzuje broušení na brusném plátně. Spoje vzniklé broušením ve spojení s chemickým ošetřením dosahují průměrných pevností 11,39 MPa. Bez chemické úpravy pak 10,21 MPa. Opět se jedná o malý rozdíl lehce nad 1 MPa. Situace je znázorněna sloupci nazvanými *obroušené + odmaštěné* a *obroušené*. Rozdíly mezi tryskáním povrchu abrazivem a broušením na brusném plátně je 3,71 MPa za současného odmaštění a 4,34 MPa bez chemické úpravy ve prospěch tryskání povrchu abrazivem.

Ošetřit povrch materiálu jen chemickou úpravou znamená vytvořit spoje s nízkou pevností. V případě lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a materiálu S235J0 se jedná o spoje s průměrnou pevností 3,24 MPa. Pokud dáme do srovnání spoje ošetřené jen chemicky a ty, jež jsou *otryskané + odmaštěné*, pak prvně jmenované dosáhnou jen 21,5% pevnosti oproti spojům *otryskaným + odmaštěným*.

Při využití stejného lepidla byly výsledky pevností u druhého z materiálů AlCu4Mg povětšinou nižší a ve většině kopírují pořadí úprav dle S235J0. Výsledné hodnoty jsou znázorněny na grafu 3 sloupci světle oranžové barvy. Nejméně pevné spoje vznikly bez působení mechanické, chemické úpravy. Oproti předchozímu materiálu bylo možné všechny spoje podrobit destruktivní zkoušce. Výsledkem je velká směrodatná odchylka měření - 39,8 %. Vysvětlit ji lze nerovnoměrným zamaštěním a přítomností nečistot, jež brání tvorbě kvalitního spoje. Nejvyšších hodnot dosahuje pevnost spojů u materiálů *otryskané + odmaštěné*, konkrétně 11,1 MPa. Spoje s otryskanými povrchy dosáhly v průměru na hodnoty 10,59 MPa. Rozdíl v pevnostech těchto úprav je tak téměř totožný s rozdílem pevností u předchozího materiálu. Odlišnost lze najít u spojů s broušenými povrchy, za současné chemické úpravy, které dosáhly pevnosti 6,66 MPa. Vyšší hodnota pevnosti 9,86 MPa byla naměřena u spojů s povrchem broušeným na brusném plátně.

Opakuje se situace, kdy spoje s odmaštěným povrchem dosáhly nejnižších průměrných pevností. V tomto případě 4,14 MPa. Dovodit důležitost chemické úpravy povrchu lze rozdílem mezi pevností spoje s odmaštěným povrchem a pevností spoje s ponechaným povrchem bez úprav. V případě materiálu AlCu4Mg je rozdíl pevnosti spojů necelý jeden MPa.

Destruktivní zkouška, realizovaná na vzorcích tvořených lepidlem CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200), lze shrnout do následujících bodů:

- u spojů bez povrchové úpravy materiálu byla jen obtížně měřitelná pevnost. V některých případech nedosahovaly ani manipulační pevnosti,
- vyšších pevností dosahují spoje materiálu S235J0 oproti AlCu4Mg, v průměru je rozdíl hodnot 12,14 MPa. Výjimkou je chemická úprava povrchu,
- nejvyšších pevností bylo dosaženo při tryskání povrchu abrazivem ve spojení s odmaštěním povrchu. Rozdíl k pouhému tryskání povrchu abrazivem je však zanedbatelný,
- význam mechanické úpravy povrchu podtrhuje broušení na brusném plátně, které dosahuje vyšších hodnot pevností spoje než spoje ošetřené chemickou úpravou,
- spoje s provedenou chemickou úpravou povrchu materiálu dosáhly cca pětinové pevnosti ve srovnání se spoji s povrchovou úpravou materiálu tryskání povrchu abrazivem a následném odmaštění.

Následně byla posuzována pevnost spoje u lepidla Polyester MTB ve spojení s materiály S235J0 a AlCu4Mg. Výsledky aritmetických průměrů a směrodatných odchylek jednotlivých kombinací povrchových úprav zmiňuje tab. 9.

Tab. 9 Výsledek experimentu u lepidla Polyester MTB

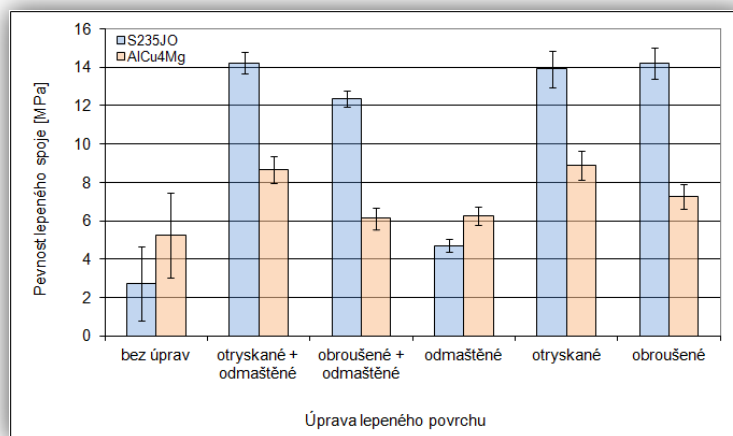
	pro lepidlo Polyester MTB	bez úprav	otryskané + odmaštěné	obroušené + odmaštěné	odmaštěné	otryskané	obroušené
S235J0	Art. pr. [MPa]	2,74	14,22	12,36	4,71	13,91	14,22
	Sm. odch. [MPa]	1,92	0,57	0,41	0,34	0,95	0,82
AlCu4Mg	Art. pr. [MPa]	5,27	8,68	6,12	6,27	8,89	7,27
	Sm. odch. [MPa]	2,21	0,69	0,56	0,46	0,74	0,62

Zdroj: autor

Veškeré hodnoty a výsledky statistických funkcí jsou uvedeny v příloze 2. Naměřené síly potřebné k destrukci spoje jsou u materiálů bez povrchové úpravy velice rozdílné. Směrodatná odchylka je u obou využitých materiálů za povolenou hranicí. Následující informace se týkají materiálu S235J0 spojeného lepidlem Polyester MTB, v grafu níže je znázorněn modrými sloupci.

Díky datům z tabulky 9 byl sestaven graf závislosti pevnosti lepeného spoje na úpravě lepeného povrchu, uveden je pod č. 4.

Graf 4 Pevnost lepeného spoje v závislosti na úpravě lepeného povrchu při využití lepidla Polyester MTB a materiálů S235J0 a AlCu4Mg



Zdroj: autor

Zajímavá situace vznikla u úprav povrchů *otryskané + odmaštěné* a úpravy *obroušené*. Obě dosáhly stejné pevnosti 14,22 MPa. Samotnému tryskání povrchu bylo naměřeno 13,91 MPa, což znamená, že je v průměru nižší, než broušení na brusném plátně. Tento stav lze přičíst méně kvalitnímu provedení tryskání v tryskací komoře a naopak řádnému ošetření povrchu broušením. Vzhledem k tomu, že i u předchozího lepidla byl rozdíl u úprav *otryskané* a *obroušené* minimální, pak lze dovodit vliv jednotek MPa na kvalitu provedení jednotlivých úprav povrchu materiálu.

Spoje s úpravou *obroušené + odmaštěné* vykazovaly pevnost 12,36 MPa. S výrazným odstupem se potvrzuje dosažení menších pevností spoje se samotným *odmaštěním* povrchu. V případě lepidlem Polyester MTB slepených materiálů S235J0 se jedná o pevnost 4,71 MPa. I pro tuto kombinaci byl naměřen malý rozdíl v pevnostech spojů u chemické úpravy oproti lepení materiálů bez úpravy. Jedná o necelé 2 MPa.

Spoje materiálu S235J0 opakovaně dosáhly ve většině případů vyšších pevností, jedná se téměř o dvojnásobné hodnoty ve srovnání s AlCu4Mg. Průměrný rozdíl pevností je při sečtení všech úprav 22,19 MPa - prvně zmíněný materiál dosahuje o 59,3 % vyšších pevností spoje.

Výsledné hodnoty druhého materiálu AlCu4Mg jsou znázorněny na grafu 4 sloupci světle oranžové barvy. Nejvyšších pevností dosahují spoje s úpravou *otryskané* a *otryskané + odmaštěné* (8,89 respektive 8,68 MPa). Následují spoje s mechanickou úpravou povrchu broušením, jejichž průměrná hodnota pevnosti spoje je 7,27 MPa. Podobných hodnot překvapivě dosahují spoje odmaštěné s 6,27 MPa. Až poté přichází ty *obroušené + odmaštěné* s 6,12 MPa.

Destruktivní zkouška, realizovaná na vzorcích slepených lepidlem Polyester MTB, lze shrnout do následujících bodů:

- hodnoty spojů bez povrchové úpravy dosáhly velké směrodatné odchylky měření,
- vyšších pevností dosahují vzorky materiálu S235J0 oproti AlCu4Mg a to téměř dvojnásobně. Výjimkou je chemická úprava povrchu,
- nejvyšších pevností bylo dosaženo při tryskání povrchu abrazivem ve spojení s odmaštěním povrchu a též při broušení povrchu na brusném plátně,
- hodnoty pevností spojů s broušenými povrchy za současného odmaštění jsou srovnatelné s povrchy jen odmaštěnými. Tím se potvrzuje nutnost správné realizace povrchových úprav,
- materiál AlCu4Mg vykázal jen malé rozdíly pevností u spojů s různými typy úprav povrchu materiálu.

Dané destruktivní zkoušky naznačují určité pravidelnosti. U lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) jsou patrné malé pevnosti u spojů z materiálů bez povrchové úpravy. V případě S235J0 se jedná pouze o cca 2% pevnost oproti povrchové úpravě tryskání povrchu abrazivem a současného odmaštění. Materiál AlCu4Mg má ve stejném srovnání hodnotu cca 23 %. Nejvyšších hodnot pevností dosahují spoje právě s povrchovou úpravou tryskání povrchu abrazivem, následuje broušení na brusném plátně a nejnižších hodnot dosáhly spoje ošetřené jen chemicky. Spojení mechanické a chemické úpravy povrchu se jeví jako diskutabilní, pevnosti takto upravených spojů se zvýšily jen nepatrně. Materiál S235J0 dosáhl vyšších hodnot pevností spojů, až na výjimku chemické úpravy povrchu.

Lepidlo Polyester MTB potvrdilo vyšší pevnosti u spojů realizovaných materiálem S235J0, vyjma úpravy odmaštění povrchu. Spoje bez povrchové úpravy dosáhly sice manipulační pevnosti, ale síly při trhací zkoušce trpěly velkými rozdíly, což se promítlo na směrodatné odchylce. Oba z materiálů dosáhly podobné výsledky v pevnostech spojů,

u S235J0 byly spoje u úpravy *obroušené* o málo pevnější než ty s úpravou *otryskané*. V tomto případě lze dovést důležitost kvality provádění úprav povrchů materiálů. Spoj s kvalitně provedenou úpravou s obvykle nižšími pevnostmi může dosáhnout nakonec vyšší pevnosti, než spoj běžně dosahující vyšších pevností. To za podmínky méně kvalitního provedení úpravy povrchu druhého materiálu.

4.7.3 Určení drsnosti povrchu

Drsnost je souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě. Do drsnosti se nepočítají vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (risky, trhlinky, důlky apod.).

Podle převládajícího směru nerovností se drsnost posuzuje v příčném nebo podélném směru. Parametry drsností se vyhodnocují na skutečných profilech, které se získávají jako průsečnice kolmé popř. šikmé roviny se skutečným povrchem [53].

Pro zjištění drsnosti vzorků byl použit profilometr Mitutoyo SurfTest 301, který ke každému vzorku zaznamenal následující hodnoty:

- Ra – jedná se o průměrnou aritmetickou úchylku profilu [μm],
- Rt – je celkovou výškou profilu; součet nejvyšší výšky a nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky [μm],
- Rz – uvádí největší výška profilu drsnosti v rozsahu základní délky [μm].

Mezní vlnová délka CUT OFF byla nastavena na 0,8 mm.

Kolář ve své práci uvádí, že s rostoucími hodnotami parametru drsnosti roste i celková pevnost lepeného spoje. U nerezové oceli a oceli se pevnost zvyšuje v závislosti na parametrech povrchu více, než u duralu [12]. Není cílem práce realizovat pokus na ověření uvedeného tvrzení, lze na něj nahlížet z jiné strany. Pokud s rostoucími parametry drsnosti roste i celková pevnost lepeného spoje, pak musí zákonitě platit, že vyšší parametry drsnosti budou zastoupeny u úprav materiálů dosahujících vyšších pevností. Z výsledků předchozího bodu je zřejmé, že nejvyšších pevností dosahují spoje materiálu upravené tryskáním povrchu abrazivem, následováno broušením na brusném plátně. Spoje z kategorie s úpravou dosahující nejmenších pevností jsou ošetřeny odmaštěním. Na profilometru byly změřeny drsnosti povrchů u takto upravených materiálů.

Tab. 10 prezentuje výsledky materiálu S235J0 u povrchových úprav *otryskané + odmaštěné*, *obroušené + odmaštěné* a *odmaštěné*. Z velikostí průměrných parametrů drsností je zřejmé, že nejvyšších hodnot dosahuje kombinace *otryskané + odmaštěné*, nejnižších naopak samotná úprava *odmaštěné*.

Tab. 10 Hodnoty parametrů drsnosti u materiálu S235J0

	otryskané + odmaštěné				obroušené + odmaštěné				odmaštěné		
	Ra [μm]	Rt [μm]	Rz [μm]		Ra [μm]	Rt [μm]	Rz [μm]		Ra [μm]	Rt [μm]	Rz [μm]
průměr	2,03	18,10	13,41	průměr	1,06	12,17	7,52	průměr	0,83	5,96	4,44
sm. odch.	0,16	3,43	1,21	sm. odch.	0,17	4,04	1,07	sm. odch.	0,05	0,60	0,36

Zdroj: autor

Stejná situace panuje u druhého z materiálů - AlCu4Mg. I zde jsou parametry drsnosti seřazeny sestupně dle povrchových úprav od *otryskané + odmaštěné* po úpravu *odmaštěné*. Výsledky jsou patrné z tab. 11. Tvrzení Koláře tak lze jednoznačně potvrdit.

Tab. 11 Hodnoty parametrů drsnosti u materiálu AlCu4Mg

	otryskané + odmaštěné				obroušené + odmaštěné				odmaštěné		
	Ra [μm]	Rt [μm]	Rz [μm]		Ra [μm]	Rt [μm]	Rz [μm]		Ra [μm]	Rt [μm]	Rz [μm]
průměr	2,29	22,00	15,39	průměr	1,51	13,90	10,25	průměr	0,58	6,10	3,69
sm. odch.	0,17	4,06	1,59	sm. odch.	0,25	2,51	1,64	sm. odch.	0,08	0,87	0,59

Zdroj: autor

4.8 Dotazníkové šetření

Laický názor na technologii lepení lze vysledovat realizovaným dotazníkovým šetřením. Pro snadnější šíření a zpracování výsledků byl dotazník umístěn na internetovou stránku pomocí aplikace Google drive na adresu:

<https://docs.google.com/forms/d/1LDBvxmzeVgjfLhxxqkz8ywQfXiRUavmJHuxt2FiHN2U/viewform>

Dotazník byl dostupný od 17.2.2013 do 2.3.2013, tedy čtrnáct dní. Jeho podoba spolu s reakcemi dotazovaných jsou uvedeny v příloze 5. Bylo odevzdáno celkem 115 odpovědí. Ne všechny záznamy je možné zařadit do výsledků – dva bylo nutné z posuzování vyloučit. Jeden byl zcela nevyplněný, u druhého je patrná duplicita způsobená z největší pravděpodobností opakovaným vyplněním. Ne zřídka kdy se opakovala situace s neúplnou odpovědí. To lze

přičíst nepochopení otázky nebo nechutí na danou otázku odpovídat. Neúplné odpovědi jsou k posouzení ponechány, protože můžou poskytnout zajímavé závěry. Do dalšího zpracování je zařazeno 113 odpovědí.

Sociologická skladba dotazovaných je následující:

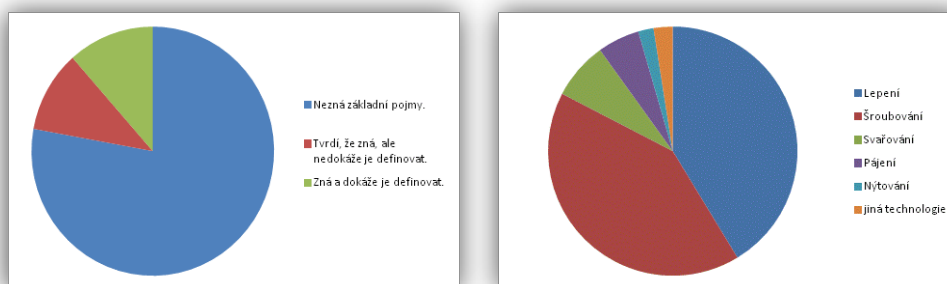
- 59 žen oproti 54 mužům,
- 2 osoby s věkem do 18 let, 34 osob v rozmezí 19 až 26 let, 62 osob v rozmezí 27 až 50 let, 14 osob v rozmezí 51 až 75 let a 1 osoba ve věku nad 75 let,
- 1 osoba se základním vzděláním, 30 se středním vzděláním, 14 s vyšším odborným vzděláním a 68 s vysokoškolským vzděláním.

Ze skladby lze usoudit, že statisticky se dotazníku nejvíce účastnila žena ve věku 27 až 50 let, která má vysokoškolské vzdělání.

Z otázky, zda respondenti znají základní pojmy *adheze* a *koheze*, je patrné malé povědomí o základech vzniku lepeného spoje. Zápornou odpověď určilo 88 osob, kladnou, avšak bez schopnosti pojmy vysvětlit, 12 osob. Jen 13 osob dokázalo pojmy správně definovat - to je 11,5 % ze všech oslovených. Daná otázka je jedním z ukazatelů problematické realizace lepených spojů v praxi mezi laickou veřejností. Zajímavé budou též otázky na provádění mechanické a chemické úpravy povrchu materiálu před samotným lepením. Až pak bude možné konstatovat, zda je přípravná fáze lepení zanedbávána.

Dotaz na nejběžněji využívanou technologii spojování materiálů vychází nejlépe svorně pro technologie lepení a šroubování, v obou případech ji zmínilo 83 respondentů. Svařování je známé pro 15 respondentů, pájení využívá 11 a nýtování 4. Jinou technologii uvedlo 5 respondentů. Znázornění znalosti základních pojmů a typů využívaných technologií spojování materiálů je na grafu 5.

Graf 5 Dotazníkové šetření – znalost základních pojmů, využívané technologie spojování materiálů

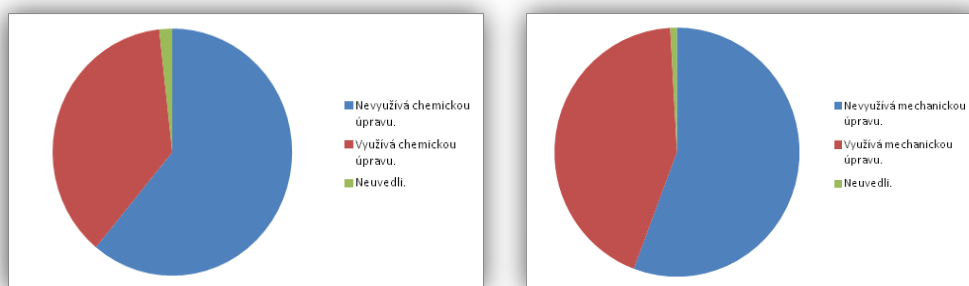


Zdroj: autor

Tento bod vystihuje důležitost technologie lepení, potvrzuje domněnku o rovnoprávnosti této možnosti spojování materiálů ve srovnání s ostatními technologiemi. Je pochopitelné, že se osoby z dotazníkového šetření zabývají v takové míře lepením, jedná se o jednotlivce profesí mimo průmysl.

Další dvě otázky se okrajově dotýkají zadání této práce. Respondenti byli dotázáni, zda před lepením využívají chemickou nebo mechanickou úpravu povrchu materiálu. S chemickou úpravou počítá 42 osob, 69 ji nerealizuje a 2 osoby nechali otázku bez odpovědi. Mechanická úprava je u respondentů o málo častější – 49 z nich ji využívá, 63 nikoli a 1 se zdržel odpovědi. S přípravnou fází počítá méně než polovina dotazovaných, ať jde o 37,2 % u chemické úpravy, tak 43,4 % u té mechanické. Předpoklad byl však ještě nižší, očekávané hodnoty využívání povrchových úprav byly cca třetinové. Není patrné, zda byla chyba v předpokladu, nebo respondenti nesprávně pochopili otázky, odpovídali lživě. Stále je však nutné potvrdit nezbytnost prováděných úprav. Pokud budou realizovány u přibližně každého druhého spoje, pak nedojde k dostatečné pevnosti v celém souboru. Křehké spoje bude nutné nahrazovat. Ve spojení s malým povědomím o vzniku lepeného spoje, zastoupené otázkou na pojmy *adheze* a *koheze*, jsou patrné limitující faktory tvorby kvalitního lepeného spoje. Četnost výskytu chemické a mechanické úpravy povrchu materiálu před lepením jsou znázorněny na grafu 6.

Graf 6 Dotazníkové šetření – četnost výskytu chemické a mechanické úpravy povrchu

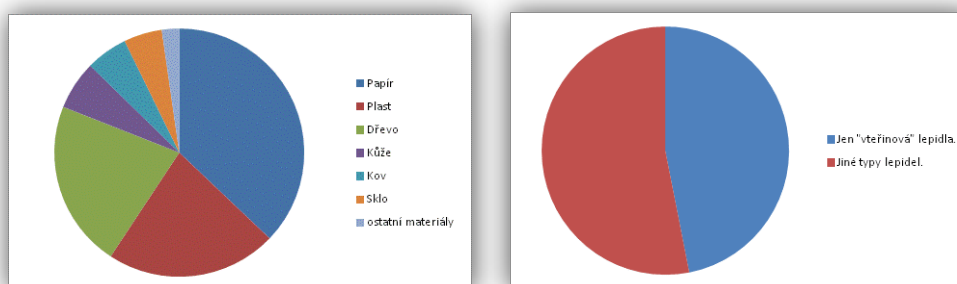


Zdroj: autor

Respondenti byli požádáni o označení nejčastěji lepených materiálů. S velkým odstupem se nejběžněji lepeným stal papír, označilo ho 82 osob. Následován plastem se 49 osobami, dále dřevem se 48. S dalším odstupem poté kůže se 14 osobami a kov se 12, sklo vzpomnělo 11 osob. Jiný, než výše uvedený materiál, zmínilo 5 osob. Papír je všudypřítomná surovina, se kterou se laická veřejnost setkává často.

Většina dotazovaných se za svůj život setkala s rozličnými druhy lepidel. V odpovědích uváděli jak typy lepidel, tak jejich názvy, možnosti využití. Jmenována byla epoxidová, disperzní, chemopren, Herkules, dvousložková, lepidlo na papír, klovatina, tekuté hřebíky. V rámci šetření byla položena otázka na prokázání důležitosti tzv. „vteřinových“ lepidel vůči ostatním. Prvně jmenovaná lepidla používá 53 osob, ostatní pak 60 osob. Výsledky lze nazvat překvapivými, byl očekáván vyšší poměr právě pro „vteřinová“ lepidla. Z odpovědí vyplývá, že si lidé rozmyslí realizaci spoje, přemýšlí nad nejvhodnějším lepidlem. Graf 7 znázorňuje zastoupení materiálů, lepidel v odpovědích.

Graf 7 Dotazníkové šetření – nejběžněji využívané materiály, lepidla k lepení



Zdroj: autor

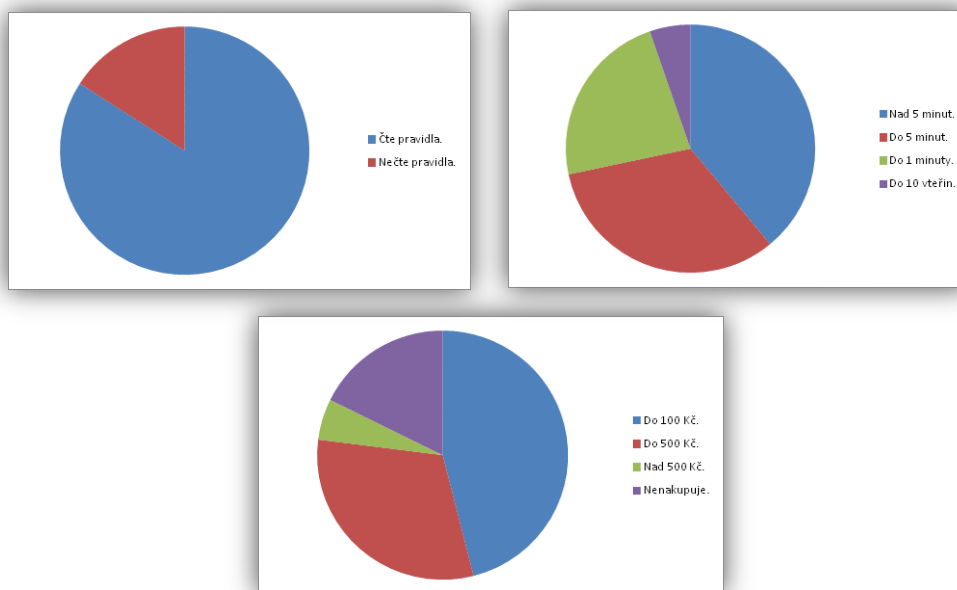
Respondenti byli též dotázáni na dodržování pravidel uvedených na obale lepidla. Vyjádřili se pro dodržování pravidel, 95 osob potvrdilo jejich plnění. Zbýlých 18 reagovalo zamítavě. Jednání v souladu s pravidly tak deklaruje 84,1 % dotázaných. Odůvodnění těch, co je nedodržují, jsou rozličná od časové náročnosti, jednoduchosti tvorby spoje až po lepení cítem.

Dostatečná pevnost, vzniká dle dotázaných, nejčastěji v časovém úseku nad pět minut, uveden byl ve 44 případech. Interval mezi jednou a pátou minutou byl zmíněn 37 krát. Dostatečná pevnost spoje je pro 26 osob od deseti sekund do jedné minuty. Pod deset sekund se zdá spoj dostatečně pevný pro 6 osob. Tento výsledek je očekávatelný. Vzhledem k tomu, že většina dotazovaných zmínila jiné než „vteřinové“ lepidlo, pak je patrné, že jsou s jejich realizací seznámeni. Též bylo deklarováno dodržování pravidel z obalu lepidla.

Finanční hledisko nabídla poslední otázka. Jejím obsahem bylo zjistit množství finančních prostředků, které dotazovaní vydají za lepidla v rámci kalendářního roku. Padesát dva jich uvedlo do 100 Kč, třicet pět od 100 Kč do 500 Kč a šest osob kupuje lepidla za více než 500 Kč za rok. Zbýlých dvacet je nekupuje vůbec. Mezi respondenty je technologie lepení

často využívanou možností spojování materiálů. Současně ve většině využívají rozdílná lepidla. Nyní je patrné, že nejvíce z nich nakupuje lepidla do 100 Kč za rok. Lze tedy poznamenat, že ekonomická efektivita lepení je mezi laickou veřejností na vysoké úrovni. Graficky jsou výše popsané body znázorněny níže na č. 8.

Graf 8 Dotazníkové šetření – dodržování pravidel výrobce, předpokládaná doba dostatečné pevnosti a množství financí vydané za lepidla a rok



Zdroj: autor

4.9 Ekonomické zhodnocení

Jednou ze značných výhod technologie lepení je finanční hledisko – jedná se o levný způsob spojování materiálů. Často též dochází k časové úspoře, úspoře mezd pracovníků, což náklady vynaložené na daný spoj ještě snižuje. Samotné pracoviště nemusí obsahovat, udržovat finančně nákladné sestavy strojů, pro základní účely stačí investovat do materiálu a lepidla.

Zhodnocení nákladů, bez stanovení konkrétního zadání, je složité. Do srovnání vstupují proměnné jako náklady na pořízení strojů, odpisy, náklady na renovace a údržbu, náklady na energie, náklady na personál atd. Ne vždy jsou všechny náklady pro potřeby lepení využitelné, často lze počítat jen s náklady na lepidlo, náklady na materiál a náklady na zaměstnance. Až při náročnějších aplikacích se přidávají náklady na samotné stroje, jako např. tryskáč komoru, a náklady na technologie úpravy materiálu. Z tohoto důvodu je

technologie lepení obtížně ekonomicky srovnatelná s jinými technologiemi spojování materiálů (např. šroubování, pájení, svařování). Zhodnocení pro účely této práce se tak zaměří na postup v ní realizovaný. Uvedené ocenění vychází z běžných cen pro koncového zákazníka beze slev. Jedná se o přibližné hodnoty.

V samotném experimentu byla technologie lepení rozdělena na dvě části – přípravou a realizaci. Stejně lze přemýšlet nad náklady. Do přípravné části je nutné zahrnout veškeré náklady spojené s úpravou materiálu – jedná se o náklady na energii tryskové komory (či jiné jednotky na mechanickou úpravu povrchu), abrazivo do tryskové komory, brusný papír. Pro potřeby chemické úpravy povrchu bylo nutné pořídit samotný přípravek. Část realizace zohledňuje ceny za použítá lepidla a materiály.

V průběhu úpravy tryskání povrchu abrazivem byly doplněny cca 2 kg abraziva v ceně 104 Kč. Po dobu práce s tryskové komorou v ní realizovali své aktivity další osoby, přesnější kalkulace je tak obtížná. Brusná plátna byla využita následovně - co série s mechanickou úpravou broušení, to jedno brusné plátno. Celkem se jednalo o 8 brusných pláten v ceně 101,6 Kč. Chemické ošetření povrchu s využitím přípravku Aceton P 6401 znamenalo náklady 17,9 Kč za 150 ml přípravku. K vytvoření všech lepených spojů bylo spotřebováno zhruba 400 g lepidel. V součtu se jednalo o částku 133 Kč. Po sečtení všech nákladů vyjde 356,50 Kč. Přepočteme-li tyto náklady na jeden lepený spoj, pak se dostaneme k hodnotě 1,02 Kč. Energie nutná pro provoz tryskové komory a finanční ocenění materiálu nebyly z důvodu problémového přepočtení nákladů jen na tuto práci zohledněny. Tab. 12 uvádí situaci přehledně s rozdělením na náklady za balení a náklady za experiment.

Tab. 12 Uvedení nákladů za experiment

Náklady na přípravou fázi	Náklady na balení	Náklady na experiment
Abrazivo – korund o zrnitosti 80	52 Kč/kg	104 Kč/2 kg
Brusné plátno o zrnitosti 120	12,7 Kč/kus	101,6 Kč/8 ks
Aceton P 6401	83,7 Kč/700ml	17,9 Kč/150 ml
Náklady na realizaci	Náklady na balení	Náklady na experiment
Lepidlo CHS-EPOXY 324	104 Kč/250 g	133 Kč/400 g
Lepidlo Polyester MTB	127 Kč/510 g	
celkem		356,50 Kč

Zdroj: autor

Ostatní technologie spojování materiálů lze označit za finančně nákladnější. Mezi nejdražší patří technologie svařování. Náklady na tvorbu svarového spoje lze rozdělit na mzdové a režijní náklady, náklady na ochranné plyny, ochranné pomůcky a náklady na

přídavný svařovací materiál. Nutné je též počítat s náklady ve formě pořízení svařovacích souprav, náklady na opravy a renovace. Nezanedbatelnou položkou je cena za energie.

Technologie šroubování, obdobně nýtování, nabízí možnost vytvořit na rozdíl od ostatních rozebíratelný spoj. To může v důsledku být finančně velice prospěšné. Úsporu lze najít též při renovaci a údržbě samotných šroubů, nýtů. Vzhledem k jejich malé pořizovací hodnotě se nerenovují, ale rovnou vyměňují za nové. Často lze ušetřit na nákladech za přípravu povrchu. Naopak významné prostředky se musí vynaložit při přípravě děr pro šrouby, nýty. To s sebou nese náklady na výměnu vrtáků. Vzhledem k tomu, že oproti lepení jsou obě zmíněné technologie časově náročnější na realizaci spoje, pak lze hovořit, z hlediska efektivity práce, o finančně méně výhodných technologiích spojování materiálů.

Z výše uvedených bodů lze definovat lepení jako ekonomicky výhodnou technologii spojování materiálů. S tím lze souhlasit s dovětkem, že ne vždy je tato technologie optimální pro použití. Zadání může obsahovat takové vlastnosti spoje, které lepení nedokáže realizovat. Existují též případy, kde se na ekonomické zhodnocení nehledí tak striktně, a to zdraví a životní prostředí.

5 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na seznámení s problematikou technologie lepení ve vztahu k interakci rozhraní lepený materiál / lepidlo. Pro tento účel došlo ke shromáždění literárních zdrojů, základních principů technologie lepení a výsledků experimentů z oblasti jak v rámci České republiky, tak ze zahraničí. Rešerše nabídla náhled do této technologie spojování materiálů. Vymezila základní pojmy, jejichž (ne)znalost může výslednou kvalitu spoje ovlivnit a dále pojmenovala výhody a limitující faktory lepení. Následné body rešerše ukázaly na nejčastěji realizované úpravy povrchu před samotným lepením a popsaly faktory ovlivňující pevnost vzniklého spoje. Vše v souladu se zadáním práce tak, aby bylo pro následný experiment známo dostatek relevantních informací.

Navazující experimentální část vycházela jak ze znalostí nabytých v rešeršní části, tak z informací od garanta práce, norem, pravidel a technologií práce výrobců. Byly popsány postupy vymezení zkušebních vzorků, jejich získání a úpravy povrchů před samotným lepením. Následná tvorba spojů a jejich destruktivní zkoušky dopomohly k datům pro vyhodnocení vlivu úprav povrchu lepeného materiálu na pevnost spoje. Vzhledem ke komplikovanému měření spojů materiálu bez povrchové úpravy bylo zařazeno zjištění hmotnosti nečistot na povrchu. Širší souvislosti a potvrzení vztahu pevnosti spoje na drsnosti povrchu materiálu bylo též zkoumáno. Zajímavé výsledky poskytly dotazníkové šetření mezi laickou veřejností a zasazení technologie lepení do ekonomického hlediska ve srovnání s ostatními technologiemi.

Spojování materiálů lepením je z dnešního pohledu dynamicky se rozvíjející oblastí. Autor tímto navazuje na bakalářskou práci s názvem Teorie vzniku lepeného spoje, kde v teoretické rovině zkoumal faktory ovlivňující mechanické vlastnosti lepeného spoje. Zúžitkovat dané znalosti, zkušenosti a dále je rozvinout v této práci bylo logickým vyústěním. Je patrné, že tato technologie oplývá značnými výhodami, které jsou ve velké míře potlačeny nesprávným technologickým postupem, lidskými chybami. Přínosem práce je tak detailní náhled do problematiky technologie lepení, seznámení se s faktory, jejichž dodržení vede ke tvorbě spojů vysokých pevností a pochopení zapojení lepení jak do běžného života, tak jeho využití v průmyslu. Přínosem práce lze též nazvat samotné výsledky experimentu, jež potvrdily nutnost znalosti technologie, zamyšlení se nad realizací, správného provedení úprav povrchu materiálu. Neméně důležitým přínosem je realizované dotazníkové šetření, jež dává do souvislostí společností chápána pravidla a povinnosti při tvorbě pevného spoje s výsledky

experimentální části. Práce tak může být inspirací a pomocníkem na cestě realizace spojů vyšších pevností.

Vzhledem k detailnímu rozepsání výsledků výše je nyní prostor pro krátké shrnutí. Experiment zaměřený na určení vlivu úpravy povrchu materiálu na pevnosti spoje vzniklého lepením ukázal na rozdílné pevnosti spojů realizovaných různými materiály a lepidly. Obecně byl dokázán vztah mezi drsností povrchu materiálu a pevností lepeného spoje - se zvyšující se drsností se zvyšuje pevnost. Velmi malých pevností dosáhly spoje tvořené materiály bez povrchové úpravy. Nebylo výjimkou, že takový spoj nedosáhl ani na manipulační pevnost. Pro tvorbu kvalitních spojů se osvědčila mechanická úprava povrchu, nejúčinnější se ukázala úprava tryskání povrchu abrazivem. Chemická úprava povrchu hrála jen podpůrnou roli ve vztahu s mechanickou. Pokud byla realizována samostatně, pak spoje dosáhly jen malých pevností.

Nejen drsnost povrchu, ale též mastnota a znečištění můžou kvalitu spoje ovlivnit. Uskutečněný pokus prokázal rozdíl mezi neošetřeným a ošetřeným povrchem v řádech tisícín gramů. Ve spojení s výše napsaným o chemické úpravě povrchu materiálu lze v běžných podmínkách konstatovat malou míru vlivu na pevnost spoje.

Položené otázky dotazníkového šetření osvětlily základní nešvary technologie lepení mezi laickou veřejností. Ta je málo obeznámena se základními principy vzniku spoje. Ač považuje technologii lepení za jednu z nejvyužívanějších a deklaruje vysoký zájem o pravidla a doporučení, i tak využívá přípravnou fázi, mechanickou či chemickou úpravu povrchu, jen přibližně polovina osob. Naopak nejen z dotazníku je patrná ekonomická výhoda oproti jiným technologiím spojování materiálů.

V úvodu bylo konstatováno, že technologie lepení je z pohledu četnosti vyhledávání na internetu nejméně známou technologií. S potěšením lze konstatovat, že za dobu práce na experimentu se počet relevantních odkazů slova „lepení“ zvýšil o cca půl milionu.

6 Seznam použité literatury

- [1] POKORNÝ, J.: *Lepení a tmelení v dílně i domácnosti*. Praha, Grada Publishing 2000, 108 s. ISBN 80-7169-857-1
- [2] LOCTITE EUROPEAN GROUP: *Worldwide design handbook*. München, Loctite European Group 1998, 452 s.
- [3] MÜLLER, M.: *Lepení kovových a nekovových materiálů*. Praha, 2006. 123 s. Dizertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze
- [4] KOLNEROVÁ, M.: *Technologie lepení v automobilovém průmyslu* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
- [5] COGNARD, P.: *Adhesives and sealants: general knowledge, application techniques, new curing techniques*. Oxford, Elsevier 2006, 487 s. ISBN 0-080-44708-2
- [6] KOVAČIČ, L.: *Lepenie kovov a plastov*. Bratislava, Alfa 1984, 398 s.
- [7] EISNER, K., et.al.: *Příručka lepení dřeva: pomůcka pro všechny typy dřevařských škol*. Praha, SNTL 1966, 287 s.
- [8] OSTEN, M.: *Práce s lepidly a tmely*. Praha, Grada Publishing 1996, 136 s. ISBN 80-7169-338-3
- [9] LENFELD, P.: *Technologie II (tváření kovů, zpracování plastů)* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12-doplnoke%20technologie/18-smacivost%20lepidel.jpg
- [10] PETERKA, J.: *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. Praha, SNTL 1980, 792 s.
- [11] BERAN, R.: *Základy teorie lepení*. Praha, Lear, a.s. 2005, 16 s.
- [12] KOLÁŘ, V.: *Výzkum integrity povrchu lepených spoju*. Praha, 2011. 133 s. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze
- [13] DCH – Sincolor, a.s.: *Technicko-aplikační list lepidla POLYESTER MTB* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: <http://www.sincolor.cz/Naterove-hmoty/Laminace-pryskyrice/POLYESTEROVE-pryskyrice/Polyester-MTB-souprava-510-g.html>
- [14] DCH – Sincolor, a.s.: *Technicko-aplikační list lepidla CHS-Epoxy 324/Epoxy 1200* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: <http://www.sincolor.cz/Naterove-hmoty/Laminace-pryskyrice/EPOXIDOVE-pryskyrice/CHS-EPOXY-324-Epoxy-1200-souprava-250-g.html>
- [15] BROŽEK, M.: *Technologické vlastnosti sekundových lepidel* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: <http://josef.posta.sweb.cz/KONF/Brozek.doc>

- [16] KOLÁŘ, V.: *Teoretická východiska lepených spojů*. Praha, 2008. 34 s. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze
- [17] COSTA MATTOS H., SAMPAIO, E., MONTEIRO, A.: Static failure analysis of adhesive single lapjoints. *International Journal Of Adhesion & Adhesives*, 2011, vol. 31, no. 6, p. 446 – 454
- [18] MÜLLER, M.: Vliv tloušťky lepené vrstvy na pevnost lepených spojů. *Tématický magazín*, 2003, vol. 5, p. 24
- [19] BARVY A LAKY TELURIA, s.r.o.: *Bezpečnostní list výrobku Aceton P 6401* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: <http://www.bal.cz/media/files/981513dc4f7ffa6f930aaf306139c16/bezpecnostni-listy/bl%20p6401%2030-05-2012.doc>
- [20] ŠTEFAN, P.: *Faktory ovlivňující pevnost lepených spojů*. Praha, 2008. 32 s. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze
- [21] MÜLLER, M., BROŽEK, M.: Technologie lepení – vliv expirační doby lepidel na pevnost lepených spojů. *Strojírenská technologie*, 2005, vol. 10, no. 3, p. 10 - 16.
- [22] KŘÍŽ, R., VÁVRA, P.: *Strojírenská příčka: svazek 5*. Praha, Scientia 1994, 241 s. ISBN 80-85828-59-X.
- [23] LENFELD, P.: *Technologie II (tváření kovů, zpracování plastů)* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12-doplnoke%20technologie/20-typy%20lepenych%20spoju.jpg
- [24] NAITO, K., ONTA M., KOGO Y.: The effect of adhesive thickness on tensile and shear strength of polyimide adhesive. *International Journal Of Adhesion & Adhesives*, 2012, vol. 36, p. 77 - 85
- [25] BROŽEK, M.: Vliv doby vytvrzování lepidla na pevnost lepených spojů. *MM průmyslové spektrum*, 2003, vol. 7, p. 67
- [26] MESSLER, R. W.: *Joining of materials and structures: from pragmatic process to enabling technology*. Oxford, Elsevier Inc., 2004. 790 s. ISBN 0-7506-7757-0
- [27] ADAMS, R. D.: Theoretical stress analysis of adhesively bonded joints. *Joining technologies for the 1990's*, 1986, vol. 2, p. 185 – 226
- [28] ADAMS, R. D., COMYN, J., WAKE, W. C.: *Structural adhesive joints in engineering*. London. Chapman & Hall 1997, 376 s.
- [29] MÜLLER, M., HENC, P., KEJVAL, J.: Konstrukční tvar spoje – spojování slitiny AlCu4Mg pomocí methylnetakrylátových a dvousložkových epoxidových lepidel. *Strojírenská technologie*, 2011, vol. 16, no. 4, p. 12 – 15

- [30] VALLÉE, T., et. al.: Influence of stress-reduction methods on the strength of adhesively bonded joints composed of orthotropic brittle adherends. *International Journal Of Adhesion & Adhesives*, 2010, vol. 30, no. 7, p. 583 - 594
- [31] VALLÉE, T., JOAO, R., CORREIA, T. K.: Optimum thickness of joints made of GFPR pultruded adherends and polyurethane adhesive. *Composite Structures*, 2010, vol. 92, no. 9, p. 2102 – 2108
- [32] MÜLLER, M., HENC, P., KEJVAL, J.: Vliv teploty a času vytvrzování na pevnost lepeného spoje – spojování slitiny AlCu4Mg pomocí methylmetakrylátových lepidel. *Strojírenská technologie*, 2011, vol. 16, no. 4, p. 15 – 20
- [33] MÜLLER, M., HŮRKA, K.: Vliv teploty prostředí na dobu vytvrzování lepidla v lepeném spoji. *Strojírenská technologie*, 2006, vol. 12, no. 1, p. 9 – 15
- [34] BANEJA, M., DA SILVA, L., CAMPILHO, R.: Mechanical characterization of a high temperature epoxy adhesive. *Annals Of The University Dunarea De Jos Of Galati: Fascicle XII, Welding Equipment & Technology*, 2011, vol. 22, p. 57 – 61
- [35] MÜLLER, M.: Proces stárnutí a trvanlivosti garantované výrobcem na hodnocení lepených spojů. *Strojírenská technologie*, 2011, vol. 16, no. 2, p. 23 – 28
- [36] CEBRIÁN, S., ZOGG, M., ERMANNI, P.: Methodology for optimization of the curing cycle of paste adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2013, vol. 40, p. 112 – 119
- [37] HERÁK, D., et. al.: Bearing capacity and corrosion weight losses of the bonded metal joints in the condition of Indonesia, North Sumatra province. *Research in Agricultural Engineering*, 2009, vol. 55, no. 3, p. 94 – 100
- [38] MÜLLER, M.; CHOTĚBORSKÝ, R.; HRABĚ, P.: Degradation processes influencing bonded joints. *Research in Agricultural Engineering*, 2009, vol. 55, p. 29 – 34
- [39] SADOWSKI, T., GOLEWSKI, P., ZARZEKA-RACZKOWSKA, E.: Damage and failure processes of hybrid joints: Adhesive bonded aluminium plates reinforced by rivets. *Computational Materials Science*, 2011, vol. 50, no. 4, p. 1256 – 1262
- [40] XIAOCONG, H.: Numerical and experimental investigations of the dynamic response of bonded beams with a single-lap joint. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2012, vol. 37, p. 79 – 85
- [41] PROLONGO, S., et.al.: Surface pretreatments for composite joints: Study of surface profile by SEM image analysis. *Journal Of Adhesion Science & Technology*, 2012, vol. 24, no. 11/12, p. 1855 – 1867
- [42] MÜLLER, M., KOLÁŘ, V., VALÁŠEK, P.: Technologie lepení – mechanická úprava povrchu AlCu4Mg tryskáním. *Strojírenská technologie*, 2011, vol. 16, no. 4, p. 57 – 61

- [43] SHAHID, M., HASHIM, S. A.: Effect of surface roughness on the strength of cleavage joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 2002, vol. 22, no.3, p. 235 – 244
- [44] POORNA CHANDER, K., et al.: Effect of grit blasting on surface properties of steel substrates. *Materials & Design*, 2009, vol. 30, no. 8, p. 2895 – 2902
- [45] KRAUS, V.: *Povrchy a jejich úpravy* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [46] KACHLÍK, P.: *Vady v lepených spojích, jejich simulace a počítačové modelování*. Brno, 2008. 128 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně
- [47] SONG, M., et. al.: Effect of manufacturing methods on the shear strength of composite single-lap bonded joints. *Composite Structures*, 2010, vol. 92, no. 9, p. 2194 – 2202
- [48] ČSN ISO 10365: Lepidla - Označení hlavních typů porušení lepeného spoje. Praha: Český normalizační institut, 1995. 6s.
- [49] MENEGHETTI, G., QUARESIMIN, M., RICOTTA, M.: Damage mechanisms in composite bonded joints under fatigue loading. *Composites Part B: Engineering*, 2012, vol. 43, no. 2, p. 210 – 220
- [50] COSTA MATTOS, H. S., MONTEIRO, A.H., PALAZZETTI, R.: Failure analysis of adhesively bonded joints in composite materials. *Materials & Design*, 2012, vol. 33, p. 242 – 247
- [51] XU, W., WEI, Y.: Influence of adhesive thickness on local interface fracture and overall strength of metallic adhesive bonding structures. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2013, vol. 40, p. 158 – 167
- [52] BANG, CH. S., Kim, J. G., Lee, D. G.: Performance improvement by glass fiber of adhesively bonded metal joints at the cryogenic temperature. *Composite Structures*, 2012, vol. 96, p. 321 – 331
- [53] KOTLANOVÁ, A.: *Drsnost povrchu* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.primat.cz%2Fvsb-fei%2Fpredmety%2Ftechnicka-dokumentace-td-q3437%2Ftechnicka-dokumentace-m180559%2Fdownload%2F&ei=RfsxUZO2BIfZtAbc94GYDw&usg=AFQjCNFMPXW9afNpG_tdG5n6eP8Emx9txA&sig2=GTqXYIfDhLZtS4lOtJRnrA
- [54] THE ADHESIVE AND SEALANT COUNCIL, INC.: *History of Bonding* [online]. Cit. 2012-12-24. Dostupné z: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/fastening-bonding/history-of-bonding>
- [55] ČSN EN 1465: Lepidla - Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přeplátovaných tělesech. Praha: Český normalizační institut, 1997. 7s.

Seznam použitých obrázků, tabulek, grafů a vzorců

Seznam obrázků

Obr. 1 Kapková metoda – metoda ke zjištění smáčivosti povrchů	str. 8
Obr. 2 Znázornění adhezních a kohezních sil	str. 10
Obr. 3 Zvedání a transport skladovací nádrže ethanolu s hmotností 26 000 kg za pomoci lepených spojů	str. 13
Obr. 4 Možnosti lepených spojů	str. 16
Obr. 5 Druhy povrchu adherendu	str. 17
Obr. 6 Základní typy nerovností lepených ploch	str. 18
Obr. 7 Rozložení napětí ve spoji	str. 19
Obr. 8 Deformace způsobená nesouosostí sil	str. 20
Obr. 9 Závislost síly přetržení na délce přeplátovaného spoje	str. 20
Obr. 10 Možnosti konstrukce spojů předcházejících nesouososti sil	str. 22
Obr. 11 Typy namáhání a rozložení napětí ve spoji	str. 28
Obr. 12 Namáhání spoje loupáním a jeho potlačení konstrukční úpravou	str. 29
Obr. 13 Fotografie hybridní konstrukce spoje – vzniklá lepením a využitím pěti nýty ...	str. 30
Obr. 14 Typy defektů v lepeném spoji	str. 30
Obr. 15 Pevnost lepeného spoje v závislosti na tloušťce lepené vrstvy	str. 32
Obr. 16 Rozměry zkušební vzorku dle modifikované normy ČSN EN 1465	str. 34
Obr. 17 Padací nůžky	str. 36
Obr. 18 Tryskací komora PK – ITB 65	str. 37
Obr. 19 Nově vzniklé lepené spoje, vzorky S235J0	str. 40
Obr. 20 Univerzální trhací stroj ZDM 5	str. 40
Obr. 21 Lepený spoj před a po destruktivní zkoušce	str. 42
Obr. 22a Schéma adhezního porušení – celý objem lepidla se oddělí od jednoho z adherendů	str. 43
Obr. 22b Schéma adhezního porušení – část objemu lepidla se oddělí od jednoho z adherendů, druhá část od druhého.....	str. 43
Obr. 23 Schéma kohezního porušení	str. 44
Obr. 24 Schéma speciálně kohezního porušení	str. 44

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled velikostí povrchových napětí u vody, základních adherendů a lepidel	str. 6
Tab. 2 Tolerance tloušťky vrstvy pro vybrané typy konstrukčních lepidel	str. 15
Tab. 3 Stupně odolnosti v závislosti na druhu prostředí pro epoxidové pryskyřice	str. 26
Tab. 4 Typy úprav materiálů, označení lepených spojů	str. 33
Tab. 5 Vlastnosti nevytvrzené pryskyřice CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)	str. 35
Tab. 6 Provedené zkoušky pro lepidlo CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)	str. 35
Tab. 7 Vlastnosti nevytvrzeného lepidla Polyester MTB	str. 36
Tab. 8 Výsledek experimentu u lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)	str. 47
Tab. 9 Výsledek experimentu u lepidla Polyester MTB	str. 50
Tab. 10 Hodnoty parametrů drsnosti u materiálu S235J0	str. 54
Tab. 11 Hodnoty parametrů drsnosti u materiálu AlCu4Mg	str. 54
Tab. 12 Uvedení nákladů za experiment	str. 59

Seznam grafů

Graf 1 Závislost vlivu degradačního média na pevnosti lepeného spoje	str. 27
Graf 2 Hmotnost nečistot na lepeném povrchu	str. 46
Graf 3 Pevnost lepeného spoje v závislosti na úpravě lepeného povrchu při využití lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a materiálů S235J0 a AlCu4Mg	str. 48
Graf 4 Pevnost lepeného spoje v závislosti na úpravě lepeného povrchu při využití lepidla Polyester MTB a materiálů S235J0 a AlCu4Mg	str. 51
Graf 5 Dotazníkové šetření – znalost základních pojmů, četnost využívání technologie spojování materiálů	str. 55
Graf 6 Dotazníkové šetření – četnost výskytu chemické, mechanické úpravy povrchu ...	str. 59
Graf 7 Dotazníkové šetření – nejběžněji využívané materiály, lepidla k lepení	str. 57
Graf 8 Dotazníkové šetření – dodržování pravidel výrobce, předpokládaná doba dostatečné pevnosti a množství financí pro lepidla za rok	str. 58

Seznam vzorců

(1) Pevnost v tahu	str. 17
(2) Mez pevnosti ve smyku	str. 43
(3) Plocha lepeného spoje	str. 43
(4) Aritmetický průměr	str. 44
(5) Směrodatná odchylka	str. 45
(6) Variační koeficient	str. 45
(7) Variační rozpětí	str. 45

7 Přílohy

Příloha 1: Zjištění optimální tloušťky lepeného spoje pro lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a Polyester MTB

..... str. I - II

Příloha 2: Výsledky destruktivní zkoušky

..... str. III - VI

Příloha 3: Obrazová analýza lepeného spoje

..... str. VII - VIII

Příloha 4: Hodnoty hmotností dosažené před a po chemické úpravě Acetonem P6401 pro materiály S235J0 a AlCu4Mg

..... str. IX

Příloha 5: Dotazníkové šetření (Vzor dotazníku, výsledky dotazovaných)

..... str. X - XVII

Příloha 1: Zjištění optimální tloušťky lepeného spoje pro lepidla CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200) a Polyester MTB

Hodnoty pro lepidlo CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)

Průměr drátku [mm]	Přeplátování [mm]	Plocha [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Typ porušení	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka
0,07	12,8	320,00	3620	11,31	adhezní	11,09	0,58
0,07	12,5	312,50	3680	11,78	adhezní		
0,07	12,6	315,00	3600	11,43	adhezní		
0,07	12,8	320,00	3480	10,88	adhezní		
0,07	12,8	320,00	3580	11,19	adhezní		
0,07	12,8	320,00	3180	9,94	adhezní		
0,11	13,3	332,50	4500	13,53	adhezní	12,17	0,85
0,11	12,3	307,50	3560	11,58	adhezní		
0,11	12,5	312,50	3400	10,88	adhezní		
0,11	12,6	315,00	3980	12,63	adhezní		
0,11	12,8	320,00	4020	12,56	adhezní		
0,11	12,8	320,00	3780	11,81	adhezní		
0,16	12,5	312,50	3820	12,22	adhezní	12,62	0,55
0,16	12,4	310,00	3920	12,65	adhezní		
0,16	12,5	312,50	3780	12,10	adhezní		
0,16	12,6	315,00	3860	12,25	adhezní		
0,16	12,4	310,00	3960	12,77	adhezní		
0,16	12,7	317,50	4360	13,73	adhezní		
0,25	12,5	312,50	4100	13,12	adhezní	12,39	0,56
0,25	12,8	320,00	3700	11,56	adhezní		
0,25	12,8	320,00	3940	12,31	adhezní		
0,25	12,5	312,50	3860	12,35	adhezní		
0,25	12,8	320,00	3820	11,94	adhezní		
0,25	12,6	315,00	4120	13,08	adhezní		
0,3	12,9	322,50	3380	10,48	adhezní	11,06	0,93
0,3	12,6	315,00	3860	12,25	adhezní		
0,3	12,5	312,50	3880	12,42	adhezní		
0,3	12,8	320,00	3460	10,81	adhezní		
0,3	12,5	312,50	3220	10,30	adhezní		
0,3	13,1	327,50	3300	10,08	adhezní		
0,38	12,5	312,50	3120	9,98	adhezní	10,01	0,66
0,38	12,5	312,50	3160	10,11	adhezní		
0,38	12,1	302,50	2720	8,99	adhezní		
0,38	12,6	315,00	3180	10,10	adhezní		
0,38	12,8	320,00	3100	9,69	adhezní		
0,38	12,5	312,50	3500	11,20	adhezní		

Hodnoty pro lepidlo Polyester MTB

Průměr drátku [mm]	Přeplátování [mm]	Plocha [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Typ porušení	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka
0,07	13,3	332,50	3120	9,38	adhezní	9,18	0,55
0,07	13,1	327,50	2920	8,92	adhezní		
0,07	12,5	312,50	3120	9,98	adhezní		
0,07	12,6	315,00	2980	9,46	adhezní		
0,07	12,8	320,00	2920	9,13	adhezní		
0,07	12,8	320,00	2620	8,19	adhezní		
0,11	12,9	322,50	3260	10,11	adhezní	10,29	0,15
0,11	12,6	315,00	3280	10,41	adhezní		
0,11	12,5	312,50	3280	10,50	adhezní		
0,11	12,8	320,00	3300	10,31	adhezní		
0,11	12,5	312,50	3220	10,30	adhezní		
0,11	13,1	327,50	3300	10,08	adhezní		
0,16	12,5	312,50	3180	10,18	adhezní	9,89	0,82
0,16	12,5	312,50	2860	9,15	adhezní		
0,16	12,1	302,50	3420	11,31	adhezní		
0,16	12,6	315,00	3280	10,41	adhezní		
0,16	12,8	320,00	2920	9,13	adhezní		
0,16	12,5	312,50	2860	9,15	adhezní		
0,25	12,5	312,50	3420	10,94	adhezní	9,16	0,83
0,25	12,4	310,00	2680	8,65	adhezní		
0,25	12,5	312,50	2720	8,70	adhezní		
0,25	12,6	315,00	2820	8,95	adhezní		
0,25	12,4	310,00	2840	9,16	adhezní		
0,25	12,1	302,50	2580	8,53	adhezní		
0,3	12,8	320,00	2720	8,50	adhezní	8,44	0,30
0,3	12,8	320,00	2600	8,13	adhezní		
0,3	12,8	320,00	2620	8,19	adhezní		
0,3	12,5	312,50	2780	8,90	adhezní		
0,3	12,8	320,00	2800	8,75	adhezní		
0,3	12,6	315,00	2580	8,19	adhezní		
0,38	12,9	322,50	2300	7,13	adhezní	6,74	0,67
0,38	12,1	302,50	2180	7,21	adhezní		
0,38	12,5	312,50	1840	5,89	adhezní		
0,38	12,8	320,00	2480	7,75	adhezní		
0,38	12,5	312,50	1880	6,02	adhezní		
0,38	13,1	327,50	2120	6,47	adhezní		

Souhrnné informace pro obě lepidla

Průměr drátku [mm]	CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200)		Polyester MTB	
	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka
0,07	11,09	0,58	9,18	0,55
0,11	12,17	0,85	10,29	0,15
0,16	12,62	0,55	9,89	0,82
0,25	12,39	0,56	9,16	0,83
0,3	11,06	0,93	8,44	0,3
0,38	10,01	0,66	6,74	0,67

Příloha 2: Výsledky destruktivní zkoušky

Hodnoty pro lepidlo CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200), materiál S235J0

	Přeplá- tování [mm]	Plocha [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Typ porušení	Art. pr. [MPa]	Sm. odch. [MPa]	Sm. odch. [%]	Var. koef. [%]	Var. rozpětí
E O1	13,3	332,50	360	1,08	adhezní	0,29	0,52			
E O2	12,3	307,50	0	0,00	adhezní					
E O3	12	300,00	0	0,00	adhezní					
E O4	12,6	315,00	480	1,52	adhezní					
E O5	13,1	327,50	0	0,00	adhezní					
E O6	13,3	332,50	0	0,00	adhezní					
E O7	12,9	322,50	0	0,00	adhezní					
E O8	12,6	315,00	0	0,00	adhezní					
E O9	12,5	312,50	80	0,26	adhezní					
E O10	13,4	335,00	0	0,00	adhezní					
E OTO1	13,2	330,00	4880	14,79	adhezní	15,10	0,74	4,91	0,05	2,90
E OTO2	12,8	320,00	4980	15,56	adhezní					
E OTO3	12,2	305,00	5160	16,92	adhezní					
E OTO4	11,7	292,50	4260	14,56	adhezní					
E OTO5	11,3	282,50	3960	14,02	adhezní					
E OTO6	12,8	320,00	4820	15,06	adhezní					
E OTO7	12,7	317,50	4880	15,37	adhezní					
E OTO8	11,9	297,50	4500	15,13	adhezní					
E OTO9	11,9	297,50	4320	14,52	adhezní					
E OTO10	12	300,00	4520	15,07	adhezní					
E OBO1	12,6	315,00	4020	12,76	adhezní	11,39	0,91	7,94	0,08	2,86
E OBO2	11,7	292,50	3140	10,74	adhezní					
E OBO3	11,8	295,00	3000	10,17	adhezní					
E OBO4	11,8	295,00	2920	9,90	adhezní					
E OBO5	11,5	287,50	3280	11,41	adhezní					
E OBO6	11,6	290,00	3360	11,59	adhezní					
E OBO7	11,8	295,00	3240	10,98	adhezní					
E OBO8	12,1	302,50	3680	12,17	adhezní					
E OBO9	12,2	305,00	3580	11,74	adhezní					
E OBO10	11,9	297,50	3720	12,50	adhezní					
E OO1	12,8	320,00	980	3,06	adhezní	3,24	0,30	9,39	0,09	0,97
E OO2	12,3	307,50	1120	3,64	adhezní					
E OO3	12,4	310,00	920	2,97	adhezní					
E OO4	11,9	297,50	940	3,16	adhezní					
E OO5	12,7	317,50	960	3,02	adhezní					
E OO6	12,3	307,50	1020	3,32	adhezní					
E OO7	13,4	335,00	1320	3,94	adhezní					
E OO8	12,5	312,50	940	3,01	adhezní					
E OO9	12,6	315,00	1020	3,24	adhezní					
E OO10	11,7	292,50	880	3,01	adhezní					
E OT1	12,3	307,50	3880	12,62	adhezní	14,55	1,29	8,89	0,09	3,70
E OT2	12,1	302,50	4220	13,95	adhezní					
E OT3	12,1	302,50	3980	13,16	adhezní					
E OT4	12,6	315,00	5080	16,13	adhezní					
E OT5	13,1	327,50	5080	15,51	adhezní					
E OT6	11,5	287,50	3920	13,63	adhezní					
E OT7	12	300,00	4620	15,40	adhezní					
E OT8	12,5	312,50	4140	13,25	adhezní					
E OT9	12,8	320,00	4960	15,50	adhezní					
E OT10	12,6	315,00	5140	16,32	adhezní					
E OB1	11,9	297,50	2980	10,02	adhezní	10,21	0,89	8,71	0,09	2,68
E OB2	11,5	287,50	2580	8,97	adhezní					
E OB3	11,8	295,00	2880	9,76	adhezní					
E OB4	12,1	302,50	3080	10,18	adhezní					
E OB5	12,2	305,00	3400	11,15	adhezní					
E OB6	12,1	302,50	3220	10,64	adhezní					
E OB7	12,1	302,50	3420	11,31	adhezní					
E OB8	12,3	307,50	3540	11,51	adhezní					
E OB9	11,8	295,00	2860	9,69	adhezní					
E OB10	11,6	290,00	2560	8,83	adhezní					

Hodnoty pro lepidlo CHS-Epoxy 324 (Epoxy 1200), materiál AlCu4Mg

	Přeplátování [mm]	Plocha [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Typ porušení	Art. pr. [MPa]	Sm. odch. [MPa]	Sm. odch. [%]	Var. koef. [%]	Var. rozpětí
E D1	12,8	320,00	520	1,63	adhezní	2,59	1,03	39,81	0,40	2,74
E D2	11,73	293,25	1220	4,16	adhezní					
E D3	12,7	317,50	1160	3,65	adhezní					
E D4	12,6	315,00	720	2,29	adhezní					
E D5	12,4	310,00	520	1,68	adhezní					
E D6	13	325,00	460	1,42	adhezní					
E D7	13,4	335	1380	4,12	adhezní					
E D8	12,5	312,5	500	1,6	adhezní					
E D9	13,4	335	740	2,21	adhezní					
E D10	13	325	1040	3,2	adhezní					
E DTO1	12,4	310	3540	11,42	adhezní	11,10	0,88	7,91	0,08	3,43
E DTO2	12,2	305	3480	11,41	adhezní					
E DTO3	12	300	3820	12,73	adhezní					
E DTO4	11,7	292,5	3480	11,90	adhezní					
E DTO5	12,4	310	3340	10,77	adhezní					
E DTO6	11,7	292,5	2720	9,30	adhezní					
E DTO7	11,9	297,5	3080	10,35	adhezní					
E DTO8	12,1	302,5	3280	10,84	adhezní					
E DTO9	12,3	307,5	3520	11,45	adhezní					
E DTO10	12,1	302,5	3260	10,78	adhezní					
E DBO1	12,9	322,5	2520	7,81	adhezní	6,66	0,62	9,37	0,09	2,25
E DBO2	12,8	320	2380	7,44	adhezní					
E DBO3	13,1	327,5	2020	6,17	adhezní					
E DBO4	12,5	312,5	2080	6,66	adhezní					
E DBO5	11,6	290	1840	6,34	adhezní					
E DBO6	11,8	295	1640	5,56	adhezní					
E DBO7	11,5	287,5	1780	6,19	adhezní					
E DBO8	12,8	320	2260	7,06	adhezní					
E DBO9	12	300,00	1980	6,60	adhezní					
E DBO10	12,7	317,5	2160	6,80	adhezní					
E DO1	11,9	297,5	1160	3,90	adhezní	4,14	0,37	8,89	0,09	1,33
E DO2	12,6	315	1520	4,83	adhezní					
E DO3	12,1	302,5	1240	4,10	adhezní					
E DO4	12,5	312,5	1360	4,35	adhezní					
E DO5	12,1	302,5	1220	4,03	adhezní					
E DO6	12	300	1280	4,27	adhezní					
E DO7	12,1	302,5	1120	3,70	adhezní					
E DO8	11,9	297,5	1040	3,50	adhezní					
E DO9	12,1	302,5	1260	4,17	adhezní					
E DO10	12,4	310	1400	4,52	adhezní					
E DT1	12,5	312,50	2820	9,02	adhezní	10,59	0,91	8,61	0,09	2,57
E DT2	13,8	345,00	3860	11,19	adhezní					
E DT3	11,7	292,50	2640	9,03	adhezní					
E DT4	12,5	312,50	3140	10,05	adhezní					
E DT5	12,7	317,50	3660	11,53	adhezní					
E DT6	12,9	322,50	3740	11,60	adhezní					
E DT7	12,3	307,50	3200	10,41	adhezní					
E DT8	11,3	282,50	3160	11,19	adhezní					
E DT9	12,2	305,00	3440	11,28	adhezní					
E DT10	12,4	310,00	3280	10,58	adhezní					
E DB1	12	300	2600	8,67	adhezní	9,86	0,60	6,08	0,06	1,91
E DB2	12,1	302,5	2980	9,85	adhezní					
E DB3	12	300	2740	9,13	adhezní					
E DB4	12,2	305	3200	10,49	adhezní					
E DB5	12,7	317,5	3320	10,46	adhezní					
E DB6	12,5	312,5	3100	9,92	adhezní					
E DB7	12	300	2840	9,47	adhezní					
E DB8	12	300	2920	9,73	adhezní					
E DB9	11,8	295	3040	10,31	adhezní					
E DB10	11,8	295	3120	10,58	adhezní					

Hodnoty pro lepidlo Polyester MTB, materiál S235J0

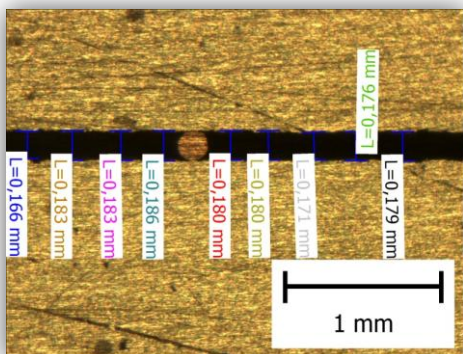
	Přeplá- tování [mm]	Plocha [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Typ porušení	Art. pr. [MPa]	Sm. odch. [MPa]	Sm. odch. [%]	Var. koef. [%]	Var. rozpětí
P O1	12,8	320,00	800	2,50	adhezní	2,74	1,92	70,21	0,70	5,65
P O2	12,1	302,50	40	0,13	adhezní					
P O3	12,9	322,50	320	0,99	adhezní					
P O4	12,4	310,00	0	0,00	adhezní					
P O5	12,9	322,50	790	2,45	adhezní					
P O6	12	300,00	1180	3,93	adhezní					
P O7	12,7	317,50	1360	4,28	adhezní					
P O8	12,9	322,50	680	2,11	adhezní					
P O9	12,6	315,00	1780	5,65	adhezní					
P O10	12,4	310,00	1660	5,35	adhezní					
P OTO 1	12,4	310,00	4640	14,97	adhezní	14,22	0,57	3,97	0,04	1,66
P OTO2	12,8	320,00	4720	14,75	adhezní					
P OTO 3	12,6	315,00	4480	14,22	adhezní					
P OTO 4	12,8	320,00	4320	13,50	adhezní					
P OTO 5	12,4	310,00	4700	15,16	adhezní					
P OTO 6	13	325,00	4520	13,91	adhezní					
P OTO 7	13,1	327,50	4420	13,50	adhezní					
P OTO 8	12,7	317,50	4340	13,67	adhezní					
P OTO 9	13,2	330,00	4680	14,18	adhezní					
P OTO 10	12,8	320,00	4600	14,38	adhezní					
P OBO1	12,8	320,00	4060	12,69	adhezní	12,36	0,41	3,30	0,03	1,21
P OBO2	12,6	315,00	3766	11,96	adhezní					
P OBO3	11,7	292,50	3740	12,79	adhezní					
P OBO4	11,9	297,50	3620	12,17	adhezní					
P OBO5	12,8	320,00	3800	11,88	adhezní					
P OBO6	13,1	327,50	4240	12,95	adhezní					
P OBO7	12,3	307,50	3900	12,68	adhezní					
P OBO8	12,7	317,50	3860	12,16	adhezní					
P OBO9	12	300,00	3520	11,73	adhezní					
P OBO10	12,9	322,50	4060	12,59	adhezní					
P OO1	12,9	322,50	1420	4,40	adhezní	4,71	0,34	7,17	0,07	1,13
P OO2	13,1	327,50	1780	5,44	adhezní					
P OO3	12,2	305,00	1340	4,39	adhezní					
P OO4	12	300,00	1420	4,73	adhezní					
P OO5	13	325,00	1560	4,80	adhezní					
P OO6	13,1	327,50	1540	4,70	adhezní					
P OO7	11,9	297,50	1280	4,30	adhezní					
P OO8	12,8	320,00	1560	4,88	adhezní					
P OO9	12,4	310,00	1360	4,39	adhezní					
P OO10	13	325,00	1640	5,05	adhezní					
P OT1	13,1	327,50	4460	13,62	adhezní	13,91	0,95	6,86	0,07	3,15
P OT2	12,3	307,50	4260	13,85	adhezní					
P OT3	12,7	317,50	4840	15,24	adhezní					
P OT4	13	325,00	4620	14,22	adhezní					
P OT5	12,9	322,50	4480	13,89	adhezní					
P OT6	13,1	327,50	4040	12,34	adhezní					
P OT7	12,4	310,00	4800	15,48	adhezní					
P OT8	12,8	320,00	4360	13,63	adhezní					
P OT9	12,6	315,00	3940	12,51	adhezní					
P OT10	12,6	315,00	4500	14,29	adhezní					
P OB1	12,5	312,50	4440	14,21	adhezní	14,22	0,82	5,76	0,06	2,76
P OB2	12,1	302,50	4240	14,02	adhezní					
P OB3	11,6	290,00	3820	13,17	adhezní					
P OB4	12,2	305,00	4480	14,69	adhezní					
P OB5	11,7	292,50	4240	14,50	adhezní					
P OB6	11,8	295,00	4500	15,25	adhezní					
P OB7	11,9	297,50	4680	15,73	adhezní					
P OB8	12	300,00	4220	14,07	adhezní					
P OB9	11,9	297,50	3860	12,97	adhezní					
P OB10	11,8	295,00	4020	13,63	adhezní					

Hodnoty pro lepidlo Polyester MTB, materiál AlCu4Mg

	Přeplá- tování [mm]	Plocha [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Typ porušení	Art. pr. [MPa]	Sm. odch. [MPa]	Sm. odch. [%]	Var. koef. [%]	Var. rozpětí
P D1	12,3	307,50	1980	6,44	adhezní	5,27	2,21	42,04	0,42	7,67
P D2	12,2	305,00	222	0,73	adhezní					
P D3	12,8	320,00	1960	6,13	adhezní					
P D4	12,7	317,50	1240	3,91	adhezní					
P D5	12,8	320,00	1640	5,13	adhezní					
P D6	12,4	310,00	1180	3,81	adhezní					
P D7	12,5	312,50	1940	6,21	adhezní					
P D8	12,7	317,50	1160	3,65	adhezní					
P D9	12	300,00	2520	8,40	adhezní					
P D10	12,1	302,50	2500	8,26	adhezní					
P DTO1	12,5	312,50	2420	7,74	adhezní	8,68	0,69	7,94	0,08	1,91
P DTO2	12,6	315,00	2580	8,19	adhezní					
P DTO3	12,7	317,50	2660	8,38	adhezní					
P DTO4	12,9	322,50	3060	9,49	adhezní					
P DTO5	12,5	312,50	2460	7,87	adhezní					
P DTO6	12,6	315,00	2900	9,21	adhezní					
P DTO7	13,1	327,50	3080	9,40	adhezní					
P DTO8	12,9	322,50	2860	8,87	adhezní					
P DTO9	12,6	315,00	3040	9,65	adhezní					
P DTO10	11,6	290,00	2320	8,00	adhezní					
P DBO1	12,3	307,50	1860	6,05	adhezní	6,12	0,56	9,18	0,09	1,55
P DBO2	13,1	327,50	2180	6,66	adhezní					
P DBO3	13,2	330,00	2280	6,91	adhezní					
P DBO4	12,4	310,00	2060	6,65	adhezní					
P DBO5	12,2	305,00	1940	6,36	adhezní					
P DBO6	12,8	320,00	1760	5,50	adhezní					
P DBO7	13,3	332,50	2200	6,62	adhezní					
P DBO8	12,7	317,50	1840	5,80	adhezní					
P DBO9	12,7	317,50	1700	5,35	adhezní					
P DBO10	12,4	310,00	1660	5,35	adhezní					
P DO1	12,8	320,00	1920	6,00	adhezní	6,27	0,46	7,27	0,07	1,32
P DO2	12,7	317,50	2040	6,43	adhezní					
P DO3	12,7	317,50	2300	7,24	adhezní					
P DO4	12,9	322,50	2080	6,45	adhezní					
P DO5	12,2	305,00	1860	6,10	adhezní					
P DO6	13,1	327,50	1940	5,92	adhezní					
P DO7	12,6	315,00	1900	6,03	adhezní					
P DO8	12,3	307,50	1680	5,46	adhezní					
P DO9	12	300,00	1920	6,40	adhezní					
P DO10	12,8	320,00	2120	6,63	adhezní					
P DT1	13,1	327,50	2740	8,37	adhezní	8,89	0,74	8,28	0,08	2,54
P DT2	12,9	322,50	2420	7,50	adhezní					
P DT3	12,9	322,50	2800	8,68	adhezní					
P DT4	12,8	320,00	2920	9,13	adhezní					
P DT5	11,9	297,50	2880	9,68	adhezní					
P DT6	12,8	320,00	3040	9,50	adhezní					
P DT7	12,4	310,00	2720	8,77	adhezní					
P DT8	12,5	312,50	3140	10,05	adhezní					
P DT9	12,5	312,50	2520	8,06	adhezní					
P DT10	12,7	317,50	2920	9,20	adhezní					
P DB1	12,4	310,00	2020	6,52	adhezní	7,27	0,62	8,54	0,09	2,18
P DB2	12,6	315,00	2360	7,49	adhezní					
P DB3	12,9	322,50	2120	6,57	adhezní					
P DB4	12	300,00	1940	6,47	adhezní					
P DB5	11,9	297,50	2180	7,33	adhezní					
P DB6	12,3	307,50	2660	8,65	adhezní					
P DB7	12,2	305,00	2340	7,67	adhezní					
P DB8	12,2	305,00	2200	7,21	adhezní					
P DB9	12,3	307,50	2280	7,41	adhezní					
P DB10	11,9	297,50	2180	7,33	adhezní					

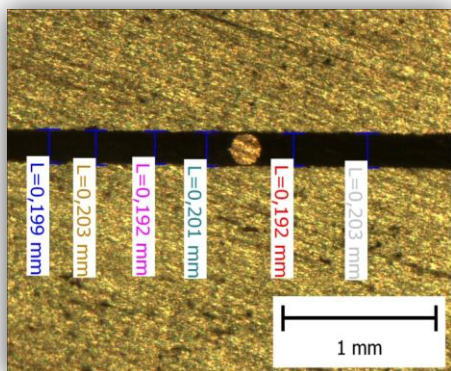
Příloha 3: Obrazová analýza lepeného spoje

K experimentu byly využity distanční drátky o průměru 0,18 mm. Následující obrázek ukazuje situaci, kdy materiály správně dosedají na distanční drátek. Tloušťka lepeného spoje je tak téměř konstantní v celém spoji. Vzdálenosti jednotlivých úseček spolu se statistickým zhodnocením jsou uvedeny v tabulce.



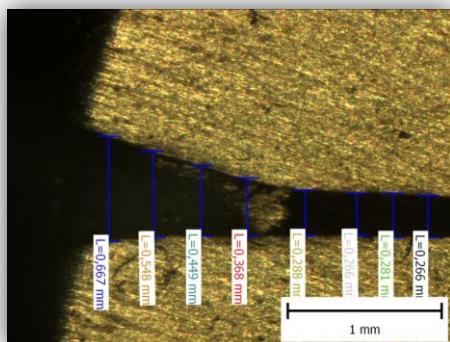
Délka								
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Popis	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,166	mm		Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,183	mm		Počet měření	9	
Úsečka	Délka	3	0,183	mm		Střední hodnota	0,1782	mm
Úsečka	Délka	4	0,186	mm		Sm. odchylka	0,006	mm
Úsečka	Délka	5	0,180	mm				
Úsečka	Délka	6	0,180	mm				
Úsečka	Délka	7	0,171	mm				
Úsečka	Délka	8	0,176	mm				
Úsečka	Délka	9	0,179	mm				

Opačná je situace u níže uvedeného obrázku, kde je patrné množství lepidla mezi distančním drátkem a adherendem – materiál nedosedá přímo na distanční drátek. Tomu odpovídají též délky úseček tím, že jsou značně vzdáleny od optima 0,18 mm.



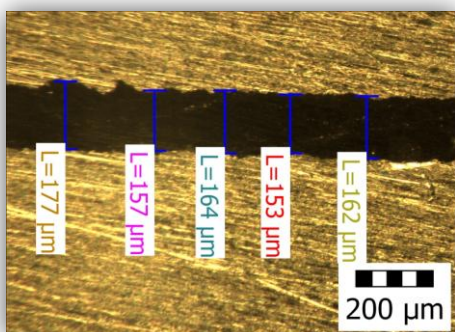
Délka								
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Popis	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,199	mm		Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,203	mm		Počet měření	6	
Úsečka	Délka	3	0,192	mm		Střední hodnota	0,1983	mm
Úsečka	Délka	4	0,201	mm		Sm. odchylka	0,0047	mm
Úsečka	Délka	5	0,192	mm				
Úsečka	Délka	6	0,203	mm				

Zajímavá je též tato fotografie. Je u ní patrný značný rozptyl v délkách úseček zapříčiněný rozdílnými vzdálenostmi materiálů od sebe. Lze jej vysvětlit nepřesnou funkcí padacích nůžek při oddělování vzorků z hutnického polotovaru. Směrodatná odchylka u takového spoje dosahuje velkých hodnot. Nejen správná příprava a technologie práce, ale též správné nastavení zařízení, je nezbytné pro tvorbu kvalitních lepených spojů.



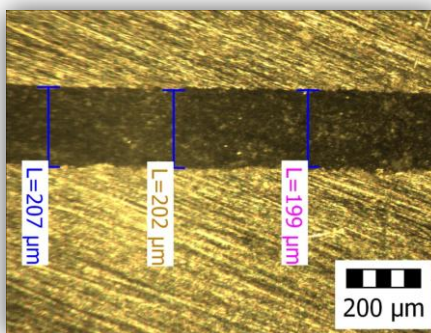
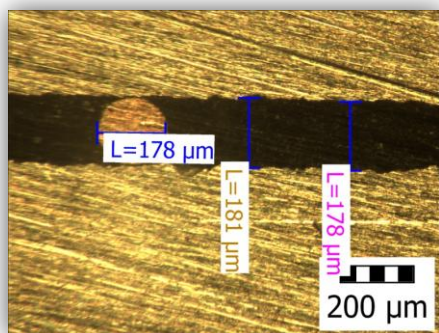
Délka								
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Popis	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,667	mm		Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,548	mm		Počet měření	8	
Úsečka	Délka	3	0,449	mm		Střední hodnota	0,3916	mm
Úsečka	Délka	4	0,368	mm		Sm. odchylka	0,1408	mm
Úsečka	Délka	5	0,288	mm				
Úsečka	Délka	6	0,266	mm				
Úsečka	Délka	7	0,281	mm				
Úsečka	Délka	8	0,266	mm				

Vnímání tloušťky lepeného spoje může ovlivnit nejen průměr distančního drátku, ale též drsnost samotného materiálu. Detailní fotografie ukazuje nedokonalosti povrchů a tím zapříčiněné značně odlišné délky úsečků. Na velmi malém úseku byla naměřena tloušťka lepeného spoje od 153 μm do 177 μm . Detailněji v následující tabulce.



Délka		Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Popis	Statistiky	
Typ objektu	Druh měření					Veličina	Délka
Úsečka	Délka	1	177	μm			
Úsečka	Délka	2	157	μm	Počet měření	5	
Úsečka	Délka	3	164	μm	Střední hodnota	162,6	μm
Úsečka	Délka	4	153	μm	Sm. odchylka	8,2	μm
Úsečka	Délka	5	162	μm			

Lze uvést ještě dva ideální případy tlouštěk lepeného spoje. Na prvním obrázku téměř kopíruje průměr distančního drátku. Na druhém je partná bezmála konstantní vzdálenost materiálů od sebe.



Příloha 4: Hodnoty hmotností dosažené před a po chemické úpravě Acetonem P6401 pro materiály S235J0 a AlCu4Mg

Materiál S235J0

vzorek	Hmotnost před odmaštěním [g]	Hmotnost po odmaštění [g]	Rozdíl v hmotnostech [g]
1	56,8745	56,8718	0,0027
2	57,1671	57,1644	0,0027
3	57,1414	57,1369	0,0045
4	57,2185	57,2145	0,004
5	57,387	57,3816	0,0054
6	57,2497	57,2454	0,0043
7	57,2737	57,2699	0,0038
8	56,977	56,9729	0,0041
9	56,7975	56,7923	0,0052
10	51,0934	51,0904	0,003
11	57,3037	57,2994	0,0043
12	57,3458	57,341	0,0048
13	56,9425	56,9371	0,0054
14	57,0387	57,0357	0,003
15	57,2587	57,2545	0,0042
16	57,1302	57,1273	0,0029
17	56,9042	56,8998	0,0044
18	57,0328	57,0294	0,0034
19	57,3445	57,3413	0,0032
20	57,1195	57,1165	0,003
21	57,026	57,0226	0,0034
22	57,2796	57,2762	0,0034
23	57,2486	57,2446	0,004
24	57,1468	57,1446	0,0022
25	57,2045	57,2022	0,0023
26	57,2359	57,2328	0,0031
27	56,6189	56,6158	0,0031
28	57,3419	57,3386	0,0033
29	57,0312	57,0282	0,003
30	57,466	57,4623	0,0037
		průměr [g]	0,00366
		sm. odch. [g]	0,00085

Materiál AlCu4Mg

vzorek	Hmotnost před odmaštěním [g]	Hmotnost po odmaštění [g]	Rozdíl v hmotnostech [g]
1	19,8612	19,8577	0,0035
2	20,658	20,6553	0,0027
3	20,4119	20,4047	0,0072
4	20,7343	20,7311	0,0032
5	20,2577	20,254	0,0037
6	20,2574	20,2547	0,0027
7	20,6052	20,6025	0,0027
8	20,3244	20,3212	0,0032
9	20,0434	20,035	0,0084
10	19,8492	19,8459	0,0033
11	20,3578	20,3537	0,0041
12	20,2852	20,2783	0,0069
13	21,2299	21,2271	0,0028
14	20,973	20,9708	0,0022
15	19,9877	19,9856	0,0021
16	20,6059	20,6017	0,0042
17	19,9207	19,9168	0,0039
18	20,6483	20,6452	0,0031
19	20,119	20,116	0,003
20	20,003	20,0004	0,0026
21	20,061	20,0583	0,0027
22	19,9442	19,9417	0,0025
23	20,6021	20,5998	0,0023
24	20,4722	20,4698	0,0024
25	19,7459	19,7427	0,0032
26	20,3187	20,316	0,0027
27	20,6188	20,6164	0,0024
28	20,3334	20,3304	0,003
29	20,672	20,67	0,002
30	20,4392	20,436	0,0032
		průměr [g]	0,00340
		sm. odch. [g]	0,00149

Příloha 5: Dotazníkové šetření (Vzor dotazníku, výsledky dotazovaných)

Vzor dotazníku

Huml: DP na téma Výzkum interakce rozhraní adherend / lepidlo

Prosím o trochu Vašeho času a zodpovězení následujících otázek. Pomůžete mi tím odevzdat kvalitnější diplomovou práci.

Vše je striktně anonymní. Za odpovědi předem děkuji,

Huml

Jaký je Váš věk?

- do 18 let
- od 19 do 26 let
- od 27 do 50 let
- od 51 do 75 let
- nad 75 let

Jaké je Vaše pohlaví?

- Žena
- Muž

Jaké máte maximální dosažené vzdělání (včetně nyní studovaného)?

- nevystudované základní
- Základní škola
- Střední škola
- Vyšší odborná škola
- Vysoká škola
- Jiné:

Jaké zaměření jste studoval(a)?

- Ekonomické
- Technické
- Humanitní
- Učební obor
- Jiné:

Znáte základní pojmy nejen technologie lepení adheze, koheze? V případě kladné odpovědi, prosím, o stručnou charakteristiku v části Other.

- Ano
- Ne
- Jiné:

S jakými technologiemi spojování materiálů se setkáváte nejčastěji?

- Lepení
- Šroubování
- Pájení
- Svařování
- Nýtování
- Jiné:

Využíváte před lepením materiálů CHEMICKOU úpravu povrchu (např. odmaštění)?

- Ano
- Ne

Využíváte před lepením materiálů MECHANICKOU úpravu povrchu (např. broušení smirkem)?

- Ano
- Ne

Jaké materiály nejčastěji lepíte?

- Papír
- Sklo
- Dřevo
- Plast
- Kůže
- Kov
- Jiné:

Používáte i jiné druhy lepidel, než jsou tzv. "vteřinová lepidla"? V případě kladné odpovědi, prosím, o uvedení v části Other.

- Ano
- Ne
- Jiné:

Dodržujete pravidla uvedená na obale lepidla? V případě záporné odpovědi, prosím, uveďte důvod v části Other.

- Ano
- Ne
- Jiné:

Po jaké době se spojem manipulujete, předpokládáte jeho dostatečnou pevnost?

- do 10 vteřin
- do 1 minuty
- do 5 minut
- nad 5 minut

V jakém finančním intervalu lepidla nakupujete (za 1 rok)?

- nenakupuji
- do 100 Kč
- do 500 Kč
- nad 500 Kč

Výsledky dotazovaných

Datum	Věk	Pohlaví	Vzdělání	Vzdělání - zaměření	Znalost základních pojmů	Znamé technologie	Využití chemické úpravy	Využití mechanické úpravy	Materiály k lepení	Znalost jiných lepidel než tzv. "vteřinových"	Dodržování pravidel	Doba pevnosti spoje	Cena lepidel za rok
17.2.13 12:08	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano, adheze, přilnavost - chemické a fyzikální síly, jimiž se vzájemně poujají materiály; koheze, soudržnost - síly uvnitř lepidla, jež jsou důležité pro jeho soudržnost	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Papír, Kov	Ne	Ne, nezajímám se o pravidla	do 5 minut	do 100 Kč
17.2.13 21:13	do 18 let	Žena	Střední škola	Humanitní	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 10 vteřin	nenakupuji
17.2.13 21:30	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ne	Ano	Dřevo	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
17.2.13 21:35	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Dřevo	Ano, Nevím, o jaký druh se jedná	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
17.2.13 21:37	od 51 do 75 let	Žena	Střední škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ano	Plast	Ne	Ano	do 10 vteřin	do 100 Kč
17.2.13 21:53	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Lékařské	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Plast	lepidla určená k lepení papíru	Ne, používám pouze běžná lepidla na lepení papíru, plastu	do 5 minut	do 500 Kč
17.2.13 21:56	od 27 do 50 let	Muž	Střední škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ano	Papír, Sklo, Dřevo, Plast	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
17.2.13 22:11	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano	Lepení, Šroubování	Ano	Ano	Papír, Dřevo	Ano, tekuté hřebíky	snazím se	do 5 minut	do 500 Kč
17.2.13 22:12	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ne	Papír, Dřevo, Plast, Kůže	Ne	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
17.2.13 22:15	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
17.2.13 22:26	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Humanitní	Studuji lingvistiku, zkusím tipnout: adheze - přilnavost, koheze - "držení dohromady" (pevnost)	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ano, Herkules, tyčinkové lepidlo na papír	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
17.2.13 23:48	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	přirodovedne	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ano, chemopren, skolní lepidla v tube	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
17.2.13 23:48	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	přirodovedne	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ano, chemopren, skolní lepidla v tube	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 7:30	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano, teorie lepení, mez pevnosti v tahu, odlupování, zkouška přilnavosti lepidel	Šroubování, Svařování, Nýtování	Ano	Ano	Plast	Ano, dvousložkové	Ne, nečtu je	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 8:36	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 8:36	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Papír, Dřevo	Ano	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
18.2.13 8:38	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ano	Ano	Plast	Ne	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
18.2.13 8:40	nad 75 let	Muž	Střední škola	Humanitní	Ano, jedná se o vlastní držení lepidla a držení lepidla u materiálu	Šroubování	Ne	Ne	Papír, Dřevo	Ne	Ano	do 10 vteřin	do 100 Kč
18.2.13 8:46	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ne	Ano	Papír	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 8:47	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ano, herkules, chemopren	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 8:47	od 51 do 75 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ano, podle mne je adheze - přilnavost, a koheze - soudržnost	Lepení, Šroubování, Svařování	Ne	Ne	Papír, Dřevo, Kůže	Ano, na papír, na boty	částečně, tak aby to bylo co nejrychleji	do 1 minuty	do 100 Kč
18.2.13 8:48	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč

Datum	Věk	Pohlaví	Vzdělání	Vzdělání - zaměření	Znalost základních pojmů	Znamé technologie	Využití chemické úpravy	Využití mechanické úpravy	Materiály k lepení	Znalost jiných lepidel než tzv. "vteřinových"	Dodržování pravidel	Doba pevnosti spoje	Cena lepidel za rok
18.2.13 8:50	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ano, bohužel mě nenapadá, jak to dostatečně vysvětlit	Lepení, Šroubování	Ano	Ne	Papír, Dřevo	Ano	Ano	do 5 minut	nenakupuji
18.2.13 8:50	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Lepení	Ano	Ano	Papír, Plast	Ne	Ano	do 1 minuty	do 500 Kč
18.2.13 8:53	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ne	Ne, nečtu	do 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 8:57	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	žádné	Ne	Ne	keramika	Ne	Ano	nad 5 minut	nenakupuji
18.2.13 9:00	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Plast	Ne	Ano	do 1 minuty	nenakupuji
18.2.13 9:03	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ano	Dřevo	Ne	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 9:05	od 19 do 26 let	Žena	Vyšší odborná škola	pedagogické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír, Dřevo, Kůže	Ano, lepidla na papír, dřevo....	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 9:06	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Papír, Dřevo	Ne	Ne	do 10 vteřin	do 100 Kč
18.2.13 9:08	od 27 do 50 let	Žena	Vyšší odborná škola	umělecké	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ano, víceúčelová lepidla	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 9:09	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ne	Lepení, Šroubování, Nýtování, Lego :-)	Ne	Ano	Papír, Sklo, Dřevo	Ano, Herkules :-)	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 9:10	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Papír, Dřevo, Plast	Ano, Herkules, Klovatina, Chemopren	Ano	do 5 minut	nenakupuji
18.2.13 9:23	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Plast		Ano, chemopren	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 9:24	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Přírodní vědy-farmacie	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ano	Papír, Sklo, Kov	Ano, Chemopren	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 9:29	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ano	Ne	do 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 9:44	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Papír, Plast, Kůže	Ne		do 1 minuty	do 100 Kč
18.2.13 9:51	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ano	Ano	Papír, Plast	Ne	Ano	do 1 minuty	do 500 Kč
18.2.13 9:55	od 19 do 26 let	Žena	Střední škola	Humanitní	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 10:30	od 51 do 75 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování, Pájení, Svařování, Nýtování	Ano	Ano	Papír, Plast		Ano	do 5 minut	nenakupuji
18.2.13 11:33	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ne	Ne, návody jsou dlouhé a často zbytečné, až když je problém, návod přečtu	do 5 minut	nenakupuji
18.2.13 14:34	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Plast	Ano, ve spreji, na papír, chemopren	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 15:45	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ano	Lepení, Šroubování, prostě to prtlucu hřebíkem	Ano	Ano	Papír, Dřevo, Plast, syntetická kuze, kozenka	Ano	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 16:04	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč

Datum	Věk	Pohlaví	Vzdělání	Vzdělání - zaměření	Znalost základních pojmů	Znamé technologie	Využití chemické úpravy	Využití mechanické úpravy	Materiály k lepení	Znalost jiných lepidel než tzv. "vteřinových"	Dodržování pravidel	Doba pevnosti spoje	Cena lepidel za rok
18.2.13 18:19	od 19 do 26 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Lepení, Šroubování, Pájení, Svařování, Nýtování	Ano	Ne	Papír, Sklo, Plast, Kov	Ne	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
18.2.13 20:13	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano, Adheze-vzájemne přitahování dvou povrchu. Koheze-soudržnost určující kvalitu spoje	Lepení, Šroubování, Nýtování	Ano	Ano	Papír, Plast, Kov	Ne	Ano	do 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 20:15	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Technické	adheze = přilnavost, koheze = soudržnost	Lepení, Šroubování	Ano	Ano	Papír, Plast	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 20:21	od 27 do 50 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Lepení, Šroubování, Pájení, Svařování	Ano	Ano	Papír, Plast, Kůže	Ano	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
18.2.13 20:35	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Šroubování	Ano	Ne	Papír, Dřevo, Kůže, guma	Ano, chemopren	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 20:39	od 27 do 50 let	Žena	Střední škola	technologie masa	Ne	Šroubování	Ano	Ne	Papír	Ano, chemopren	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 20:40	od 19 do 26 let	Žena	Vyšší odborná škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
18.2.13 21:10	od 27 do 50 let	Žena	Vyšší odborná škola	Přírodovědné	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Dřevo, Kůže	Ano, Chemopren	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
18.2.13 21:44	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	lékařské	Ano	Lepení	Ano	Ano	biologické tkáně - zuby	Ano	Ano	do 1 minuty	nenakupuji
18.2.13 23:11	od 27 do 50 let	Žena	Střední škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ne	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ano, Herkules, patefix	Ano	nad 5 minut	nad 500 Kč
19.2.13 6:41	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Přírodovědné	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
19.2.13 7:31	od 27 do 50 let	Žena	Střední škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování, Pájení, Svařování	Ne	Ano	Papír, Dřevo, Plast	Ano, Herkules, Patex	Ano	do 5 minut	do 500 Kč
19.2.13 8:57	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Přírodovědné	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ano	Ano	Papír, Dřevo	Ano, disperzní lepidla	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
19.2.13 8:58	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ano	Ne	Papír, Kůže		Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
19.2.13 9:04	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ano	Ano	Dřevo, Kůže	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
19.2.13 10:34	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola		Ano, adheze = přilnavost, koheze = soudržnost	Lepení, Šroubování	Ano	Ne	Papír, Sklo, Plast	Ano, tmel?	Ano	nad 5 minut	nenakupuji
19.2.13 12:17	od 51 do 75 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Šroubování	Ano	Ano	Dřevo, Plast	Ano, chemopren, herkules			
19.2.13 12:18	od 51 do 75 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Šroubování	Ano	Ano	Dřevo, Plast	Ano, chemopren, herkules	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
19.2.13 12:19	od 51 do 75 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Šroubování	Ano	Ano	Dřevo, Plast	Ano, chemopren, herkules	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
19.2.13 15:57	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ano, chemopren	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
19.2.13 17:26	od 27 do 50 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Lepení, Šroubování, Pájení	Ne	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ne	Ano	do 5 minut	nenakupuji
19.2.13 18:58	od 51 do 75 let	Muž	Střední škola	Technické	Ano	Šroubování	Ano	Ano	všechno možné i nemožné	Ano	Ano	do 5 minut	do 500 Kč
19.2.13 19:28	od 51 do 75 let	Žena	Střední škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ano	Ano	Papír, Dřevo, Kůže	Ano	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
19.2.13 20:46	od 19 do 26 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Šroubování, Pájení	Ano	Ano	Papír, Plast, Kov	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
19.2.13 21:46	od 51 do 75 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Sklo	Ne	Ano	do 5 minut	do 500 Kč

Datum	Věk	Pohlaví	Vzdělání	Vzdělání - zaměření	Znalost základních pojmů	Znamé technologie	Využití chemické úpravy	Využití mechanické úpravy	Materiály k lepení	Znalost jiných lepidel než tzv. "vteřinových"	Dodržování pravidel	Doba pevnosti spoje	Cena lepidel za rok
19.2.13 22:48	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ano, Adheze = přilnavost, koheze = soudržnost	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Papír, Dřevo, Plast	Ano, Herkules	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
20.2.13 10:20	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Papír	Ne	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
20.2.13 10:33	od 19 do 26 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování, Nýtování	Ne	Ne	Kov	Ano	Ano	nad 5 minut	nad 500 Kč
20.2.13 10:36	od 27 do 50 let	Žena	Vyšší odborná škola	zravnictví	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ne	Ne	do 1 minuty	do 100 Kč
20.2.13 10:40	od 27 do 50 let	Muž	Střední škola	Technické	Ano	Lepení, Šroubování, Svařování	Ano	Ano	Dřevo, Plast, Kov	Ano	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
20.2.13 11:22	od 19 do 26 let	Žena	Vyšší odborná škola	Humanitní	Ne	Lepení	Ano	Ano	Papír, Dřevo	Ano	Ne	nad 5 minut	do 100 Kč
20.2.13 15:43	od 19 do 26 let	Žena	Střední škola	Ekonomické	Ne	Šroubování, Svařování	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
20.2.13 16:05	od 19 do 26 let	Muž	Vyšší odborná škola	právo	Ne	Šroubování	Ne	Ano	Plast	Ne	Ano	do 1 minuty	nenakupuji
20.2.13 17:22	od 27 do 50 let	Žena	Vyšší odborná škola	Sociální	Ne	Lepení	Ne	Ne	Sádrokarton	Ne	Ne	do 10 vteřin	do 100 Kč
20.2.13 17:45	od 19 do 26 let	Žena	Střední škola	poštovní manipulát	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
20.2.13 21:12	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ne	Ne	Papír, Plast	Ne	Ano	nad 5 minut	nenakupuji
21.2.13 20:29	do 18 let	Žena	Základní škola	základní škola	Ne	Lepení, hřebík a kladívko	Ne	Ne	Papír	Ne	Ano	do 1 minuty	nenakupuji
21.2.13 20:30	od 51 do 75 let	Muž	Vyšší odborná škola	Technické	Ne	Pájení		Ano	Dřevo, Plast	Ne	Ne, řídím se citem	do 5 minut	do 100 Kč
21.2.13 20:33	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Humanitní	Ano, adheze je schopnost materiálů přilnout k sobě, koheze je držení materiálu pohromadě	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Dřevo	Ano, lepidlo na dřevo, nevím název	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
21.2.13 20:34	od 19 do 26 let	Muž	Střední škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Plast, Kov	Ne	Ano	do 5 minut	nenakupuji
21.2.13 20:36	od 51 do 75 let	Muž	Střední škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ano	Plast	Ne	Ano	do 1 minuty	do 500 Kč
22.2.13 7:54	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	přírodovědné	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Sklo, Plast	Ano, herkules	Ano	do 1 minuty	do 500 Kč
22.2.13 20:13	od 27 do 50 let	Muž	Vyšší odborná škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Sklo, Kov	Ano, lepidla na sklo	Ano	do 5 minut	nad 500 Kč
22.2.13 20:43	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano, adheze je přilnavost entity k materiálu a koheze vlastní držení entity pohromadě	Lepení, Svařování	Ano	Ano	Papír, Dřevo, Kov	Ano	Ne, pracuji intuitivně	do 5 minut	nenakupuji
22.2.13 22:09	od 51 do 75 let	Muž	Střední škola	Humanitní	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Dřevo	Ne	Ano, Ne	do 1 minuty	do 100 Kč
23.2.13 9:32	od 51 do 75 let	Žena	Vyšší odborná škola	Ekonomické	Ne	přibíjení	Ne	Ne	Papír	Ne	Ne, nezajímám se o pravidla	do 1 minuty	do 100 Kč
23.2.13 10:24	od 27 do 50 let	Muž	Střední škola	Učební obor	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ne	Ne, nečtu to	do 1 minuty	do 100 Kč
23.2.13 12:23	od 27 do 50 let	Muž	Střední škola	Učební obor	Ano, adheze rozumíme přichycení materiálu k lepidlu a koheze je vlastní pevnost lepidla	Lepení, Svařování, Nýtování	Ano	Ano	Sklo, Plast, Kov	Ano	Ano	do 5 minut	do 500 Kč
23.2.13 15:54	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír, Dřevo	Ne	Ano	do 5 minut	do 500 Kč
23.2.13 15:56	od 51 do 75 let	Muž	Střední škola	Technické		Šroubování, Pájení	Ano	Ano	Dřevo, Plast	Ano, chemopren	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
23.2.13 16:51	od 27 do 50 let	Žena	Vyšší odborná škola	Ekonomické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Dřevo	Ne	Ne	do 1 minuty	do 100 Kč
23.2.13 18:59	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ano	Papír, Sklo, Dřevo, Plast	Ano, Herkules	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč

Datum	Věk	Pohlaví	Vzdělání	Vzdělání - zaměření	Znalost základních pojmů	Znamé technologie	Využití chemické úpravy	Využití mechanické úpravy	Materiály k lepení	Znalost jiných lepidel než tzv. "vteřinových"	Dodržování pravidel	Doba pevnosti spoje	Cena lepidel za rok
23.2.13 19:08	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano, mále znalosti tématu	Šroubování	Ano	Ano	Plast, Kov	Ano	dvousložková lepidla	nad 5 minut	do 500 Kč
23.2.13 19:30	od 19 do 26 let	Žena	Střední škola	Učební obor	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ne	Dřevo, Plast	Ano	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
23.2.13 19:44	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Technické	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír, Plast	Ano, tuhá lepidla na papír	Ano	nad 5 minut	do 100 Kč
23.2.13 21:11	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Papír, Plast	Ne	Ano	do 5 minut	nenakupuji
23.2.13 21:53	od 19 do 26 let	Muž	Vysoká škola	přirodní vědy (chemie)	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Papír, Plast	Ano, chemoprén, hercules, kanagon	Ne, příliš zdlouhavé, funguje to i bez jejich dodržení	do 5 minut	nenakupuji
24.2.13 17:24	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Humanitní	Ano	Lepení, Šroubování, Pájení	Ne	Ano	Dřevo	Disperzní, Epoxi			
24.2.13 17:25	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Humanitní	Ano	Lepení, Pájení	Ne	Ano	Dřevo	Disperzní, dvousložková epoxidová	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
24.2.13 19:16	od 27 do 50 let	Žena		Humanitní	Ne	Lepení		Ne	Papír	Ano, Herkules	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
24.2.13 19:24	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ano, adheze je přilnavost a koheze soudržnost	Lepení, Šroubování	Ano	Ano	Papír, Kůže	Ano, hercules, chemopren, pattex, tavné lepicí tyčinky, stříkací lepidla, izolepa	občas, podle časové náročnosti	do 1 minuty	do 500 Kč
24.2.13 20:10	od 27 do 50 let	Muž	Střední škola	Technické	Ne	Lepení, Šroubování, Svařování	Ne	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ano, tekuté hřebíky / vrtuty	Ano	nad 5 minut	nad 500 Kč
25.2.13 11:45	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	pedagogické	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír	Ano, tyčinkové lepidlo Cores, Bílá lepicí pasta, Herkules, Klovatina	Ano	do 5 minut	nenakupuji
25.2.13 15:46	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano, přilnavost a soudržnost	Lepení, Šroubování, Nýtování	Ano	Ne	Plast	Ano, epoxidová (dvousložková)	Ano	do 5 minut	nad 500 Kč
25.2.13 17:33	od 27 do 50 let	Žena	Vysoká škola	Humanitní	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ano	Papír, Dřevo, Kůže	Ne	Ano	nad 5 minut	do 500 Kč
25.2.13 21:34	od 19 do 26 let	Žena	Vyšší odborná škola	Humanitní	Ne	Lepení	Ne	Ne	Papír		Ano	do 1 minuty	nenakupuji
26.2.13 10:28	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Technické	Ano, přilnavost k materiálu a soudržnost vlastního lepidla	Lepení, Pájení, Svařování	Ne	Ano	Papír, Kůže, Kov	Ano, chemopreny, tuhá lepidla, tmely	Ano	do 5 minut	do 500 Kč
27.2.13 14:54	od 19 do 26 let	Žena	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ano	Ne	Papír, Dřevo, Plast	Ne	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
1.3.13 14:35	od 27 do 50 let	Žena	Vyšší odborná škola	Humanitní	Ne	Šroubování	Ne	Ne	Papír, Kůže	Ne	Ano	do 1 minuty	do 100 Kč
1.3.13 17:08	od 19 do 26 let	Muž	Střední škola	Technické	Ano	Šroubování, Pájení	Ano	Ano	Papír, Plast, Kov	Ano	Ano	do 5 minut	do 100 Kč
1.3.13 21:06	od 27 do 50 let	Muž	Vysoká škola	Ekonomické	Ne	Lepení, Šroubování	Ne	Ne	Papír	Ano, hercules	Ano	do 5 minut	do 500 Kč