

Česká Zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská



Vliv teploty na pevnost lepeného spoje PVAC lepidel

Diplomová práce

Jakub Elstner

Vedoucí práce: Ing. Bomba Jan, Ph.D.

Praha

duben2013

Na tomto místě bych rád poděkoval všem kteří mne během mého studia na vysoké škole podporovali, tedy v první řadě rodině, a přátelům, kteří mi v případě potřeby pomáhali.

Dále bych pak chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Bombovi, Ph.D. za jeho ochotu a trpělivost, kterou během zpracování mé práce projevil, a také za cenné rady a připomínky.

"Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv teploty na pevnost lepeného spoje PVAC lepidel vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Bomby, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

Jakub Elstner

V Praze dne 27.4. 2013

Abstrakt

Lepidla jsou důležitým materiálem používaným nejen v dřevařském průmyslu ale i mnoha dalších odvětvích, hlavně zaměřených na výrobu, ale také v běžném životě každého z nás. Během dvacátého století vývoj značně pokročil, a můžeme tak využívat množství lepidel určených pro rozličné druhy materiálů a podmínek, kterým budou lepené spoje vystaveny. Lepení je velmi komplexní pojem, který zajišťuje soudržnost lepených materiálů a umožňuje nám tak výhod lepených spojů využívat.

Práce se zabývá problematikou lepení obecně, a hlavně pak lepidly používanými pro lepení dřeva. V posledních letech jsou díky řadě výhodných vlastností, jako zdravotní nezávadnost, rychlé zpracování a výborná pevnost, velmi populární PVAC lepidla, kterým se práce věnuje více. Jednosložkové a dvousložkové PVAC lepidlo třídy odolnosti D4 italského výrobce Collanti Concorde bylo použito pro přípravu zkušebních vzorků dle normy ČSN EN 205. Ty byly následně vystaveny teplotám 20, 50, 80, 100 a 150°C a následně podrobeny zkouškám pevnosti ve smyku. Získané výsledky byly zpracovány do grafů, a vlastnosti obou použitých lepidel byly vzájemně porovnány. Stejná lepidla byla poté podrobena zkouškám odolnosti vůči působení vody dle normy ČSN EN 204, zdali skutečně splňují dané podmínky pro zařazení do třídy trvanlivosti D4.

Klíčová slova

Adhesiva, PVAC lepidla, Teplota, Pevnost ve smyku, třída trvanlivosti D4

Abstract

Adhesives are quite important material not only used in wood industry, and other mostly producing sectors, but well as in daily life of each of us. Thanks to the advanced development in the twentieth century there is numerous amount of different adhesive types, which is possible to use in a lot of different conditions for various materials. Adhesion is a very complex phenomenon which ensures the consistency of adhesive bonds. Thanks to adhesion we can use the advantages of adhesive bonding in our real life.

This diploma thesis is focused on adhesives used in wood industry, especially on PVAc adhesives which are more and more popular for their good properties. PVAc adhesives are environmental friendly, easy to use, the bonding rate is quite fast, and they create really strong bonds. Measurement of this thesis was realized on one- and two-component PVAc adhesives of an Italian producer Collanti Concorde. Measured specimens were made according to European standard EN 205. The shear strength was measured on specimens, which were exposed to different temperatures 20, 50, 80, 100 and 150°C. Later the results were elaborated into the graphs and the properties of both adhesives were compared. Other specimen of the same adhesives were used later for the test according to European standard EN 204, if the adhesives really meet the criteria of the standard to be included in durability class D4

Key words

Adhesives, PVAc, Temperature, Adhesive bond strength, D4 class

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíl práce.....	12
3. Rozbor problematiky.....	12
3.1. Vývoj používání lepidel.....	12
3.2. Lepení.....	13
3.2.1. Výhody lepeného spoje.....	13
3.2.2. Nevýhody lepení.....	14
3.3. Teorie lepení.....	14
3.3.1. Teorie mechanická.....	15
3.3.2. Teorie specifické.....	16
3.3.2.1. Polarizační teorie.....	16
3.3.2.1.1. Iontová vazba.....	16
3.3.2.1.2. Kovalentní vazba.....	17
3.3.2.1.3. Kovová vazba.....	17
3.3.2.1.4. Van der Waalsovy síly.....	18
3.3.2.1.4.1. Keesomovy síly.....	18
3.3.2.1.4.2. Debyeovy síly.....	18
3.3.2.1.4.3. Londonovy síly.....	18
3.3.2.1.5. Vodíkové můstky.....	19
3.3.2.2. Elektrostatická teorie.....	19
3.3.2.3. Teorie difúze.....	19
3.3.2.4. Adsorbční teorie.....	20
3.3.2.5. Teorie chemické vazby.....	21
3.3.2.6. Teorie Sterické adheze.....	21
3.3.3. Reologická teorie.....	21
3.3.4. Závěr adhesivních teorií.....	22
3.4. Funkce Lepidla.....	22
3.4.1. Smáčivost.....	23
3.5. Podmínky pro vytvoření kvalitního spoje.....	24
3.5.1. Čistota povrchu.....	24
3.5.2. Hladkost povrchu.....	24
3.5.3. Poréznost a nasákavost.....	25
3.5.4. Výběr lepidla.....	25
3.6. Vytvrzování lepidel.....	25
3.6.1. Lepidla tuhnoucí vlivem odtékání nebo vsáknutí rozpouštědel.....	26
3.6.2. Reaktivní lepidla.....	26
3.6.3. Tavná lepidla.....	26
3.6.4. Lepidla tuhnoucí zvýšením teploty nebo tlaku.....	27
3.6.5. Stále lepivá lepidla, citlivá na tlak.....	27
3.7. Dělení lepidel.....	27
3.7.1. Lepidla z přírodních surovin.....	29
3.7.1.1. Lepidla živočišného původu.....	29
3.7.1.1.1. Glutinová lepidla.....	29
3.7.1.1.2. Kaseinová lepidla.....	30
3.7.1.1.3. Albuminová lepidla.....	30
3.7.1.2. Lepidla rostlinného původu.....	30
3.7.1.2.1. Lepidla z rostlinných bílkovin.....	31

3.7.1.2.2. Škrobová lepidla.....	31
3.7.2. Syntetická lepidla.....	31
3.7.2.1. Tavná lepidla.....	31
3.7.2.2. Kontaktní lepidla.....	32
3.7.2.3. Reaktivní lepidla.....	32
3.7.2.3.1. Polyuretanová lepidla.....	32
3.7.2.3.2. Epoxidová lepidla.....	33
3.7.2.4. Kondenzační lepidla.....	33
3.7.2.4.1. Fenolformaldehydová lepidla.....	33
3.7.2.4.2. Močovinoformaldehydová lepidla.....	34
3.7.2.4.3. Melaminformaldehydová lepidla.....	34
3.7.2.5. Disperzní lepidla.....	35
3.8. Polyvinylacetátová lepidla.....	36
3.8.1. Výroba polyvinylacetátu.....	36
3.8.2. Obsah složek a vývoj PVAC lepidel.....	37
3.9. Reakce lepeného spoje na teplo.....	38
3.9.1. Tepelná odolnost PVAC lepidel.....	38
3.9.2. Reakce dřeva na teplo.....	38
3.9.2.1. Teplotní roztažnost.....	39
3.9.2.2. Přenos tepla.....	39
3.9.2.3. Odolnost vůči vysokým teplotám.....	39
4. Metodika.....	41
4.1. Použitá lepidla.....	41
4.1.1. Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4.....	41
4.1.2. Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C.....	42
4.2. Příprava vzorků.....	44
4.2.1. Příprava slepených sestav.....	44
4.2.2. Výroba zkušebních těles.....	45
4.3. Zkušební zařízení.....	46
4.3.1. Technické údaje zkušebního zařízení.....	46
4.4. Vlastní měření.....	47
4.4.1. Měření pevnosti lepených spojů v závislosti na teplotě.....	47
4.4.2. Měření, zda lepidla vyhovují parametrům třídy trvanlivosti D4.....	48
4.5. Odstranění zkreslujících hodnot.....	49
4.5.1. Grubbsův test extrémních odchylek.....	49
4.5.2. Dixonův test extrémních odchylek.....	49
5. Výsledky měření.....	50
5.1. Vliv teploty na pevnost spoje.....	50
5.1.1. Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4.....	50
5.1.2. Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C.....	51
5.1.3. Porovnání vlastností obou PVAC lepidel.....	52
5.2. Vliv krátkodobého působení tepla na pevnost spoje ve smyku.....	57
5.2.1. Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4.....	58
5.2.2. Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C.....	60
5.2.3. Porovnání vlastností obou PVAC lepidel.....	62
5.3. Ověření splnění parametrů třídy trvanlivosti D4 dle normy.....	62
6. Diskuze.....	67
6.1. Vliv teploty na pevnost spojů ve smyku.....	68

6.1.1. Vliv krátkodobého působení tepla na pevnost spoje.....	68
6.2. Ověření splňování parametrů pro zařazení do třídy trvanivosti D4.....	69
7. Závěr.....	70
8. Seznam Literatury a použitých zdrojů.....	70
9. Přílohy.....	72

Seznam obrázků

Obr. 1 Schematické zobrazení mechanické adheze	14
Obr. 2 Projevy různé smáčivosti kapalin	22
Obr. 3 Postupy výroby nejpoužívanějších lepidel na dřevo	33
Obr. 4 Graf závislosti pevnosti spojů PVAC lepidel na teplotě	36
Obr. 5 Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4	40
Obr. 6 Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C	40
Obr. 7 Hotový vzorek připravený k tahové zkoušce	42
Obr. 8 Znázornění napětí uvnitř vzorku podrobeného smykové zkoušce tahem	42
Obr. 9 Zkušební stroj s uchycovacími čelistmi	43
Obr. 10 Sušárna používaná k ohřevu vzorků	44
Obr. 11 Graf průměrných hodnot a směrodatných odchylek pro měření vlivu působení teploty na spoje lepené jednosložkovým PVAC lepidlem.	47
Obr. 12 Graf průměrných hodnot a směrodatných odchylek pro měření vlivu působení teploty na spoje lepené jednosložkovým PVAC lepidlem.	48
Obr. 13 Graf regresní analýzy pevnosti ve smyku v závislosti na teplotě pro obě měřená lepidla	49
Obr. 14 Graf analýzy rozptylu hodnot pevnosti v závislosti na teplotě pro oba typy lepidel	50
Obr. 15 Grafické zobrazení naměřených hodnot a jejich průměrů pro krátkodobé působení různých teplot na lepené spoje jednosložkového PVAC lepidla	51
Obr. 16 Graf průměrů hodnot pro posouzení statisticky významných rozdílů mezi hodnotami pevnosti spojů jednosložkového PVAC lepidla při krátkodobém působení různých teplot.	52
Obr. 17 Grafické zobrazení naměřených hodnot a jejich průměrů pro krátkodobé působení různých teplot na lepené spoje dvousložkového PVAC lepidla	53

Obr. 18 Graf průměrů hodnot pro posouzení statisticky významných rozdílů mezi hodnotami pevnosti spojů dvousložkového PVAC lepidla při krátkodobém působení různých teplot.	54
Obr. 19 Graf průměrů hodnot pro posouzení statisticky významných rozdílů mezi hodnotami pevnosti spojů dvousložkového PVAC lepidla při krátkodobém působení různých teplot.	55
Obr. 20 Graf hodnot ověření lepidel zda splňují požadavky třídy trvanlivosti D4	56

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled vazebných sil působících mezi molekulami látek	16
Tab. 2 Výsledné pevnosti ve smyku lepených spojů jednosložkového lepidla v závislosti na teplotě	47
Tab. 3 Výsledné pevnosti ve smyku lepených spojů dvousložkového lepidla v závislosti na teplotě	48
Tab. 4 Výsledné hodnoty naměřených pevností ve smyku při krátkodobém vystavení lepených spojů jednosložkového PVAC lepidla různým teplotám	51
Tab. 5 Hladiny statistické významnosti průměrů pevností pro jednosložkové PVAC lepidlo při krátkodobém vystavení spojů různým teplotám	52
Tab. 6 Výsledné hodnoty naměřených pevností ve smyku při krátkodobém vystavení lepených spojů dvousložkového PVAC lepidla různým teplotám	53
Tab. 7 Hladiny statistické významnosti průměrů pevností pro dvousložkové PVAC lepidlo při krátkodobém vystavení spojů různým teplotám.	54

1. Úvod

Dřevo jako materiál je lidstvem využíváno už od nepaměti. Dříve bylo používáno hlavně pro svou jednoduchou opracovatelnost, má však množství dalších užitečných vlastností, pro které je stále atraktivní a běžně používaný i v dnešní době. Používá se hlavně při výrobě nábytku, různorodých předmětů nebo konstrukcí. Až do dvacátého století bylo dřevo využíváno pouze v jeho masivní formě. Vývoj techniky však umožnil výrobu velkoplošných materiálů, které dokázaly odstranit některé vady a nedostatky masivního dřeva a zvýšit jeho výtěž. A to hlavně na základě použití syntetických lepidel.

Lepidla jsou výhodným a s oblibou využívaným způsobem spojení dvou a více materiálů. Působí na celou plochu spojení a nenarušují celistvost částí. V průběhu let bylo vyvinuto obrovské množství různých technologií, která se dnes pro lepení dřeva ale i jiných materiálů používají. Přestože syntetická lepidla byla vyvinuta teprve během minulého století, došlo za toto krátké období k jejich obrovskému rozvoji. Přesto doposud nebylo vynalezeno jedno univerzální lepidlo, které by splňovalo veškeré požadavky uživatelů, proto existují stovky lepidel a tmelů různorodých vlastností, určených pro specifické materiály, a prostředí použití. Pro každou situaci je tak nutno vybrat vhodné lepidlo, které bude vyhovovat daným podmínkám a požadavkům.

Pro lepení dřeva byla po staletí používána lepidla na přírodní bázi, hlavně v podobě kostního klihu, který tehdejšími požadavkům vyhovoval. Dnes jsou na lepidla kladeny daleko vyšší nároky, hlavně v případě výroby aglomerovaných materiálů, které jsou svou podstatou na soudržnosti a dostatečné odolnosti lepidel založeny. Pro svou odolnost byla v nedávné minulosti při výrobě nábytku velmi oblíbená montážní formaldehydová lepidla. Formaldehyd byl však stanoven jako zdraví škodlivá látka, a proto se dnes od lepidel s jeho obsahem upouští. To je hlavní důvod vývoje Polyvinylacetátových lepidel která se v nábytkářském průmyslu těší velké oblibě.

S rozvojem lamelových konstrukcí se požadavky na odolnost lepidel vůči vlhkosti či změnám teplot stále zvyšují a PVAC disperze jsou proto stále vylepšovány, aby splňovaly náročné požadavky zpracovatelů. A mohly být širěji použity i v méně příznivých podmínkách.

2. Cíl práce

Cílem práce bylo posoudit vliv teploty na pevnostní vlastnosti lepených spojů PVAC lepidel vysoké odolnosti vůči vlhkosti. Pro posouzení budou provedena měření za použití dvou typů PVAC lepidel, jednosložkového a dvousložkového, která obě podle údajů výrobce vyhovují parametrům třídy odolnosti vůči vlhkosti D4. Výsledky měření budou zpracovány do grafů a vlastnosti jednotlivých lepidel navzájem porovnány.

Dalším z cílů bylo provést ověření, zda použitá lepidla skutečně splňují dané parametry pro uvedenou třídu odolnosti D4. Budou provedena měření dle dané normy, pro zařazení do třídy D4 a ze získaných výsledků bude posouzena skutečná odolnost použitých lepidel.

V úvodní části práce bude zpracována literární rešerše zabývající se problematikou lepení dřeva a lepidel k tomuto účelu používaných.

3. Rozbor problematiky

3.1. Vývoj používání lepidel

Spojování materiálu lepidly je metoda známá a používaná již tisíce let. Za patrně nejstarší lepidla můžeme považovat bláto, živočišné výkaly nebo jíl, které jistě ke spojování materiálů sloužily od pradávna.

Již staří Egyptané používali lepidlo k výzdobě uměleckých předmětů. Babyloňané spojovali kamené stavby asfaltem a Římané směsí dehtu a včelího vosku lepili části svých lodí. Pravděpodobně už kolem roku 1500 před n.l. byly používány první živočišné klihy. V Thébách byl objeven starobylý reliéf, který zobrazuje zařízení na ohřev klihu.[12] I ve středověku byl k lepení dřeva využíván kostní klíh. Samozřejmě kromě něj byly využívány také další přírodní látky jako vaječný bílek, škrob, tvaroh, kaučuk nebo kalafuna.

Vývoj lepidel později stagnoval. Lepidla na přírodní bázi se sice začala v 17. století průmyslově vyrábět, ale až začátkem dvacátého století, došlo k vývoji nových syntetických lepidel na bázi formaldehydu, epoxidu nebo kaučukových lepidel na bázi speciálních syntetických elastomerů.[3] Syntetická lepidla byla v dalších letech zdokonalována, bylo vyvinuto množství nových adhesivních sloučenin, které vykazují vysoké odolnosti vůči tlaku, vlhkosti, teplotě a jiným vlivům, které mohou nepříznivě ovlivňovat pevnost spoje.

3.2. Lepení

Lepení je proces spojování materiálů pomocí adhesiv. Síly, které vyvolávají přilnavost lepidla k lepenému materiálu nazýváme adheze. Pevnost lepeného spoje je ovlivněna jednak adhezí lepidla k adherentu a jednak také samotnou soudržností filmu naneseného lepidla po ztuhnutí nebo vytrvzení. Pojem vzájemné soudržnosti částic materiálu nazýváme koheze. Pokud je koheze slepovaných dílů menší než adheze spoje, dochází při mechanickém namáhání k porušení souboru mimo lepený spoj. V opačném případě dojde k destrukci samotného spoje a jednotlivé dílce jsou od sebe znovu odtrženy. K vytvoření kvalitního soudržného spoje musí být lepidlo nanášeno na obě styčné plochy, které musí smáčet v tekutém stavu. V lepené spáře poté vznikne stejnoměrný film lepidla, který následně ztuhne a váže povrchy obou dílů.[1] Kvalitní adheze je vyžadována například při povrchové úpravě nátěrovými hmotami nebo foliemi. Spojované předměty neboli substráty či adherendy a lepidlo jsou obvykle různého složení. Pokud je adherend a lepidlo složení stejného, mluvíme o tzv. autoadhezi nebo také autohezi. Lepidla jsou kapalné látky nebo jsou na povrch adherendu nanášeny v roztaveném či plastickém stavu. Lepení je technický proces který se používá nejen na spojování dřevěných výrobků, ale je také velmi běžně používán ke spojování jiných materiálů.[3,4]

Stejně jako ostatní procesy má lepení svá pozitiva, ale i nevýhody. Vždy před použitím lepeného spoje je nutno uvážit zda je pro danou situaci vhodný a zda-li by nebylo lépe použít jiného typu spoje. [1]

3.2.1. Výhody lepeného spoje

- Je možno vzájemně spojovat stejné, nebo různé druhy materiálu, bez ohledu na jejich tloušťku nebo tvar.
- Jednotlivé lepené dílce nejsou použitím lepidel ve většině případů nijak narušovány a jejich celistvost, profil i estetický vzhled zůstává zachován.
- Lepené spoje mohou být v rámci potřeby vodotěsné i plynotěsné, což může být jedním z důvodů použití.
- Při použití v konstrukci lepený spoj tlumí vybrace a zvyšuje vzpěrovou pevnost a tuhost souboru.
- Celková hmotnost lepeného souboru zůstává nezměněna nebo se zvýší pouze minimálně.

- Lepidla, zvláště pak disperzní mohou být po použití transparentní nebo neznatelné.
- Lepením můžeme dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zvláště pak při smykovém namáhání a rázové houževnatosti [1]
- Lepený spoj rovnoměrně rozkládá působící síly mezi oba adherendy, případně přenáší účinky sil do větší plochy.
- Nebezpečí elektrochemické (galvanické) koroze mezi rozdílnými materiály je v případě spoje lepením minimalizováno.[2]

3.2.2. Nevýhody lepení

- Plochy lepených dílců na sebe musí dílce přesně doléhat, a musí být patřičně očištěny od prachových částic a jiných nečistot.
- U některých materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi je nutno povrch speciálně upravit.
- Lepené spoje nejsou rozebíratelné
- Životnost reaktivních lepících směsí je omezená
- Dosažení maximální pevnosti lepeného spoje podléhá časové prodlevě kdy probíhá vytvrzování lepidla.
- Lepené spoje mohou být nepříznivě ovlivněny změnou teploty, vlhkosti či tlaku.
- Skladovatelnost lepidel je časově omezena. [1]
- U již vytvrzených spojů je jen velmi těžko zjistitelné zda byla lepící směs nanesena správně a zda je rozprostřena po celém povrchu.
- Z některých lepidel se mohou uvolňovat zdraví škodlivé látky, a to i dlouho po vytvrzení.[2]

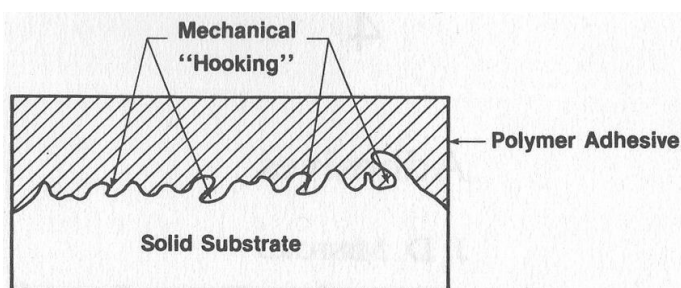
3.3. Teorie lepení

Adheze je jen velmi těžko definovatelný pojem, chceme-li zahrnout všechny jeho aspekty. V roce 1982 se o to pokusil Souheng Wu, překlad jeho definice by mohl znít asi takto: “Adheze odpovídá stavu v němž dvě nestejnorodá tělesa drží pohromadě na základě velmi těsného meziplošného kontaktu, kde mechanická síla nebo práce může působit napříč

spojením. Vzájemné síly, které tyto dvě plochy drží pohromadě mohou vyplývat z van der Waalsových sil, chemických vazeb nebo elektrostatické přitažlivosti. Mechanická pevnost systému je stanovena nejen vzájemně působícími silami ale také mechanickými vlastnostmi meziplošné oblasti a dvou lepených dílů pevného skupenství.“[2] Tato definice je jen velmi obecná a ve své podstatě se snaží zahrnout více teorií, které byly na základě úvah či experimentálního výzkumu stanoveny. V následujících kapitolách jsou různé teorie adheze vysvětleny podrobněji. Žádná z nich však nevystihuje všechny aspekty vlastní soudržnosti spoje a nelze ji uplatnit ve všech případech. Adheze samotná je vždy pro každý případ spojení kombinací několika teorií, a je jen velmi těžké stanovit, které teorie jsou pro daný spoj platné.

3.3.1. Teorie mechanická

Mechanická teorie adheze je nejjednodušší z teorií které se pojem adheze snaží definovat. Podle této teorie vzniká soudržnost lepeného spoje na základě vnikání částic lepidla do pórů a nerovností lepených povrchů. Po vytvrzení vzniká pevné spojení na základě vysokého tření lepidla v kapilárách a nerovnostech povrchu tělesa. Toto tvrzení bylo podpořeno faktem že pevnější spojení častěji vzniká mezi materiály s hrubším povrchem. Tato teorie bylo ovšem v roce 1926 zpochybněno práci Truaxa nebo v roce 1948 prací McLarena. Tito autoři tuto teorii vyvrátili na základě velmi pevných spojů vytvořených u nepórovitých substrátů. Teorii taktéž vyvrací fakt, že pevnost lepeného spoje je daleko vyšší při lepení dřeva v podélném řezu, než v řezu příčném, kde může lepidlo daleko lépe a intenzivněji vstoupit do kapilár a tudíž by se dle teorie dala očekávat daleko vyšší odolnost spoje.



Obr. 1 Schematické zobrazení mechanické adheze [13]

Penetrace lepidla do povrchu adherendu může zvýšit pevnostní vlastnosti spoje, je však otázkou, zdali je to zapříčiněno lepším mechanickým spojením látek, nebo zvětšením plochy styku a tím podpoření dalších fyzikálně chemických faktorů působících mezi lepidlem a substrátem. Názory vykládající lepení na základě chemické a mezimolekulové interakce lepidla s adherendem jsou shruty v následující kapitole.[2,3]

3.3.2. Teorie specifické

Specifické teorie jsou skupinou tvrzení, které se snaží adhezi vysvětlit některým z jevů, který je možno na rozhraní dvou látek předpokládat. Jako například vzájemnou přitažlivost molekul jednotlivých látek, jejich chemické vazby, mísení molekul jednotlivých látek a podobně. Uvádím zde sedm hlavních teorií, z nichž patrně nejobsáhlejší je teorie polarizační, která v sobě zahrnuje několik různých vazebných možností, které jsou v jednotlivých podbodech specifikovány.

3.3.2.1. Polarizační teorie

Polarizační teorie je jedním z nejstarších názorů, které se snaží vysvětlit vzájemnou přitažlivost molekul a publikoval ji v roce 1935 de Bruyne. Pro její chápání je nutno vycházet ze známých představ o stavbě hmoty a její skladbě z atomů a molekul. Atomy v molekule jsou spojeny velice pevnými chemickými neboli primárními vazbami. Tyto se dělí na tři různé druhy vazeb: Iontové (elektrokovalentní), kovalentní a kovové.[3,4] Tyto vazby se od sebe liší jednak strukturou ale také rozdílnou disociační energií. Pojem disociační energie udává množství energie, které je nutno vynaložit k porušení vazby atomů. Kromě těchto tří skupin jsou atomy a molekuly vázány ještě silami van der Waalsovými, nebo vodíkovými můstky, které jsou však ve srovnání s primárními vazbami mnohem slabší.[6]

Teorie polaritity tak předpokládá že všechny molekuly, které se navzájem obklopují ovlivňují ostatní a jsou zároveň ovlivňovány přitažlivými silami, které působí uvnitř molekul nebo mezi nimi. Platnost této teorie je zřejmá. Lze si to jednoduše ověřit na příkladu spojení polárních organických polymerů například epoxidové pryskyřice nebo polyvinylchloridu s kovy. Tyto látky díky své polaritě vytvářejí s kovy daleko pevnější spojení než nepolární látky jako polyethylen nebo polypropylen. Všechny jevy adheze však není možno vysvětlit pouze polaritou, například nepolární hmoty takto vázány být nemohou a předpoklad, že polární substráty je možno lepit pouze polárním lepidlem se nepotvrdil, stejně jako předpoklad lepení nepolárních substrátů lepidly pouze nepolárními.[11]

3.3.2.1.1. Iontová vazba

Působením přitažlivých a odpudivých sil mezi atomy vzniká intramolekulární chemická vazba. Elektrokovalentní vazby se tvoří za předpokladu, že jeden atom odevzdá ze svého vnějšího elektronového obalu jeden elektron atomu druhému. Tím dojde k přeměně parciálních nábojů obou atomů. Atom, který převzal elektron (akceptor) je nabit záporně a

druhý, jenž elektron daroval (donor) je nabit kladně. Výsledkem opačných nábojů atomů mezi nimi dochází k elektrostatistické přitažlivosti. Touto přitažlivostí jsou oba nabité atomy spojeny v molekulu. Vytvořené spojení je velmi pevné, odolné vůči vysoké teplotě a obtížně porušitelné polárními rozpouštědly. Tento druh vazby je charakteristický pro anorganické sloučeniny, a hodnota jeho vazebné (disociační) energie se pohybuje v rozmezí 314 a 1 467 kJ/mol.

3.3.2.1.2. Kovalentní vazba

Vazba kovalentní je tvořena dvěma atomy, které mají ve své vnější elektronové vrstvě jeden společný elektronový pár. Soudržnost je tedy tvořena vazbou tohoto elektronového páru. Tato vazba se vyskytuje hlavně v organických sloučeninách, jimiž jsou také lepidla. Kovalentní vazby mohou být jednoduché, dvojité nebo trojité, v závislosti na počtu vazebných elektronových párů ve valenčních vrstvách vázaných atomů, a disociační energie zde může nabývat hodnot 105 až 940 kJ/mol, v průměru nejčastěji okolo 420 kJ/mol.[3,4]

3.3.2.1.3. Kovová vazba

Kovová vazba vzniká mezi atomy kovu a je způsobena elektrostatickou přitažlivostí kationtů kovů a valenčních elektronů. Atomy tvořící strukturu kovu jsou obklopeny vždy vyšším počtem atomů, než je počet jejich elektronů podílejících se na vzniku vazeb ve valenční vrstvě. Jednotlivé atomy jsou vázány v krystalické mřížce, všechny vazebné elektrony jsou společné všem atomům v mřížce a v místech nezaplňených elektrony vznikají kladné náboje. Tyto pak umožňují přesunu valenčních elektronů z místa na místo a způsobují výbornou tepelnou a elektrickou vodivost kovů.[5,6] Disociační energie, nebo v případě kovů přesněji sublimační energie, která zajišťuje soudržnost struktury kovů se pohybuje v hodnotách od 76 kJ/mol (Cs) do 563 kJ/mol (B).[7]

Tab. 1 Přehled vazebných sil působících mezi molekulami látek [11]

Vazebné síly	Fyzikální vazby			Vodíkové můstky	Chemické vazby	
	Kesomovy	Debyeovy	Londonovy		Kovalentní	Iontové
Rozsah působení [nm]	0,3 – 0,5			0,3 - 0,5	0,1 – 0,2	
Vazebná energie [kJ/mol]	< 20	< 2	0,1 – 40	< 50	60 – 700	600 - 1000
Matematicky vypočtená pevnost vazeb[MPa]	200 – 1750	35 – 300	60 – 360	500	17500	5000; 30
Pevnost spojení měřena experimentálně [MPa]	15 - 25					

3.3.2.1.4. Van der Waalovy síly

Kromě chemických vazeb vznikají mezi atomy a molekulami ještě další, poněkud slabší, přitažlivé síly, které určují mnoho fyzikálních vlastností organických sloučenin. Tyto fyzikální, nebo sekundární síly bývají označovány jako van der Waalovy a dělí se do tří kategorií: Keesomovy, Debyeovy a Londonovy síly. Z nich mají největší význam pro lepení keesomovy síly, je zde však důležitá přítomnost polárních skupin, a Londonovy disperzní síly, které vyžadují vysokou molekulovou hmotnost sloučenin, např. přírodních a syntetických polymerních látek.[4]

3.3.2.1.4.1. Keesomovy síly

Keesomovy síly vznikají při interakci dvou permanentních dipólů. Dipóly vznikají v jednoduchých molekulách kde jsou vázány atomy vyšší atomové hmotností na atomy s nízkou atomovou hmotností, například při spojení Kyslíku (A_r 16) a vodíku (A_r 1) Velký rozdíl se projeví posunem vazebného elektronového páru těchto atomů blíže k tomu elektronegativnějšímu. Náboj takové molekuly je poté na straně elektronegativnějšího atomu záporný a na druhé straně kladný. Vazba mezi atomy pak získává polární charakter a orientace molekuly, která působí jako dipól, ovlivňuje i ostatní podobné molekly a vytváří mezi nimi specifickou přitažlivost. Příkladem molekulových dipólů může být vazba mezi uhlíkem a kyslíkem nebo dusíkem, či halogeny. Stupeň polarity takových molekul se nazývá dipólový moment a je součinem vzdálenosti atomových jader s výsledným nábojem.[3,11]

3.3.2.1.4.2. Debyeovy síly

Debyeovy síly nebo síly indukovaných dipólů vznikají interakcí permanentního dipólu a molekul, které jsou schopné polarizace na základě indukce. V důsledku stejné orientace dipólů vznikají stálé přitažlivé síly, které však mají v porovnání se silami permanentních dipólů (keesomovy síly) velmi nízkou energii. Avšak právě tyto síly hrají patrně velkou roli při spojení organických látek a polárních skupin na hladkém povrchu kovů.[11]

3.3.2.1.4.3. Londonovy síly

Síly Londonovy, neboli disperzní mohou vznikat mezi molekulami s neperanentními dipóly. Jsou založeny na faktu, že elektrony oscilující kolem atomových jader vytvářejí v molekulách slabé kolísavé napětí, které částečně ovlivňuje kolísavé napětí obklopujících molekul podobných vlastností. Velikost těchto sil je rovněž velmi malá, působí na velmi malou vzdálenost, a pohybuje se mezi 0,8 a 10 kJ/mol.[3,11]

3.3.2.1.5. Vodíkové můstky

Vodíkové můstky jsou speciálním případem interakce mezi dipóly. Vodík je kovalentně vázán na elektronegativní atomy, nejčastěji na kyslík. Tyto vazby mohou působit intermolekulárně, mezi molekulami, nebo intramolekulárně, když spojují skupiny atomů uvnitř molekul. Vazby vodíkovými můstky jsou silnější než van der Waalsovy síly, a jejich disociační energie dosahuje 20 až 42 kJ/mol při vzdálenosti molekul od 0,2 do 0,3 nm.[4]

3.3.2.2. Elektrostatická teorie

Kolem roku 1950 Derjagin a Krotovova publikovali teorii, která byla založena na působení elektrostatických sil. Tvrdili, že tyto síly jsou dostatečné, aby vytvořili pevné spojení dvou látek. Tyto předpoklady demonstrovali při pozorování elektrických výbojů během odtrhávání filmu lepidla od substrátu. Derjagin tvrdil, že samotné chemické vazby, nebo van der Waalsovy síly nemohou dát vzniknout natolik silnému spojení, jaké bylo zjištěno při trhacích zkouškách lepených materiálů. Jeho vysvětlení vychází z předpokladu, že dvojvrstva filmu lepidla a adherendu tvoří ve své podstatě kondenzátor, a při jejich odtržení vzniká rozdíl v napětí, jenž způsobuje výboj. Ovlivnění adheze elektrostatickými náboji nebylo dostatečně prokázáno, je totiž možné, že náboj se tvoří pouze v momentě odtrhávání. Měřené hodnoty energie při odtržení jsou značně vyšší, než je možno očekávat od účinku molekulárních sil. Tuto teorii také nelze použít pro lepení nepolárními polymery. [4,13,14]

3.3.2.3. Teorie difúze

Teorie difúze vysvětluje adhezi tzv. mikro-Brownovým molekulovým pohybem. Molekuly adherendu migrují do pojiva a obráceně. Tento jev může být dobře patrný při spojení dvou polymerních látek s relativně dlouhým molekulovým řetězcem. V šedesátých letech dvacátého století na tuto teorii upozornil Voyutski, který zdůrazňoval, že z pohledu molekulární struktury složek jsou polymery živoucí subjekty, spíše než statické materiály, a to hlavně při nedostatečném zesíťování řetězců. Nesíťované řetězce jsou pohyblivé a vyhledávají prostor k navázání. V takovém případě může dojít i k přesunu celých molekul do prostoru jiného materiálu. Vlastnosti materiálů a podmínek během lepení ovlivňují, do jaké míry bude difúze mezi materiály probíhat. Obvykle mezifázová difúze probíhá ve vrstvě o tloušťce 1-100 nm. Stmelování rozpouštědel nebo vytvrzování termoplastů působením tepla je vysvětlováno právě difundováním jejich molekul.[2,11]

Platnost této teorie byla experimentálně odzkoušena, ovšem v určitých hranicích. Byly také dokázány některé vztahy mezi pevností adheze a tlakem, dobou nebo teplotou kontaktu. Pevnost adheze totiž s dobou kontaktu roste a zvýšení tlaku díky lepšímu dotyku látek zvyšuje množství difundujících molekul. Rychlost difúze stoupá se zvýšením teploty, a tedy i pevnost lepení. Malé molekuly difundují lépe ale výrazně pevnost lepení nezlepšují, velké rozvětvené nepohyblivé molekuly naopak difúzi zhoršují, tím také adhezi. Plastifikátory tedy mají kladný vliv, podporují-li difúzi, avšak musí být použity v omezeném množství. Difúzní adheze je uplatněna pouze v případech, kdy jsou předpoklady předpoklady pro vytvoření kaučukoelastického stavu a to alespon na povrchu styčných ploch. Toho může být dosaženo u termoplastů zahřátím, nebo nabotnáním povrchu rozpoštědly.[4]

3.3.2.4. Adsorbční teorie

Adsorbční teorie je založena na jevu adsorbce, což je působení sil na povrchu látek, které dokáží vázat cizí materiál. Na dotykové ploše dvou fází se vytvoří tzv. fázové rozhraní, kde se vyskytuje volná energie. Tato volná energie je způsobena tím, že nemůže být spotřebována na vázání částic v okolí, jako tomu je uvnitř látky. Tato volná energie je příčinou povrchového pětí kapalin, u pevných látek tento jev zmenšování objemu neplatí pouze kvůli jejich tuhosti a nepoddajnosti. Volná energie na povrchu pevných látek tak ovlivňuje adhezi, jelikož podporuje smáčení, tedy roztečení tekutého adheziva po povrchu adherendu. Kvůli změně této volné energie je nutno vynaložit určito práci pro oddělení kapaliny přidržené k povrchu pevné látky. Je však nutno brát v úvahu velikost povrchových energií obou látek. Lepení pevných látek s nízkou hodnotou volné energie kapalinami s vysokým povrchovým pětím může být obtížné. Sharpe a Schonhorn v roce 1964 proto stanovili pravidlo, že adheze může být dostatečná pouze tehdy, je-li povrchové pětí lepidla menší než volná energie na povrchu adheredu. Došli také k hypotéze, že smáčivost v systému kapalina pevná látka je platná i v případě, že kapalina tohoto systému přejde do pevného skupenství. Tuto teorii potvrzuje například experiment, ve kterém bylo zjištěno, že je velmi obtížné slepit polyetylen epoxidovou pryskyřicí, avšak slep pevné epoxidové pryskyřice zkapalněným polyetylenem vytváří velmi pevné spojení. Tento fakt značně odporuje polarizačním teoriím.[3]

3.3.2.5. Teorie chemické vazby

K vytvoření chemické vazby mezi lepidlem a substrátem je potřeba větší množství energie. Jejich vznik tudíž není tak častý, ale ve spojích se přesto objevují, což bylo prokázáno mnohými experimenty. Prokázat chemické vazby se podařilo například Lewisovi a Forrestalovi v roce 1964, nebo na konci šedesátých let dvacátého století Brockmannovi. Lepení všeobecně probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb nepodporují. Případné vzniklé chemické reakce vznikají jen na povrchu materiálu avšak pevnost spojení jednoznačně zvyšují. Chemické vazby vznikají především při lepení pevných materiálů reaktivními lepidly. Je známá reakce nízkomolekulárních meziproductů malminových a močovinnových lepidel se skupinami -OH, je tedy velmi pravděpodobné, že lepidla takto reagují i s -OH skupinami polysacharidů dřeva. Polyisokyanátová lepidla ragují velmi podobně.[4, 11, 14]

3.3.2.6. Teorie Sterické adheze

Dalším zajímavým vysvětlením adheze mezi polárními a nepolárními hmotami, jako například dřeva a polyethylenu, je představa, že roztavený polyethylen vniká vlivem působení tlaku do submikroskopických prostorů buněčné blány dřeva a po ztuhnutí vytvoří inkluzivní spojení. Tedy spojení, které není závislé na účinku primárních nebo sekundárních vazeb. Tento druh spojení nazýváme sterickou adhezí. Narozdíl od mechanické adheze nejde o vnikání do mikroskopických kapilár dřeva, nýbrž o stereochemické pochody mezi skupinami molekul v submikroskopických kapilárách.[3]

3.3.3. Reologická teorie

Reologická teorie je poměrně mladou teorií, která tvrdí, že výsledná pevnost lepeného spoje je vždy dána výhradně fyzikálně mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které jsou zde použity. Při podrobném průzkumu bylo zjištěno, že lepený soubor nikdy není porušen přesně na rozhraní spoje, ale zlom nastane vždy kohezivně v jednom z materiálů. Tento fakt mimochodem vykládal Brockmann jako důkaz teorií o chemických vazbách materiálů. Z bezvýlučně kohezivních porušení můžeme usuzovat, že koheze jednotlivých částí lepeného souboru je nejdůležitějším prvkem při posuzování pevnosti spoje. Tato teorie se tedy nezabývá působením mezifázových sil, ale stanovuje pevnost výhradně na základě vlastností použitých materiálů. Neobjasňuje tedy vznik spojení mezi lepidlem a adherentem, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spoje.[14]

3.3.4. Závěr adhesivních teorií

Ani jedna z uvedených teorií jasně a uspokojivě neobjasňuje termín adheze se všeobecnou platností. Každá z nich je platná vždy pouze pro specifické případy lepení. Dle množství různých výkladů je jasné že adheze není jednoduchý proces, ale složitý komplex mnoha různých fyzikálně chemických pochodů probíhajících současně. Proto je velmi těžké jednotlivě tyto procesy uspokojivě dokázat. I přesto dnes známe mnoho vlastností a předpokladů kterým musí kvalitní lepidlo vyhovovat. Také víme za jakých podmínek a jakým způsobem může být kvalitního lepeného spoje dosaženo a čeho se máme během lepení vyvarovat.

Všechny teorie lepení, ač různorodé, se v mnohém shodují. Je například nutné zajistit dostatečné přiblížení molekul adhesiva a substrátu, aby mezi nimi došlo k interakci a následně adhezi. To je důvod, proč by lepidlo v okamžiku lepení mělo být kapalné, nebo alespoň plastické, aby se ideálně přizpůsobilo povrchu adherendu. Aby bylo dosaženo dostatečného smáčení, musí být povrchové pětí lepidla nižší než povrchové pětí substrátu. Smáčivost je výsledně důležitější než polarita látek. Lepidlo musí být v lepené spáře udrženo určitý čas v kapalném stavu, aby se jeho molekuly stihly orientovat. Přitom mohou účinkovat van der Waalsovy nebo polarizační síly, či dochází k difúzi následkem Brownova pohybu. V některých případech může dojít i k chemickým reakcím mezi povrchovými molekulami lepidla a substrátu.

Pevnost slepu závisí také na charakteru povrchové vrstvy adherendu, a jeho úpravou můžeme dosáhnout značného zlepšení. Adheze je také významně ovlivněna molekulovou hmotností lepidla, neboť se stoupající hmotností molekul lepidla stoupá také jeho koheze. To však platí pouze po určitou mez, kdy se začne zhoršovat pohyblivost molekul a orientace dipólů, nebo se omezuje difúze nepolárních látek. Co se týče tloušťky nánosu lepidla, platí víceméně pravidlo, že čím je vrstva tenší, tím je spoj pevnější. U nepórovitých substrátů je naopak nutno povrch naopak zdrsňit a tím vrstvu nánosu zvětšit. Zdrsňení povrchu výsledně značně zvýší pevnost spoje. Adheze se také může zlepšit při zvýšení tlaku, teploty nebo lisovací doby, jelikož je tím zintenzivněna orientace molekul lepidla.[4]

3.4. Funkce Lepidla

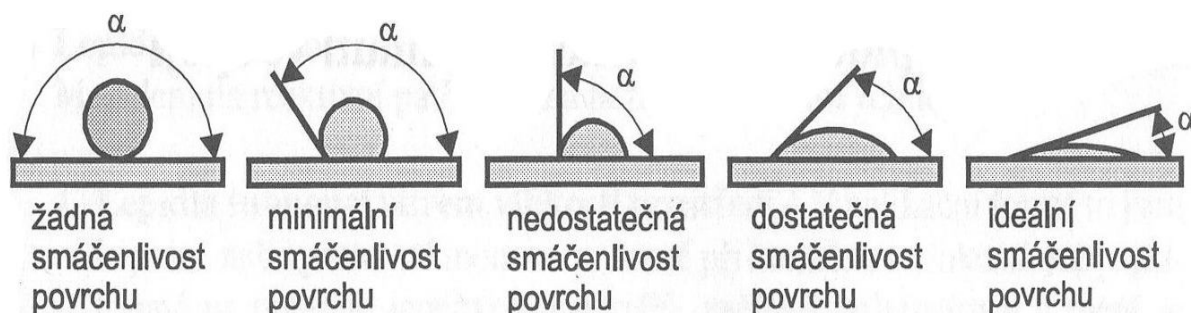
Adhesivum, neboli lepidlo je materiál, který se používá k trvalému spojení ploch dvou dílců pomocí lepeného spoje. Disponuje vysokou mírou adheze a jeho výjimečnou vlastností

je schopnost navázat se množstvím vazeb ke každé ze dvou spojovaných částí tak, že ze dvou separátních sekcí vznikne jedolitě těleso. V porovnání s váhou spojovaných částí je k vytvoření kvalitního spoje potřeba jen relativně velmi malé, až zanedbatelné množství lepidla. Výsledná hmotnost tělesa je tedy téměř stejná jako součet hmotností obou těles.[2]

Lepené spoje často poskytují vazby které jsou mechanicky stejně odolné nebo ještě odolnější než spojení klasickými montážními prostředky. Působí li na lepený soubor cizí síly, je napětí přeneseno z jedné plochy na druhou, a to daleko rovnoměrněji, než při použití ostatních spojovacích prostředků.[1]

3.4.1. Smáčivost

Smáčivost je důležitou schopností lepidla, která umožňuje dostatečné přiblížení lepených materiálů, aby mohly dojít uplatnění adhezní a kohezní síly. U většiny pevných materiálů je totiž velmi obtížné dostatečně těsně k sobě přiblížit plochy spojovaných materiálů, aby došlo k interakci jejich molekul. Tekutá lepidla však dokáží vyrovnat jejich nerovný povrch a tak vyplnit volné, vzduchem vyplněné prostory mezi lepenými plochami. Smáčivost je charakterizována okrajovým úhlem (viz obrázek).



Obr. 2 Projevy různé smáčivosti kapalin.[9]

Aby byla smáčivost lepidla dostatečná, musí dojít k porušení kulového tvaru kapky kapaliny. To vyžaduje, aby přitažlivé síly povrchu lepené plochy byly vyšší než povrchové pětí lepidla. Pokud je kulovitý tvar skutečně porušen, dojde k rozlití lepidla po materiálu. To je předpokladem vzniku adheze. Pokud je smáčivost lepidel malá, upravuje se přidáním tzv. smáčedel. Smáčivost může být také nepříznivě ovlivněna prašností povrchu substrátu, jeho mastnotou, nebo také například příliš vysokým obsahem pryskyřic některých dřev.[12]

3.5. Podmínky pro vytvoření kvalitního spoje

Pevnost spoje může být ovlivněna různými faktory a při samotném lepení musíme vyhovět některým požadavkům. Je třeba se dostatečně věnovat výběru lepidla, konstrukci

lepeného spoje, vyčištění povrchů lepených částí, jejich smáčivosti, a v neposlední řadě je třeba aby samotný proces lepení proběhl dle požadavků zvoleného adheziva

3.5.1. Čistota povrchu

K dosažení kvalitního spojení se předpokládá dokonalý styk lepidla s povrchem lepeného materiálu. Je tedy nutno začít s vyčištěním lepených ploch adherendů. Různé materiály jako prach, mastnota, zbytky starých nátěrů a lepidel, plísně, vosky, olej nebo jiné tekutiny, či slabá vrstva koroze a podobně musí být z lepeného spoje odstraněny. V opačném případě může nastat spojení lepidla nikoli se substrátem, ale pouze s tenkou vrstvou nečistot na povrchu, a pevnost spoje tak bude velmi nepříznivě ovlivněna.[2]

3.5.2. Hladkost povrchu

Lepené plochy tuhých materiálů by měly být jemně opracované, nikoli hlazené či leštěné. Přiměřené zdrsnění povrchu materiálu má na pevnost spoje příznivý vliv, jelikož zvětšuje absolutní plochu možného styku materiálu s lepidlem. Zdrsňování povrchu materiálu však nesmí vést k snižování vlastní soudržnosti materiálu, u dřeva rozvlákňováním. [1]

3.5.3. Poréznost a nasákavost

Nasákavost a poréznost lepeného materiálu výrazně zvětšují plochu styku filmu lepidla s povrchem adherendu. Jsou-li splněny ostatní požadavky pro vznik pevného spoje, mohou nasákové a pro plyny propustné materiály, jako například dřevo, poskytnout obecně lepší podmínky k lepení, než ostatní materiály. [1,2]

Nasákavost má však i své nevýhody. Lepidlo rychleji vsakuje do materiálu, čím je viskóznější, tím lépe, a může tak dojít k nesudržnému (chudému) spoji, kdy byla většina lepidla nasáta do materiálu a ve samotném spoji vznikne jeho nedostatek. Při lepení propustnějších materiálů je tedy nutno dbát na dostatečnou viskozitu lepidla, jeho reaktivitu a dostatečný nános na lepený povrch.[1]

3.5.4. Výběr lepidla

Na trhu je dnes dostupné obrovské množství lepidel nepřeborné množství materiálů, které je potřeba spojovat lepením. Výběru lepidla bychom proto měli věnovat patřičnou pozornost, neboť každé z nich má své specifické požadavky, výhody a nevýhody, nebo je určeno pro použití ve specifických podmínkách. Použití lepidla je proto nutné vždy

odvozovat od povahy adherendů, a požadavků na výsledný lepený spoj. Je také třeba předem zvážit v jakém prostředí bude probíhat vytvrzování spoje a v jakém časovém horizontu k úplnému vytvrzení za daných podmínek může dojít. Každý uživatel lepidla by měl být před jeho použitím dostatečně informován o správném způsobu použití adheziva, také o bezpečnostních pravidlech která by se měla během manipulace s danou látkou dodržovat.

3.6. Vytvrzování lepidel

Lepidla jakožto makromolekulové látky koloidního charakteru disponují vlastností přechodu z kapalného skupenství – solu – do skupenství tuhého s vysokou kohezí – gelu. Kvalita lepeného spoje není ovlivněna jen chováním lepidla při jeho nanášení na substrát nebo při vytvrzování, ale také vlastnostmi filmu lepidla v lepené spáře. Působením vnějších vlivů jako vlhkost, vzduch a teplota může vzniknout vnitřní napětí a procesy tečení. Rozsah procesů tečení je dán reologickými vlastnostmi vytvrzeného lepidla.

V důsledku adsorbce vlhkosti může dojít k objemovým změnám substrátu. Film adheziva tak musí být dostatečně pružný, aby byl schopen se přizpůsobit. Je tedy lépe použít méně křehké a houževnatější lepidla. Některá lepidla mohou při trvalém zatížení vykazovat tečení. Jedná se zejména o termoplastická lepidla.[8] Procesy, které ovlivňují tvrzení adhesiv, mohou být různého charakteru. Lepidla tak lze rozdělit do několika skupin.

3.6.1. Lepidla tuhnoucí vlivem odtěkání nebo vsáknutí rozpouštědel

Obsahují 20 až 60 % přírodních nebo syntetických filmotvorných látek, které jsou rozpuštěné ve vhodném rozpouštědle, jako voda, líh nebo aceton a podobně. Tyto látky mohou být také dispergované ve vodě či organických rozpouštědlech. Pro vytvoření spoje musí být jeden z lepených materiálů propustný pro plyny. Po vsáknutí nebo odpaření vody či rozpouštědla se jemné polymerní částice slinou v souvislý film. K tomuto slinutí však může dojít pouze když je dosažena minimální filmotvorná teplota, která je ovšem pro každou disperzi jiná. Obvykle se pohybuje mezi 10 a 12°C.[1,9] Je-li teplota příliš nízká, dochází k takzvanému křídování PVAC a adheze lepidla je nedostatečná.[8]

3.6.2. Reaktivní lepidla

K tuhnutí dochází vlivem chemických změn během vytvrzování. Nárůstem relativní molekulové hmotnosti v důsledku zesíťování molekul polykondenzačními a polyadičními reakcemi tvoří velmi pevné a nevratné sloučeniny.[4] Lepidla tohoto typu neobsahují

rozpouštědla mohou být jedno nebo vícesložková. U jednosložkových lepidel je chemická reakce vyvolána vnějšími vlivy, např. teplotou, vzdušnou vlhkostí stykem s kovy apod.. Reakce vícesložkových lepidel je aktivována smícháním oddělených složek. Spoje reaktivních lepidel mají dobrou tepelnou odolnost, odolnost vůči rozpouštědlům, vodě i povětrnosti.[1]

3.6.3. Tavná lepidla

Tato lepidla jsou vyráběna z různě modifikovaných termoplastů. Dodávají se v granulované formě, nebo v podobě tavných tyčinek. Nanášejí se vždy jednostranně na spojovaný materiál ve formě taveniny o teplotě 120 až 200°C.[1] K vytvrzení dochází ochlazením do normální teploty. Jsou-li vhodně smíchány látky s vyšší a nižší molekulovou hmotností, lze vytvořit filmy lepidla s velmi dobrými kohezními vlastnostmi. Tavná lepidla neobsahují rozpouštědla, k vytvrzení tedy dojde velmi rychle a není třeba ze spoje odvádět páry.[4] Vytvrzený spoj se téměř nesmršťuje a dobře vyrovnává pnutí mezi spojovanými díly. [9]

3.6.4. Lepidla tuhnoucí zvýšením teploty nebo tlaku

Tento velmi specifický případ tvrzení lepidla se vyskytuje u krevního albuminu, kterým se občas spojují mokré dýhy. K tvrzení dojde denaturací bílkovin pomocí působení vyšších teplot.[8]

3.6.5. Stále lepivá lepidla, citlivá na tlak

Jejich konzistence zůstává ve spoji nezměněna, jsou stále vláčná a lepivá. Jsou vždy spojena s vhodným nosičem a spoj vzniká bezprostředně po přitlačení lepící vrstvy k povrchu materiálu. Slouží k rychlému, na pevnost spoje nenáročnému spojování a dodávají se v podobě lepících pásků, štítků, tapet a podobně. Měkký přilnavý film umožňuje dočasné spojování materiálů, které mají špatné adhezivní vlastnosti (např. polyolefiny). Obvykle je pro tyto druhy lepidel horní hranicí použitelnosti teplota 60°C, vyrábějí se však i speciální směsi, které odolávají teplotám 90 až 120°C.[1,9]

3.7. Dělení lepidel

Lepidla neboli adhesiva jsou velmi rozsáhlou směsicí chemicky velmi odlišných materiálů. Pro lepší orientaci je můžeme rozdělit do několika různých skupin dle odlišných vlastností, chemického složení, nebo funkce.[3,12]

– dle původu složek

1. lepidla organická

a) lepidla z přírodních látek

- rostlinná – mouky, škroby, dextriny, pektiny, rostlinné bílkoviny, apod.
- živočišná – glutinové klišy, kaseinová a albuminová lepidla, apod.

b) lepidla syntetická

- Tavná lepidla – etylvinylacetáty, polyamidy, polyolefiny, polyuretany
- Kontaktní lepidla – Polychlorbutadienová lepidla
- Polyadiční lepidla – epoxidové a polyuretanové pryskyřice
- Kondenzační lep.–fenolické, melamin- a močovinoformaldehydové pryskyřice
- Disperzní lepidla – polyvinylacetátová a lepidla modifikovaného vinylacetátu

c) minerální lepidla neboli anorganická (vodní sklo, cement, sádra)

– jiný způsob rozdělení syntetických lepidel dle reakce na teplo

- termoreaktivní (reaktoplastická) – fenolformaldehydová, polyuretanová, močovinoformaldehydová, melaminformaldehydová, epoxydová apod.
- termoplastická – polyvinylacetátová, polyvinylchloridová, polyakrylátová, polymethylmetakrylátová, polyamidová, a tavná
- kaučuková – na bázi syntetického kaučuku, nebo směsi s přírodním kaučukem

– dle charekteru po vytvrnutí

1. vratná (je možné je znovu rozpustit působením rozpoušedla nebo teploty)
2. nevratná (spojení je stálé, syntetická a minerální pojiva)

– dle formy a skupenství

1. kapalná
2. pastovitá

3. prášková (tuhá)
 4. vypěněná
 5. folie
- **podle odolnosti vůči vodě**
1. vysoce vodovzdorná (odolné vůči studené i vroucí vodě nebo páře: FF a MF lepidla)
 2. vodovzdorná (odolávají studené vodě: kaseinová, UF lepidla, polyurethanová, epoxy)
 3. nevodovzdorná (glutinová, polyvinylacetátová bez chemické úpravy)
- **dle způsobu zpracování**
- podle způsobu dosažení pevnosti spoje
 1. odpařením a oddifundováním rozpouštědla
 2. chemickou reakcí (iniciativou katalyzátoru, teplem, nebo kombinací obou činitelů)
 3. změnou teploty, tlaku a podobně
 - podle použité teploty
 1. lepidla aplikovaná za studena, montážní lepidla (vytvrzují za teplot 20 - 30°C)
 2. za tepla (30 až 100°C, lepidla pro výrobu aglomerovaných materiálů)
 3. za horka (nad 100°C, lepidla pro výrobu aglomerovaných materiálů)

zpracování lepidel za horka je výhodné, neboť u termoplastických lepidel dojde ke zkrácení doby tvrzení za současného rychlejšího odpařování rozpouštědla a u reaktoplastických lepidel dojde k rychlejšímu převedení do stavu resit, tedy netavitelného stavu s prostorovým zesíťováním makromolekul.[12]

3.7.1. Lepidla z přírodních surovin

Přírodní lepidla byla používána velmi dlouhou dobu, a k jejich ústupu přispěl až vývoj syntetických lepidel v průběhu dvacátého století. Dnes se přírodní lepidla se dnes používají jen velmi sporadicky jelikož jejich vlastnosti již byly syntetickými lepidly překonány. Lepidla rostlinného původu se dnes k lepení dřeva nepoužívají již prakticky vůbec, a s použitím adheziv živočišného původu se můžeme setkat jen zřídka tam, kde jsou užity jejich dobré vlastnosti jako rychlé vytvrzování, pružnost spojů, plnicí vlastnosti apod. Živočišná lepidla poskytují velmi pevné spoje a lze s nimi pracovat za normálních teplot.

3.7.1.1. Lepidla živočišného původu

Lepidla živočišného původu mají bohužel nízkou biologickou odolnost a jsou obecně i nedostatečně vodovzdorná. Naproti tomu rychle vytvrzují a vytvářejí pevné a pružné spoje. Mezi lepidla živočišného původu patří:

- glutinová lepidla (vyráběná z kostí a kůže)
- kaseinová lepidla (vyráběná z mléka)
- albuminová lepidla (vyráběná z krve jatečných zvířat)[3]

3.7.1.1.1. Glutinová lepidla

Glutinová lepidla nebo také klihy patří mezi nejstarší lepidla, která se používají na lepení dřeva. Vyrábějí se z kostí nebo kůží zvířat a jsou složeny z glutinu a látek hydralitického rozpadu této bílkoviny. Kostí obsahují až 30 % a kůže až 35% kolagenu, který se k výrobě glutinu používá. Působením kyselin, alkálií nebo vody za vyšší teploty, se kolagen přeměňuje na glutin a současně probíhá i postupná hydrolyza na peptidy a glykol. Glutin je ve studené vodě nerozpustný, pouze v ní botná.

Glutinový klíž se dnes už v malé míře používá v nábytkářství, byl vytlačen disperzními PVAC lepidly. K lepení se používá jeho 30 až 40% vodný roztok, může se nastavovat plavenou křídou, dřevěnou moučkou a podobně, ovšem pouze do 30 až 40% hmotnosti roztoku. Přidáním paraformaldehydu nebo formaldehydu můžeme zvýšit odolnost glutinových klihů vůči vodě.[8]

3.7.1.1.2. Kaseinová lepidla

Kaseinová lepidla se připravují z mléčné bílkoviny, kaseinu, který je ve formě vápenaté soli tvoří asi 2 až 4% hmotnosti kravského mléka. Pro výrobu je kasein z mléka vysrážen kyselinami, poté se vysuší a vznikne bílý nebo nažloutlý prášek. Kasein je ve vodě nerozpustný ale botná v ní. Do roztoku adhesiva se přidávají alkálie jako hydroxid sodný, draselný, vápenatý, či amoniak nebo alkalicky reagující soli jako fosforečnan sodný, borax či vodní sklo.

Podle použitých alkálií mají vzniklé kaseináty rozdílné vlastnosti. Kaseinát vápenatý je krátkodobě vodovzdorný, ale je napadán mikroorganismy proto se do roztoku přidává ještě 1 % fungicidů. Kaseinát sodný je vodovzdorný, ale nemá dlouhou životnost. Kaseinát amonný se ve vodě rozpouští po zahřátí.

Výhodou kaseinových lepidel je poměrně vysoká pevnost okolo 10 MPa, pružnost,

nenáročnost na povrch a možnost kombinace s jinými lepidly. Při reakci s formaldehydem získávají soli kaseinu lepší vodovzdornost.[3]

3.7.1.1.3. Albuminová lepidla

Albuminová lepidla jsou vyráběna z krve jatečných zvířat. Z krve je odstraněn fibrin, a pak se dále konzervuje a suší dvěma různými způsoby. Buď je sušena ve válcových sušárnách, kde se získává krystalický albumin s obsahem 60 až 70 % bílkovin, nebo je rozprašována do horkého vzduchu, kdy získáme práškový albumin s obsahem 75 až 85 % bílkovin rozpustných ve vodě.

K vytvrzení albuminových spojů dochází zahřátím na teplotu 115 až 140°C a vytvořené spoje jsou vodovzdorné. Velkou výhodou těchto lepidel je možnost lepení mokřých dřív. Toho lze využít na příklad při lepení tvarovaných překližek.

Velmi výhodná je kombinace albuminu s fenolformaldehydovými lepidly, albumin zde pak slouží jako nastavovadlo.[4]

3.7.1.2. Lepidla rostlinného původu

Některé látky rostlinného původu se také používají k lepení. Jsou to makromolekulové látky, které je možné převést na koloidní, viskózní roztoky s adhezivními vlastnostmi. Můžeme je rozdělit na lepidla z rostlinných bílkovin a škrobová lepidla.[3]

3.7.1.2.1. Lepidla z rostlinných bílkovin

Bílkoviny rostlin jsou obsaženy hlavně v jejich semenech. Kromě bílkovin mohou obsahovat také množství olejů, ty se extrahují organickými rozpouštědly a obsah bílkovin se potom může zvýšit až na 60 %. Rozemleté výlisky semen se poté používají k výrobě lepidel, a to podobným způsobem jako při výrobě kaseinových lepidel, přidávkem alkálií. Tato lepidla se používala na lepení překližek.[8]

3.7.1.2.2. Škrobová lepidla

Škrobová lepidla mohou být vyrobena z brambor, kukuřice, rýže a podobných zemědělských surovin bohatých na škrob. Škrob se získává vyluhováním rozemletých plodin ve vodě. Vysušením poté vzniká bílý prášek, který účinkem vody o teplotě 60 – 70°C botná, mazovatí a stává se lepivým. Škrobová lepidla nejsou vodovzdorná. Jejich výhodou je hlavně nízká cena a používají se hlavně na lepení papíru, obalů a tapet. [15]

3.7.2. Syntetická lepidla

Přírodní lepidla používaná po staletí byla průběhu dvacátého století téměř bezvýlučně nahrazena syntetickými lepidly. Daleko lépe totiž vyhovují požadavkům na zpracovatelnost, stálost, pevnost nebo rozsah možného použití. Všechna lepidla ze syntetických pryskyřic jsou chemické sloučeniny z organických látek, které se vyrábějí polymerací, polyadací nebo polykondenzací. Při výrobě lepidel se do těchto pryskyřic přidávají plniva, nastavovadla, antioxidanty, rozpoušedla, změkčovadla, smáčedla nebo i barviva, aby výsledný výrobek vykazoval co nejlepší vlastnosti a vyhovoval požadavkům zpracovatele. Lepidla můžeme rozdělit do několika skupin na lepidla tavná, reaktivní, kontaktní, kondenzační a disperzní. [16]

3.7.2.1. Tavná lepidla

Některé tuhé směsi polymerů a přísad při působení vyšší teploty měknou a tečou. V roztaveném stavu mají lepidivé vlastnosti a při opětovném ochlazení ztuhnou do původního stavu. Tavná lepidla se mohou nanášet na materiál ve všech polohách (horizontální i vertikální), dokáží lepit různorodé materiály, jejich skladování je jednodušší a při zpracování nezamožují okolí výpary z rozpouštědel a podobně. K roztavení je třeba směs zahřát na teplotu 100 až 280°C. Jelikož okamžitě po nanesení dochází k tuhnutí vlivem ochlazení, je potřeba pracovat rychle, avšak spoj je velmi brzy vytvrzen a dosáve svojí pevnosti. Tento typ lepidel může být také kombinací s reaktivními látkami, které po fyzikálním vytvrzení spoj spevňují sesíťováním látek chemickými vazbami.

Tyto materiály se používají například pro olepování hran aglomerovaných materiálů nebo se dodávají ve formě granulí či tavných tyčí k dalšímu zpracování.

Nejnámějšími lepidly tohoto typu ethylvinylacetátová lepidla (EVA), které odolávají pouze teplotám nižším než 75°C. Dále se používají hmoty na bázi Polyamidů, polyesterů, polyolefinů nebo polyuretanů, které mají tepelnou odolnost téměř dvakrát vyšší a v případě tavných polyuretanů i poměrně vysokou odolnost vůči vlhkosti. [15,16]

3.7.2.2. Kontaktní lepidla

Kontaktní lepidla jsou lepidla na bázi kaučuku a tuhnou působením tlaku. Na spojovaných materiálech se vytvoří film rozpuštěného lepidla, nechají se odtékat veškerá rozpoušedla. Poté jsou k sobě obě lepené plochy přitlačeny dostatečně velikým tlakem asi 0,5 – 1,5 MPa. K vytvrzení dochází poměrně rychle, v řádu sekund, není tedy třeba působit

daným tlakem dlouho. Vlastnosti těchto lepidel jsou podmíněny jejich chemickým složením, většinou však vytvářejí elastické voděodolné spoje.[3,16]

3.7.2.3. Reaktivní lepidla

Adheziva, která tuhnou na základě chemické reakce patří do skupiny reaktivních nebo polyadičních lepidel. Reakce může být iniciována smísením dvou reaktivních složek, zahřátím směsi na danou teplotu, nebo například reakcí se vzdušnou vlhkostí. Mezi hlavní zástupce této skupiny patří Polyuretanová a epoxidová lepidla.

3.7.2.3.1. Polyuretanová lepidla

Polyuretanové hmoty bývají nejčastěji používány k výrobě pružných elastických materiálů a vznikají polymerací polyisokyanátů s vícesytnými alkoholy, nebo pryskyřicemi polyesteru či polyetheru. Lepidla na bázi polyuretanu mají řadu předností, jejich spoje jsou pevné, voděodolné, zdravotně nezávadné a k vytvrzování dochází v širokém rozmezí teplot. Volbou vhodných surovin je možno vyhovět požadavkům na výsledný spoj, dle použitých typů polyhydroxysloučenin a polyisokyanátů lze vytvořit velmi měkké elastické spoje nebo naopak pevné a tvrdé.

Dvousložkové typy lepidel jsou k uživatelům poměrně shovívavé, jak co se týče nepřesného dodržení poměru při mísení složek lepidla, tak ohledně dostatečně dlouhé doby použití namíchané směsi, které může být v některých případech použitelná i několik hodin. Díky urychlovačům je naopak možné dobu vytvrzení značně zkrátit. Vyráběny jsou jak jednosložkové a dvousložkové směsi tak směsi rozpouštědlové a bezrozpouštědlové.[4]

3.7.2.3.2. Epoxidová lepidla

Tato lepidla jsou používána zejména pro lepení kovů, skla, keramiky, laminátů, některých plastů a podobně, zřídka se s nimi však můžeme setkat i při lepení dřeva. Epoxidové pryskyřice jsou velmi houževnatá lepidla středně odolná vůči vodě, chemickým látkám a teplotě do 70°C. K vytvrzení dochází chemickou reakcí s tvrdidlem, kterým jsou zpravidla polyaminy, a není zapotřebí na spoj během vytvrzování působit příliš velkým tlakem, je dostačující dostatečně fixovat lepené části. Epoxidová lepidla nelepí pryž a teromplasty a jsou náročná na přesné dodržení poměru pryskyřice a tvrdidla.[12,15]

3.7.2.4. Kondenzační lepidla

Tvrditelné termosetické pryskyřice se během výroby předkondenzují a upraví tak, aby je bylo možno zpracovávat s vodou. Při zpracování lepidla je poté kondenzační proces opět

spuštěn teplem, nebo přidáním tvrdidel, a pokračuje tedy až do úplného vytvrzení. K pomalému vytvrzování dochází i při pokojové teplotě. Kondenzační lepidla jsou skladovatelná jen po omezenou dobu. Mezi tyto typy lepidel řadíme fenolformaldehydové, melaminformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice.[4]

3.7.2.4.1. Fenolformaldehydová lepidla

Lepené spoje těchto lepidel jsou pevné, odolné působení povětrnostních vlivů, mikroorganismů, vody, i velké části rozpouštědel. Vyrábějí se jako tekuté roztoky formaldehydových resolů ve vodě, které jsou následně teplem tvrditelné. Méně se vyrábějí roztoková lepidla tvrditelná kyselými katalyzátory i za pokojové teploty.

Tento typ lepidel se používá zejména k výrobě aglomerovaných materiálů, překližkových a třískových desek. Lepidla však vždy obsahují určité množství nezreagovaných látek fenolu a formaldehydu, které se mohou později samovolně uvolňovat do okolního prostředí. Jelikož jsou výpary těchto látek zdraví škodlivé, přidávají se do materiálu další přísady aby s látkami zreagovali a jejich odpařování zastavily.

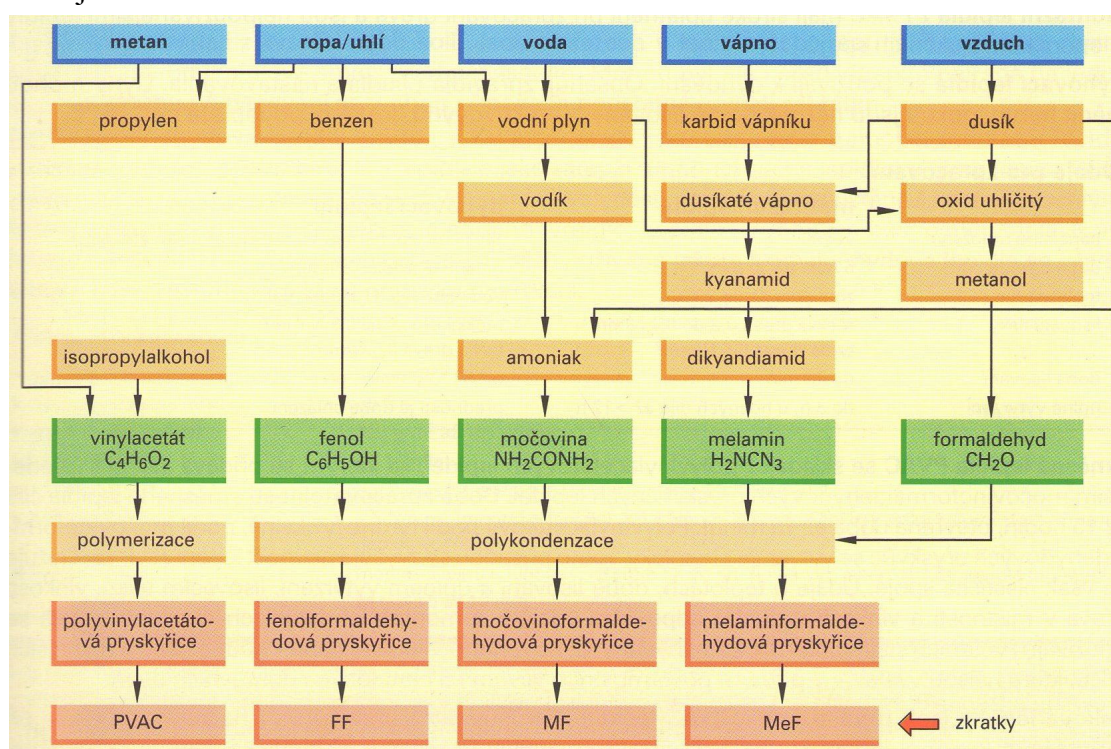
Lepidla se pro výrobu velkoformátových desek vyrábějí v poměru 1 : 1,5 až 1 : 2,25 fenolu vůči formaldehydu, a to ve 40 až 50% vodném roztoku. K vytvrzení lepidel dochází za teploty 150 až 160°C. Lepidla vytvrzující za pokojové teploty se používají jako montážní lepidlo na dřevo v případech kdy bude výsledný produkt vystaven povětrnosti.[17]

3.7.2.4.2. Močovinoformaldehydová lepidla

Tento druh lepidel patří k nepoužívanějším k lepení dřeva. Poslední dobou se od něj více upouští vzhledem k jeho možným zdraví škodlivým exhalacím formaldehydu. Vytvrzení probíhá v teplotách od 10 do 180°C a výsledný spoj je pevný, průhledný a křehký. Reaktivita lepidla je závislá především na molárním poměru obsažené močoviny a formaldehydu, se vzrůstajícím podílem formaldehydu sice reaktivita stoupá, ovšem stoupá i množství jeho odtěkání po vytvrzení. Lepidlo má za normální teploty velmi krátkou životnost, což ztěžuje proces nanášení tenkých vrstev lepidla, vhodnými nastavovadly jako mouka, nebo zředěním vodou, lze životnost částečně prodloužit, ovšem zvyšuje se tím i doba tvrzení směsi. Přidaných látek do směsi je tedy nutno použít co nejméně, aby se doba lepení příliš neprodložovala, a kližná spára zůstala tenká. Je-li totiž vrstva lepidla ve spoji příliš tlustá, dochází k rychlému stárnutí, křehnutí, a snížení pevnosti lepidla. Pro směs se využívají kyselé katalyzátory aby se snížila, obvykle vysoká hodnota pH pryskyřice.[12,15]

3.7.2.4.3. Melaminformaldehydová lepidla

Melaminformaldehydová lepidla jsou svou strukturou velmi podobná močovinoformaldehydovým pryskyřicím. Vyrábějí se reakcí melaminu a formaldehydu v molárním poměru 1:3, teplotě 80°C a slabě zásaditém pH. Mají velmi dobré vlastnosti pro lepení dřeva, jsou zdravotně nezávadná a odolná vůči studené i vroucí vodě nebo povětrnosti. Nevýhodou těchto lepidel je však nízká stabilita roztoků a vysoká cena, proto se často používá ve směsi s močovinoformaldehydovými lepidly. Melaminformaldehydová lepidla mají životnost 3týdny, a obsahují asi 50% sušiny. Vytvrzení probíhá za neutrálních nebo slabě kyselých podmínek, při teplotách 130 – 140°C bez tvrdidel, standardní doba lisování je asi 5 minut.



Obr. 3 Postupy výroby nejpoužívanějších lepidel na dřevo[16]

3.7.2.5. Disperzní lepidla

Disperzní lepidla jsou dle normy ČSN EN 923 stabilní disperzí polymeru v kapalně fázi, obvykle ve vodě. Z pohledu chemie jsou disperzní látky heterogenní systémy dvou nebo více fází, v nichž jsou částice jedné nebo několika látek dispergovány neboli rozptýleny v jiné látce neboli disperzním prostředí. Disperze může být dále rozdělena podle druhů fází. Je-li disperzním prostředím kapalina pak při disperzi tuhé látky se bude jednat o suspenzi, při kapalině o emulzi a při plynu o aerosol. Jemné rozptýlení částic makromolekulárních látek ve disperzním prostředí vody bývá nazýváno také latex, název byl převzat z názvu

rostlinné šťávy obsahující přírodní kaučuk.

Disperzní lepidla bývají připravována polymerací nebo kopolymerací monomerů přímo v disperzním prostředí. Vzniknou tak disperze s velkou molekulovou hmotností. Mohou se tak vyrábět disperze polyvinylacetátu, a kopolymerů, esterů kyseliny akrylové, styrenbutadienové apod. Další možností výroby je dodatečná dispergace připravených makromolekulárních látek, například jejich vysokoprocentních roztoků. Takto bývají připravovány například vodní disperze polyesterových, alkydových, epoxidových, epoxyesterových pryskyřic a jiných, které nelze vyrobit přímo.

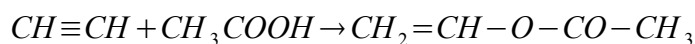
V dřevozpracujícím průmyslu jsou disperzními lepidly většinou míněna Polyvinylacetátová (PVAC) lepidla, která se používají nejčastěji právě v dispergované formě. I další polymery však mohou být dispergovány a použity pro lepení, jako například některé polymery na bázi kaučuku. Disperzní PVAC lepidla postupně nahradila montážní formy močovinoformaldehydových a glutinových lepidel. Pro výrobu nábytku a dřevěných konstrukcí do interiérů jsou dnes již PVAC lepidla používána téměř výhradně.[4]

3.8. Polyvinylacetátová lepidla

Disperzní PVAC lepidla jsou vhodná pro lepení porézních materiálů, zejména na bázi dřeva a celulózy, a vyrábějí se převážně jako vodní disperze. Lepené spoje dosahují poměrně rychle vysoké pevnosti, která velmi často převyšuje pevnostní vlastnosti samotného lepeného materiálu. Lepidla mají poměrně nízkou viskozitu i při obsahu sušiny 50% hmotnosti. Disperzní PVAC lepidla nezbarvují dřevo, a vytváří spoje odolné vůči mikroorganismům. Lisovací doba nutná pro vytvrzení filmu lepidla je minimálně okolo 10 minut, dle použitého lepidla. Při teplotách nižších než je minimální filmotvorná teplota, většinou kolem 13°C, PVAC křídovatí a znemožňuje jeho použití, minimální filmotvornou teplotu lze mírně snížit přidáním dalších specifických monomerů látek do disperzní směsi. Odolnost vůči vodě těchto lepidel, je omezená, ale jsou vyvíjeny stále odolnější směsi. Plnicí schopnost také není vysoká, je tedy třeba dbát na přesné doléhání lepených materiálů a vytvoření co možná nejtenší vrstvy spoje. Obvykle by se nanášená vrstva PVAC lepidel měla pohybovat mezi 100 a 400 g/m² Smyková pevnost spoje se za normálních podmínek pohybuje v rozmezí 10 až 15 Mpa. PVAC lepidla mají slabě kyselou reakci (pH 4 až 6), jsou vodou ředitelná a používají se hlavně v nábytkářství, při lepení kolíkových spojů, spárovek, výrobě hraček, papíru a podobně.[15,17,19]

3.8.1. Výroba polyvinylacetátu

PVAC se získává radikálovou polymerací vinylacetátu. Tato polymerace může probíhat v roztoku, emulzi, nebo suspenzi. Vinylacetát se vyrábí adicí kyseliny octové na acetylen:



Je to bezbarvá kapalina štiplavého zápachu s teplotou varu 73°C. Polymer je získáván disperzním způsobem ve vodní suspenzi.

PVAC je zdravotně nezávadný amorfnní termoplast. Za standardní teploty je to houževnatá a pružná látka, která odolává teplotám asi od -10 do +40°C, při zvýšení teploty však plastifikuje a její vlastnosti se poté blíží spíše vlastnostem gumy než pevné látky. Je špatně odolná vůči vodě, a neodolává kyselinám i zásadám. Je dobře rozpustitelná v organických rozpouštědlech, velmi dobře kopolymeruje a vyniká svou adhezí. Kromě využití pro výrobu PVAC disperzních směsí pro lepení dřeva se využívá jako surovina pro výrobu podlahovin, polyvinylalkoholu nebo latexových nátěrových hmot, hlavně pro beton a maltu. Přimísením PVAC do betonu lze zlepšit jeho vlastnosti.[12,19]

3.8.2. Obsah složek a vývoj PVAC lepidel

Jak už bylo řečeno, PVAC lepidla jsou vodní disperzí polyvinylacetátu, jejich vlastnosti je však možno vcelku výrazně ovlivnit přidávkem dalších látek do směsi.

Velmi důležitým vývojovým typem jsou tvrditelné PVAC disperze, které se vyznačují zvýšenou odolností proti vlhkosti. Tato lepidla ulehčila výrobu např. nekonečných vlysů nebo lepení rohových spojů oken. Tvrditelná PVAC lepidla můžeme rozdělit do dvou základních skupin na jednosložková, kdy základní lepidlo už obsahuje reaktivní přísadu, např. dialdehyd, a dousložková, kdy je tvrdidlo do směsi přidáno až těsně před použitím.

Tvrdidla požívaná pro PVAC lepidla jsou dvojího typu. Jedním jsou tvrditelné polykondenzační pryskyřice, výsledná směs je poměrně kyselá, což vede k postupnému vytvrnutí směsi. Druhým jsou speciální tvrdidla, která se přidávají do upravených směsí ve 4 až 5% poměru, nejčastěji se používají hlinité a chromité kationty. Po smísení složek je životnost lepidla pouhých asi 5 hodin a otevřená doba kratší než 15 minut. I v tomto případě vzniká smísením tvrdidla s disperzí kyselá reakce hodnot pH 2 až 3.

Tvrditelná PVAC lepidla jsou často udávána jako varuvzdorná, nedosahují však takového stupně odolnosti jako například fenolformaldehydová lepidla, je však možné předpokládat, že vývoj PVAC lepidel bude dále pokračovat a bude dosaženo ještě lepších

vlastností.

Odolnost vůči vlhkosti je možno také zvýšit kombinací s disperzními lepidly na bázi kopolymerů, např. vinylacetátu s estery kyseliny akrylové, nebo přidavkem esterifikovaného kondenzačního produktu melaminu s formaldehydem. Jako kopolymery bývají nejčastěji užívány kopolymery s ethylenem, jelikož v porovnání s vinylacetátem je ethylen daleko levnější. PVAC lepidla kombinovaná s kopolymery se vyznačují vyšší lepivostí, hlavně za zvýšené vlhkosti, nepotřebují dostatečné příměsi platifikátorů a jsou odolnější vůči hydrolyze. Dalšími látkami, které se používají k zvýšení odolnosti vůči vlhkosti jsou kalafunový extrakt nebo benzamid.

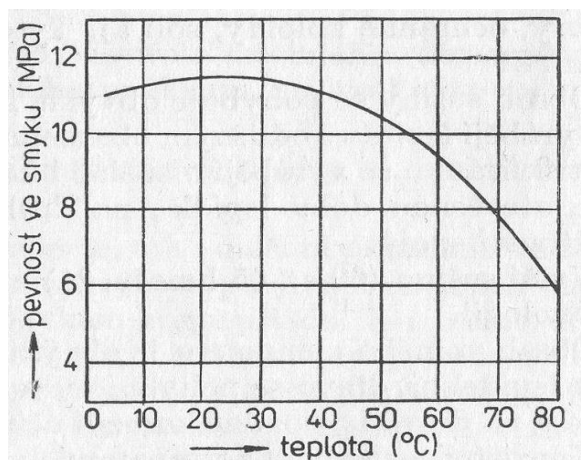
Odolnost lepidla vůči teplotě je zvyšována přidavkem polyvinylalkoholu, který zlepšuje i adhezivní vlastnosti. Proti studenému toku vytvrzeného spoje, který je jednou z nevýhod PVAC lepidel, se zvyšuje nebo dokonce zcela odstraňuje přidavkem 0,1 – 15% močovinoformaldehydové pryskyřice, nebo kopolymeru methylvinyletheru s maleinanhydridem. Pružnost spojů je zvyšována přidavkem změkčovadel jako dibutylftalát nebo trikrezylfosfát.[3,8,12,15]

3.9. Reakce lepeného spoje na teplo

Teplota může pevnost spojů značně ovlivnit. Pohyb jednotlivých částic molekulové stavby materiálů se při zvýšení teploty zrychluje, každá látka však na tento pohyb reaguje jiným způsobem.

3.9.1. Tepelná odolnost PVAC lepidel

Polyvinylacetátová lepidla, která řadíme mezi termoplasty reagují na zvýšenou teplotu svou plastifikací.



Obr. 4 Graf závislosti pevnosti spojů PVAC lepidel na teplotě[4]

Při plastifikaci lepidel použitých v lepených spojích dochází samozřejmě ke značnému poklesu pevnosti, nebo dokonce k samovolnému rozpadu materiálu v závislosti na aktuálním zatížení spoje. Spoje disperzních lepidel svou pevnost neztrácejí při ohřevu do 40°C. Poté však dochází se stoupající teplotou k poměrně rychlému poklesu pevnosti spoje.

Vlivem mrazu PVAC spoje křehnou, uvádí se, že odolávají teplotám do -18°C.[4]

3.9.2. Reakce dřeva na teplo

Záměrem této práce je hodnotit vliv teploty na pevnost lepených PVAC spojů dřeva. Je však nutno si uvědomit i fakt že lepený materiál, v našem případě tedy dřevo, je působením tepla také do jisté míry ovlivněn.

3.9.2.1. Teplotní roztažnost

Zvýšení teploty dřeva vede ke zvýšení energie jeho molekul a výsledně tedy k zvětšení rozměrů tělesa. V důsledku anizotropie dřeva se rozměry v různých směrech mění různě v poměrech 15 : 10 : 1, tedy podobně jako při bobtnání či sesychání, avšak hodnoty jsou asi 10000 krát menší, proto bývá tento proces v praxi zanedbáván. Obecně je během procesů sušení uznávána rychlost prostupu tepla 1 cm do hloubky dřeva za jednu hodinu. [18]

3.9.2.2. Přenos tepla

Teplo ve dřevě může být přenášeno třemi základními způsoby, vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) nebo sáláním (radiací). Proudění a sálání mají na přenos však minimální vliv, proto je obecně tento proces zjednodušován pouze na vedení tepla.

Vedení tepla je popisováno Fourierovým zákonem, a je ovlivněno mnoha faktory, nejvíce však jeho anatomickou stavbou, hustotou a vlhkostí dřeva. Narozdíl od pohybu vody ve dřevě není přenos tepla napříč vláken tolik neliší, a v příčném směru je asi 1,5 – 2,5 krát nižší než ve směru podélném. [18]

3.9.2.3. Odolnost vůči vysokým teplotám

Všeobecně je mezi veřejností rozšířen fakt, že dřevo je dobrým palivem. To ovšem vede k názoru, že dřevo špatně odolává vysokým teplotám, a může lehce dojít k jeho vznícení a tedy rychlé degradaci. Opak je ovšem pravdou, jelikož v případě požáru vykazuje dřevo lepší vlastnosti než například ocelové nosníky. Dřevo totiž prohořívá postupně z okrajových částí do středu, přičemž pevnost dosud nezasaženého materiálu se nemění. Je tedy poměrně jednoduše předvídatelné kdy může dojít k porušení konstrukce, na rozdíl od

uvedených ocelových nosníků kde může při vysokých teplotách dojít k nepředvídatelnému zhroucení konstrukce.[11]

Degradace dřeva teplem začíná přibližně při teplotě 180 - 275°C, kdy se začínají ze dřeva uvolňovat spalitelné plyny, a zároveň dochází k postupné přeměně na dřevěné uhlí. Při teplotách 330 a 470°C může dojít k samovznícení unikajících plynů. Hoření jako exotermický proces poté napomáhá ohřívání, což vede k vyšší produkci plynů a dřevěného uhlí. Při stoupající teplotě i přes 500°C se poměr produkce dřevěného uhlí zvyšuje, na rozdíl od uvolňování plynů. Dřevěné uhlí je oproti dřevu materiál s horší tepelnou vodivostí, funguje tedy v případě vysokých teplot jako tepelná izolace vnitřních dosud nepoškozených částí. Rychlost hoření dřeva můžeme vyjádřit vztahem $H = \frac{dm}{dt}$ [%·s⁻¹] kde H je rychlost hoření dřeva, dm je diferenciál úbytku hmotnosti a dt je diferenciál doby hoření. Obecně platí, že doba hoření klesá se stoupající vlhkostí a hmotností dřeva, a naopak se zvyšuje obsahem pryskyřice.[18]

Obsah lepidla v dřevěných lamelových konstrukcích může napomáhat k jeho případnému hoření, pevnost lepených spojů v tomto případě hraje zásadní roli. Při jejich porušení dojde k odkrytí a vystavení dalších ploch dřeva plameni, což proces hoření urychlí. Testy prováděné podle normy ISO 834-1975 prokázaly že lepené lamelové konstrukce v případě vystavení extrémním teplotám odolávají stejně jako masivní dřevo. K porušení lepených spojů nedochází dříve, než jsou porušeny samotné lepené dřevěné lamely. Skutečně, dokonce ani v těsné blízkosti ohořelých částí nedošlo k delaminaci lepených spojů. Smyková pevnost spojů z ohořelých částí konstrukce byla stále srovnatelná s pevností nedotčených částí.[11]

4. Metodika

Pro experimentální ověření vlivu teploty na smykovou pevnost spojů lepených PVAC lepidly uvedené třídy odolnosti D4 bylo postupováno dle norem ČSN EN 204 a ČSN EN 205. Bylo připraveno dostatek zkušebních vzorků pro oba typy lepidel.

Zkušební vzorky obou použitých lepidel byly vystaveny pěti různým teplotám 20, 50, 80, 100 a 150°C. Každé z těchto teplot byly vzorky vystaveny dostatečně dlouhou dobu, aby s určitostí došlo k prohřátí celého obsahu lepeného spoje na danou teplotu. S ohledem na rychlost prostupu tepla dřevem a tloušťku měřených vzorků, která byla ve všech případech 10±0,2 mm, byly všechny vzorky vystaveny dané teplotě minimálně po dobu jedné hodiny. Zkušební tělesa byla podrobena smykové zkoušce tahem dle normy ČSN EN 204, a to jak bezprostředně po zahřátí, tak po opětovném vychladnutí na pokojovou teplotu.

Pro ověření, zda použitá PVAC lepidla skutečně splňují požadavky pro zařazení do třídy odolnosti D4 dle normy ČSN EN 205 bylo provedeno další měření. Vzorky obou použitých lepidel byly vystaveny účinkům působení vody za normálních podmínek po dobu 4 dnů, a účinkům působení vody vroucí po dobu 6 hodin. Poté byla opět provedena zkouška tahem a zhodnoceno, zda hodnoty vyhovují požadavkům zmíněné normy.

4.1. Použitá lepidla

Pro měření byla vybrána v dřevařském průmyslu velmi oblíbená PVAC lepidla, ovšem s uvedenou třídou odolnosti vůči vlhkosti D4. Jedním z cílů práce bylo porovnat vlastnosti jednosložkových a dvojsložkových PVAC lepidel stejného výrobce. Byla proto vybrána lepidla italského výrobce COLLANTI CONCORDE Protovil D4 a Protovil VP 244/2C od Českého dodavatele se sídlem v Brně, LIGNOTRADE spol. s r.o.

4.1.1. Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4

Protovil D4 je Polyvinyl acetátové lepidlo ve vodní disperzi s vinikajícími vlastnostmi speciálně vyvinuté pro vodovzdorné lepení dle norem EN 204 a WATT 91.

Tento produkt neobsahuje formaldehyd a splňuje předpisy 2002/95/EC a 2003/11/EC a další ujednání. Lepidlo je určeno k lepení vícevrstevných parket, oken, dveří, částí koupelnového nábytku, dřeva umístěného v tropickém prostředí, sektorových kuchyní apod. tam, kde je potřebná odolnost vůči vodě.



Obr. 5 Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4

Lepidlo je vodní disperzí PVAC, bílé barvy a viskozity, při 20°C, 4000 – 8000 mPas. Minimální teplota pro vytvoření filmu je +4°C. Lepidlo by mělo být nanášeno na plochu válečkem, štětcem nebo nanášečkou nánosem asi 180-250 g/m², otevřená doba při 20°C je 10 minut a k úplnému vytvrzení spoje dojde po 24 hodinách. Lepidlo je dodáváno připravené k použití jeho ředění vodou může snížit přilnavost a ovlivnit konečnou kvalitu slepu. Při lepení tvrdého dřeva je doporučován oboustranný nános. Lepená vrstva by měla být během lepení stlačena tlakem 3-5 kg/cm². [23]

4.1.2. Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C

Protovil VP244/2C je lepidlo na bázi syntetických pryskyřic ve vodní disperzi vyvinuté pro vodě odolné lepení. Před použitím je nutné přidat do disperze 5% katalyzátoru CTZ A20. Lepidlo odpovídá normě DIN EN 204/205 a je určeno ke stejným účelům jako jednosložkový Protovil D4, tam kde je potřeba lepených spojů odolných proti vodě.



Obr. 6 Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C

Produkt je PVAC ve vodní disperzi, bílé barvy. Minimální teplota pro vytvoření filmu je +6°C a jeho viskozita při 20°C se pohybuje mezi 14 000 a 22 000 mPas. Smícháním Protovilu VP244/2C a katalyzátoru CTZ20A vytvoříme homogenní směs. Tu je vhodné

nanášet válečkem, štetcem nebo nanášečkou v nánosu 150-300 g/m². U tvrdého dřeva je taktéž doporučován oboustraný nános. Otevřená doba lepidla při 20°C je 5 minut a spoj by měl být až do úplného vytvrzení po 24 hodinách pod tlakem 3 až 5 kg/cm²[24]

4.2. Příprava vzorků

Vzorky pro experimentální měření byly vyrobeny dle postupu popsáném v normě lepidel pro nekonstrukční aplikace ČSN EN 205 stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání. Bylo vyrobeno 12 zkušebních vzorků pro každou měřenou skupinu, navíc několik rezevních, celkem tedy asi 300 kusů.

4.2.1. Příprava slepených sestav

Pro výrobu zkušebních vzorků bylo nutno vyrobit slepené sestavy, z kterých byly později vzorky dle předepsaných pravidel vyříznuty.

Nejprve byly vyrobeny dle normy ČSN EN 205 ze silné nenapařené kondicionované desky z bukového dřeva (*Fagus sylvatica L.*) s rovnými vlákny o nominální hustotě 700 ± 50g a vzhledu 12 ± 1 % panely. Výše uvedená norma doporučuje výrobu panelů o šířce 130mm a délce rovné násobku 300mm, avšak při výrobě vzorků pro toto testování nebyl k dispozici materiál podobných rozměrů, a byly proto vyrobeny panely menších rozměrů. Ty byly nařezány kolmo ke směru vláken v délce 500 mm, šířce 55 mm a tloušťce 8mm, tato velikost je dostatečná pro výrobu šesti vzorků ze slepené sestavy. Úhel mezi letokruhy a povrchem panelu se pohyboval mezi 30° a 90°. Panely se kondicionovaly po dobu 7 dní za standardních podmínek, tedy v našem případě při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %, aby se vlhkost dřeva udržovala při hodnotách 12 ± 1 %.

Kondicionované panely určené ke slepení byly před vlastním lepením ohoblovány na tloušťku 5 ± 0,1 mm a byl z nich odstraněn veškerý prach. Poté byly rozděleny do dvou skupin a označeny. První skupina byla slepena jednosložkovým a druhá skupina dvousložkovým lepidlem. Lepené panely musely být rovnoměrně stlačeny dostatečným tlakem 3 až 5 kg/cm² dle pokynů výrobce. Pod stejným tlakem byly pak ponechány po dobu 24 hodin, než došlo k úplnému vytvrzení lepidla.

Po povolení tlaku se slepené sestavy nechaly 7 dní kondicionovat ve standardních podmínkách.[20]

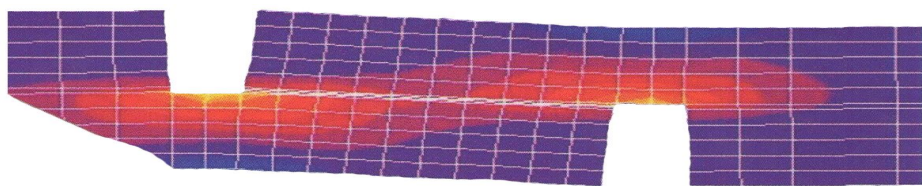
4.2.2. Výroba zkušebních těles

Z dostatečně kondicionovaných slepených sestav bylo vždy vyřezány dva proužky podél vláken o šířce $20 \pm 0,2$ mm, a od vnějších podélných okrajů odříznuta plocha 7,5 mm. Jednotlivé proužky byly pečlivě označeny dle použitého lepidla. Ze získaných proužků byla poté nařezána tělesa o délce 150 ± 5 mm a opět označena podle adheziva.



Obr. 7 Hotový vzorek připravený k tahové zkoušce

Ve slepených oblastech byly provedeny ploché výřezy o šířce $2,5 \pm 0,5$ mm kolmo ke směru vláken tak, aby přelep o délce $10 \pm 0,2$ mm byl umístěn ve střední části vzorku. Řezy výsledně oddělují vrstvy dřeva, musí se však dbát na to aby řez zcela prořízl vrstvu lepidla, ale do druhé části spoje pronikl jen zcela nepatrně.[20]



Obr. 8 Znárodnění napětí uvnitř vzorku podrobeného smykové zkoušce tahem[11]

4.3. Zkušební zařízení

Smyková zkouška tahem byla prováděna na zkušebním tahovém stroji značky Rauenstein typ ZDM 5-91. Vzorky byly vždy upnuty do svorných čelistí tak, aby síla působila centrálně v rovině slepu. Stroj zatěžoval těleso až do jeho úplného přetržení a maximální vynaložená síla byla zaznamenána na stupnici mechanickými ukazateli v jednotkách Newtonů. Dle normy ČSN EN 205 musí být tělesa při tahové zkoušce termoplastických lepidel zatěžována na strojích s konstantní rychlostí posuvu 50 mm/min, pokud není k dispozici stroj s dostatečnou konstantní rychlostí posuvu, musí k porušení zkušebního tělesa dojít po 5 až 15 sekundách. Stroj ZDM 5-91 zatěžuje tělesa konstantní rychlostí posuvu 4 až 26 mm/min, v našem případě jsme proto nastavili stroj na nejvyšší možnou rychlost. U všech těles použitých během tahové zkoušky došlo k jejich porušení v předepsaném časovém intervalu, všechny měření je tedy z tohoto pohledu možno považovat za platné.

4.3.1. Technické údaje zkušebního zařízení

Značka:	Rauenstein
Typ:	ZDM 5-91
Rozsah měření:	0 – 50 000 N
Relativní chyba:	0,2 %
Rok výroby:	1965
Poslední kalibrace:	6. 12. 2002

Uchycovací zařízení:

Klínové čelisti (Viz obr. 8)



Obr. 9 Zkušební stroj s uchycovacími čelistmi

4.4. Vlastní měření

Následující kapitola popisuje podrobný postup při provádění smykových zkoušek tahem. Nejprve bylo nutno rozdělit množství vzorků na další dvě různě velké skupiny. První větší skupina asi 260 vzorků obsahující rovnoměrně zastoupeny vzorky obou různých lepidel byla určena pro měření změny pevnostních vlastností v závislosti na teplotě. Druhá menší skupina taktéž složená ze stejně velkých částí jednosložkového i dvousložkového lepidla byla určena k ověření lepidel, zda skutečně splňují parametry adhesiv třídy odolnosti D4 podle normy ČSN EN 204.

4.4.1. Měření pevnosti lepených spojů v závislosti na teplotě

Vzorky jsme nejprve připravili pro jednotlivá měření. Pro každé měření bylo připraveno 12 vzorků, jelikož pro úspěšný výsledek zkoušky je nutno získat pro každý typ kondicionování minimálně 10 platných měření. Vzorků bylo vybráno 12 z důvodu možné chybovosti při výrobě vzorků. Vzhledem k poměrně velkému množství je velmi pravděpodobné, že některé vzorky mohou být například nedostatečně proříznuty, nebo jinak narušeny. Je nutné počítat taky s možnou chybou při upínání do stroje, a podobně.

Nejprve byla provedena smyková zkouška u dvanácti vzorků obou testovaných lepidel za standardních podmínek, pro výsledné porovnání se změnami pevností lepených spojů při vyšších teplotách. Poté bylo vždy 24 vzorků postupně vystaveno čtyřem rozdílným zvýšeným teplotám 50, 80, 100 a 150°C. V sušárnách nastavených na určenou teplotu byly vzorky ponechány po dobu minimálně jedné hodiny, aby došlo k úplnému prohřátí celého lepeného spoje. 12 vzorků od každého lepidla bylo podrobeno tahové zkoušce bezprostředně po vytažení ze sušárny, zbylých dvakrát 12 bylo po exponování zvýšené teplotě přemístěno znovu do standardních podmínek, kde byly ponechány opět minimálně jednu hodinu aby došlo k dostatečnému opětovnému vychladnutí spoje. Po ochlazení bylo i těchto 24 vzorků podrobeno tahové zkoušce a naměřené hodnoty byly pečlivě zaznamenány.



Obr. 10 Sušárna používaná k ohřevu vzorků

V případě, že i zvolený počet 12 vzorků byl pro stanovení 10 platných měření nedostatečný, byl proces s dostatečným množstvím rezervních vzorků opakován.

4.4.2. Měření, zda lepidla vyhovují parametrům třídy trvanlivosti D4

Dle požadavků normy ČSN EN 204 pro lepidla třídy trvanlivosti D4 byl vždy dostatečný počet vzorků vystaven udávaným podmínkám.

První skupina vzorků měla být podrobena tahové zkoušce po jednom týdnu kondicionování ve standardních podmínkách. Pro stanovení odolnosti této skupiny jsme použili hodnoty získané předchozím měřením vzorků za standardních podmínek, které požadavkům normy vyhovovaly. Podle normy musí všech deset platných měření vykazovat hodnoty pevnosti vyšší nebo rovny 10 MPa.

Druhá skupina vzorků byla po jednom týdnu kondicionování za standardních podmínek vystavena po dobu 4 dnů působení vody o teplotě $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Tahové zkoušky byly vzorky podrobena bezprostředně po vytažení z vodní lázně. Pro vyhovění požadavkům normy musí za těchto podmínek lepený spoj vykazovat pevnost minimálně 4 MPa.

Poslední třetí skupina vzorků byla po sedmi dnech kondicionování za standardních podmínek ponořena na dobu 6 hodin do vroucí vody. Po šesti hodinách byly vzorky přemístěny do vody o teplotě $20 \pm 5^\circ\text{C}$ kde byly ponechány po dobu dalších 2 hodin. Zkouška tahem byla provedena ihned po vytažení vzorků z druhé vodní lázně. Pro dodržení podmínek stanovených normou ČSN EN 204 by měly vzorky vystavené těmto podmínkám odolávat tlaku minimálně 4 MPa.

4.5. Odstranění zkreslujících hodnot

Z naměřených hodnot byly odstraněny výsledky vzorků, které nesplňovaly podmínky dle normy ČSN EN 205, tedy vzorky u kterých nedostatečné proříznutí vrstvy vzorku zabraňovalo zatížení pouze lepené vrstvy.

Dále byly naměřené hodnoty prověřeny Grubbsovým a Dixonovým testem extrémních odchylek. Hodnoty, které testům nevyhovovaly byly odstraněny, a v případě nedostatku byly nahrazeny novým měřením, aby bylo dosaženo minimálního počtu 10 platných měření.

4.5.1. Grubbsův test extrémních odchylek

Grubbsův test je používán pro objektivní vyoučení extrémních hodnot na základě vypočteného testovacího kritéria pro soubory dat, které odpovídají Gausovu normálnímu rozdělení sledované veličiny.

Hodnoty seřadíme do vzestupné variační řady, a vypočteme aritmetický průměr \bar{x} a

směrodatnou odchylku s ze všech hodnot souboru. Testovací kritérium pro první a poslední hodnotu variační řady vypočítáme dle následujícího postupu:

$$T_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{s} \quad T_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s}$$

Příčemž T_1 a T_2 jsou testovací kritéria, x_1 je nejmenší a x_n největší hodnota variační řady.

Vypočtená testovací kritéria porovnáme s tabulkou kritických hodnot $T_{krit.}$ Grubbsova testu. Krajiní hodnotu musíme vyřadit jako extrémní, nesplňuje-li podmínku

$$T_{1(n)} > T_{krit.} \quad [10]$$

4.5.2. Dixonův test extrémních odchylek

Vyloučení extrémních hodnot s použitím dixonova testu se využívá u souborů dat s neznámým rozdělením.

Získané hodnoty znovu seřadíme do variační řady. Z výpočtu $R = x_{max} - x_{min}$ získáme variační rozpětí souboru R a vypočteme testovací kritéria Q_1 a Q_n pro krajiní hodnoty dle

$$\text{následujících postupů. } Q_1 = \frac{x_2 - x_1}{R} \quad \text{a} \quad Q_n = \frac{x_n - x_{n-1}}{R}$$

Vypočtené hodnoty kritérií porovnáme s tabulkovou kritickou hodnotou pro Dixonův test. Pokud $Q_{1(n)} > Q_{krit.}$ musíme danou krajiní hodnotu vyloučit.[10]

5. Výsledky měření

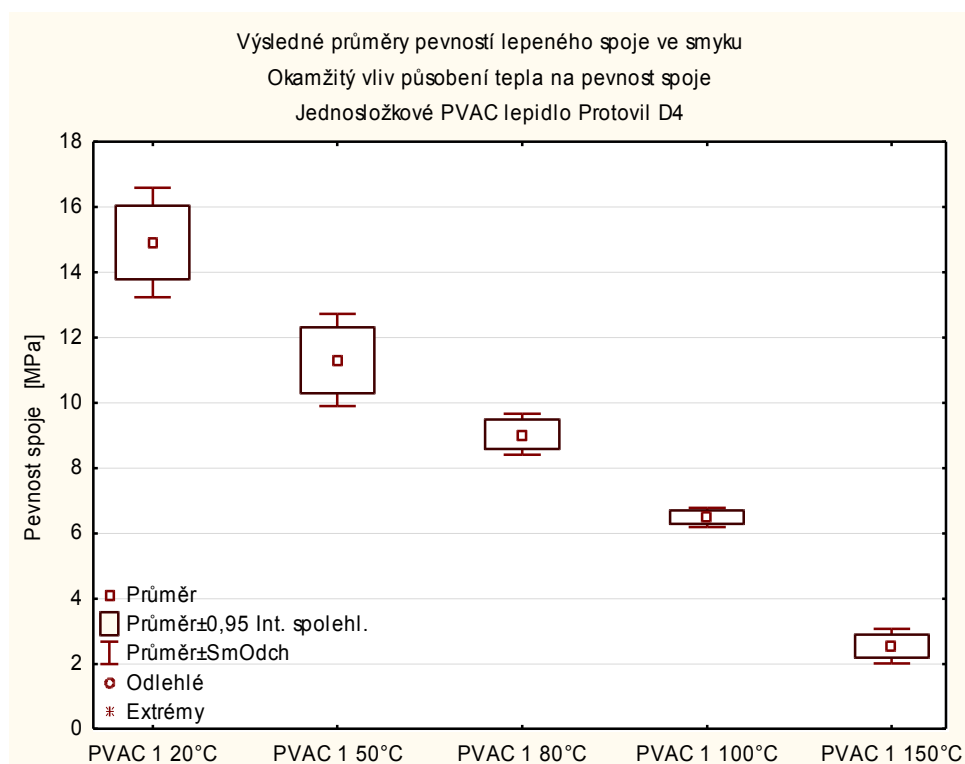
V této kapitole jsou výsledky veškerých měření uspořádány do grafů. Ke každému grafu je uvedena také diskuze, ve které je výsledek měření zhodnocen. Jednotlivá měření jsou dále uvedena v přílohách jako přehledné tabulky, všech naměřených hodnot.

5.1. Vliv teploty na pevnost spoje

Jednotlivá měření vzorků jednosložkového lepidla byla prováděna bezprostředně po vyjmutí důkladně prohřátého vzorku z prostředí dané teploty. V důsledku působení nižší teploty okolního prostředí měřícího zařízení mohlo vést k určitému snížení teploty spoje, tu však v tomto měření neuvažujeme, snížení teploty spoje bude minimální a bylo by velmi obtížné jej přesně měřit

5.1.1. Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4

Následující výsledky se týkají hodnot lepených spojů provedených jednosložkovým PVAC lepidlem.



Obr. 11 Graf průměrných hodnot a směrodatných odchylek pro měření vlivu působení teploty na spoje lepené jednosložkovým PVAC lepidlem

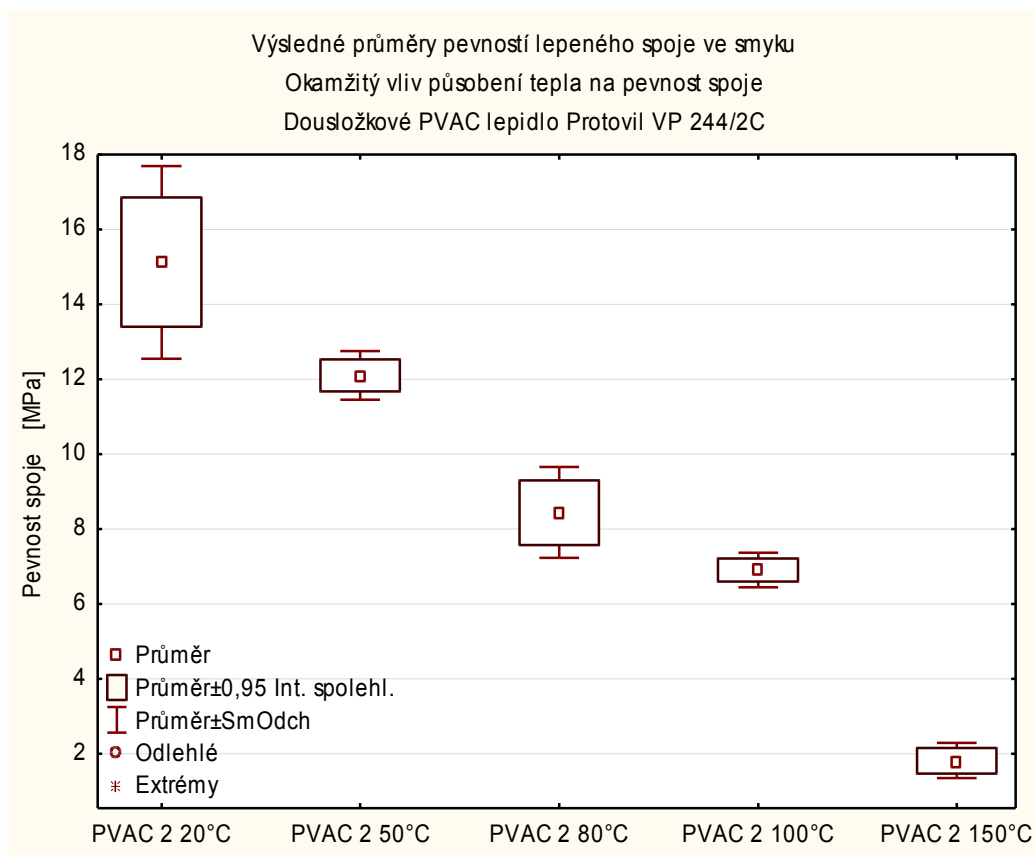
Tab. 2 Výsledné pevnosti ve smyku lepených spojů jednosložkového lepidla v závislosti na teplotě

Pevnost ve smyku při různých teplotách spoje [MPa]					
typ lepidla: Protovil D4	20°C	50°C	80°C	100°C	150°C
Aritmetický průměr	14,91	11,31	9,03	6,49	2,54
Maximum	17,59	13,80	10,21	6,93	3,23
Minimum	12,67	9,32	7,93	6,08	1,86
Směrodatná odchylka	1,68	1,42	0,63	0,29	0,54
Variační Koefficient (%)	11,27	12,51	6,99	4,47	21,08

Z naměřených dat zobrazených v uvedeném grafu a tabulce poměrně jasně vyplývá, že pevnost spoje ve smyku se v závislosti se zvyšováním jeho teploty snižuje. Je to bezesporu způsobeno tím, že ve vyšších teplotách dochází k plastifikaci lepidla a tedy značného oslabení lepeného spoje. Nejvyšších hodnot pevnosti téměř 15 MPa dokazovaly spoje měřené při teplotě 20°C. Poté dochází v závislosti na teplotě k téměř lineárnímu poklesu pevnosti, při teplotě 150°C pouhých 2,5 MPa.

5.1.2. Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C

Následující výsledky byly zjištěny u vzorků lepených dvousložkovým PVAC lepidlem.



Obr. 12 Graf průměrných hodnot a směrodatných odchylek pro měření vlivu působení teploty na spoje lepené jednosložkovým PVAC lepidlem

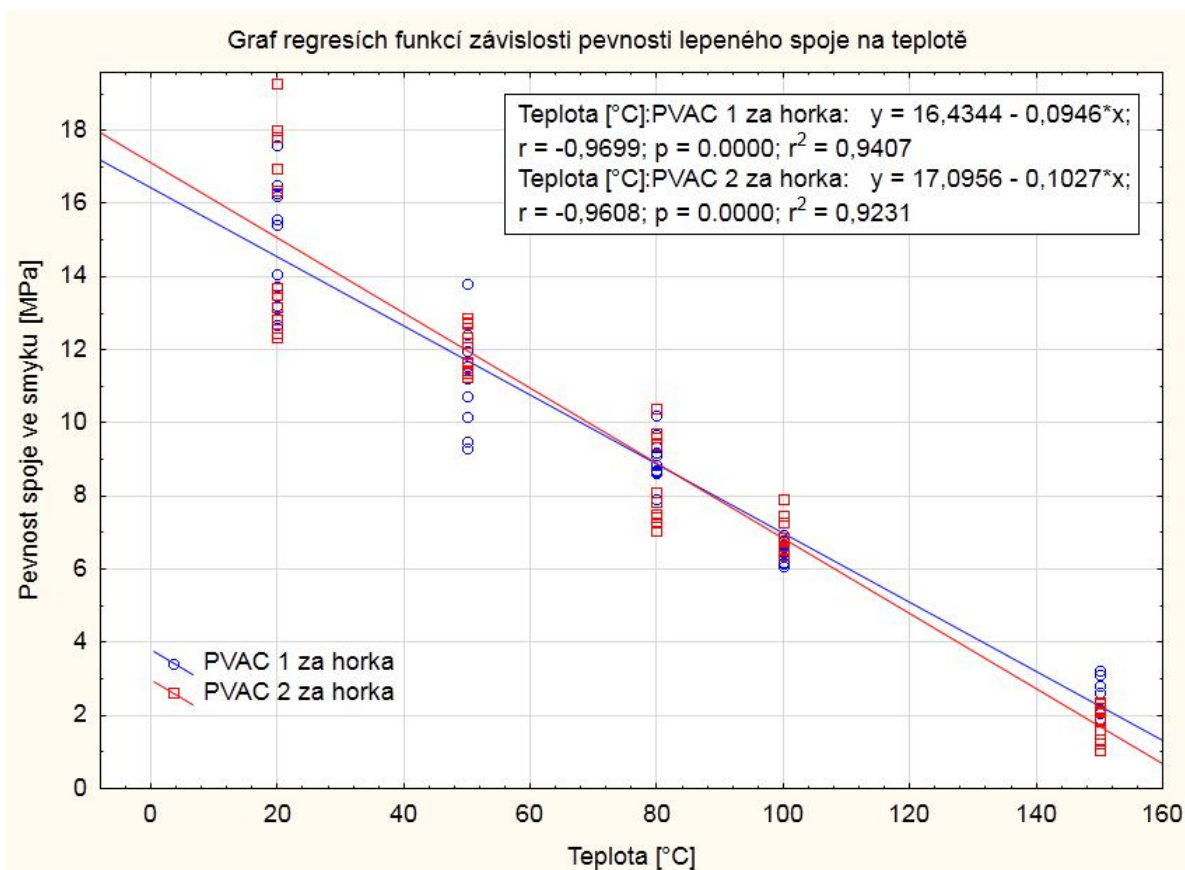
Tab. 3 Výsledné pevnosti ve smyku lepených spojů dvousložkového lepidla v závislosti na teplotě

Pevnost ve smyku při různých teplotách spoje [MPa]					
typ lepidla: Protovil VP 244/2C	20°C	50°C	80°C	100°C	150°C
Aritmetický průměr	15,12	12,10	8,43	6,90	1,81
Maximum	19,28	12,85	10,38	7,93	2,36
Minimum	12,33	11,27	7,06	6,38	1,07
Směrodatná odchylka	2,58	0,64	1,22	0,47	0,47
Variační Koefficient (%)	17,03	5,29	14,41	6,77	25,84

Z naměřených výsledků zaznamenaných výše můžeme pozorovat snižování pevnosti spoje v souvislosti se zvyšováním jeho teploty. Změny probíhají téměř lineárně. Pevnost spoje ve standardním prostředí se pohybuje okolo 15MPa, zatímco při teplotě 150°C průměr hodnot klesá až pod 2 Mpa. Závislost je zde zcela nevyvratitelná. Vlivem teploty dochází k plastifikaci lepidla a tím k oslabení spojení mezi jednotlivými částmi lepeného souboru.

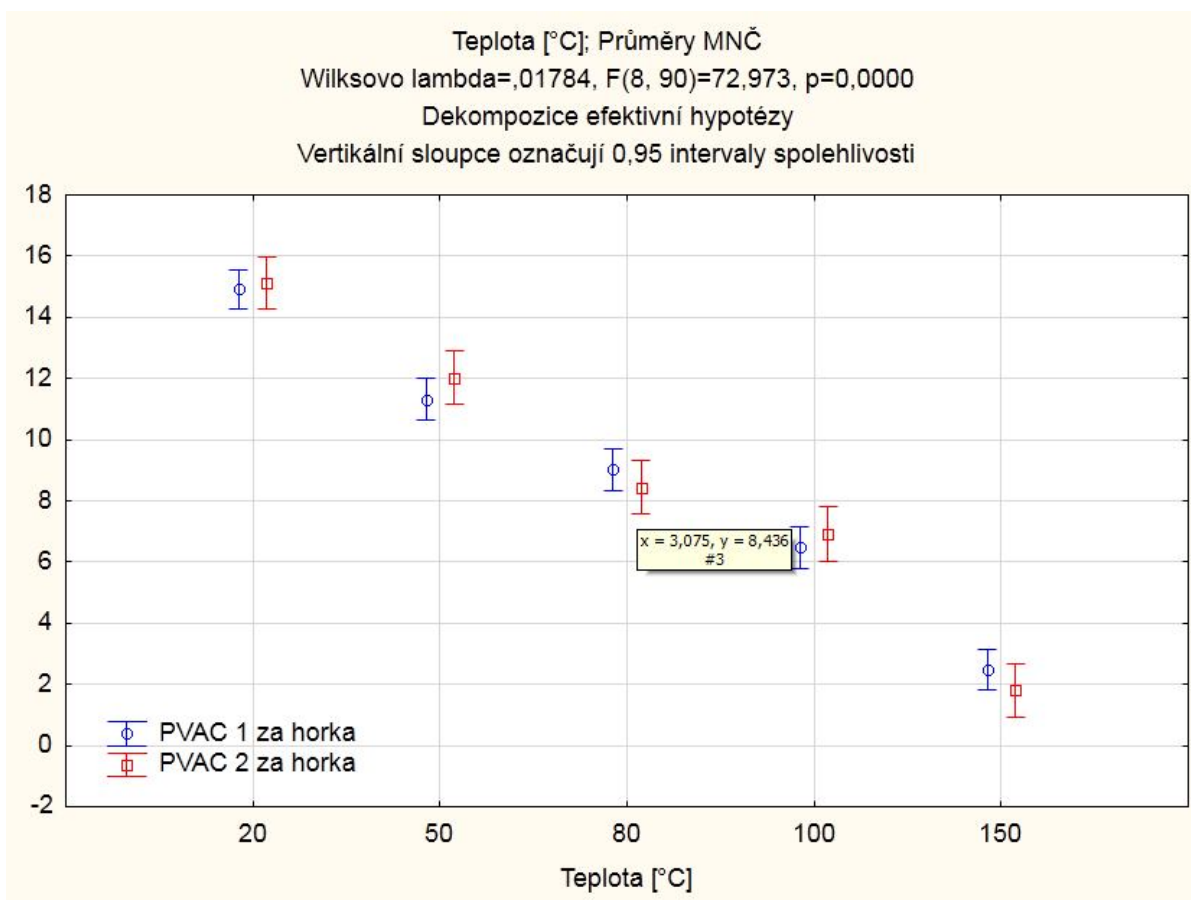
5.1.3. Porovnání vlastností obou PVAC lepidel

Obě lepidla použitá k lepení testovaných vzorků vykazují velmi podobné vlastnosti. Snížení pevnosti v závislosti na teplotě probíhá u obou použitých adhesiv prakticky lineárně. Odchytky průměrů obou lepidel jsou prakticky minimální, nemůžeme tedy usuzovat že jedno z lepidel by mělo lepší vlastnosti.



Obr. 13 Graf regresní analýzy pevnosti ve smyku v závislosti na teplotě pro obě měřená lepidla

Z uvedeného grafu regresních funkcí vyplývá, že rozdíl odolnosti vůči teplotě použitých lepidel je pouze minimální. Sklon regresních přímek je téměř totožný. Nelze tedy mezi lepidly stanovit významně odlišné reakce na působení tepla. Koefficienty determinance jsou se v obou případech velmi těsně přibližují hodnotě 1, což ukazuje na vysokou spolehlivost funkce. Pokles pevnosti spojů PVAC lepidel v závislosti na teplotě tedy podle našich měření probíhá lineárně.



Obr. 14 Graf analýzy rozptylu hodnot pevnosti v závislosti na teplotě pro oba typy lepidel

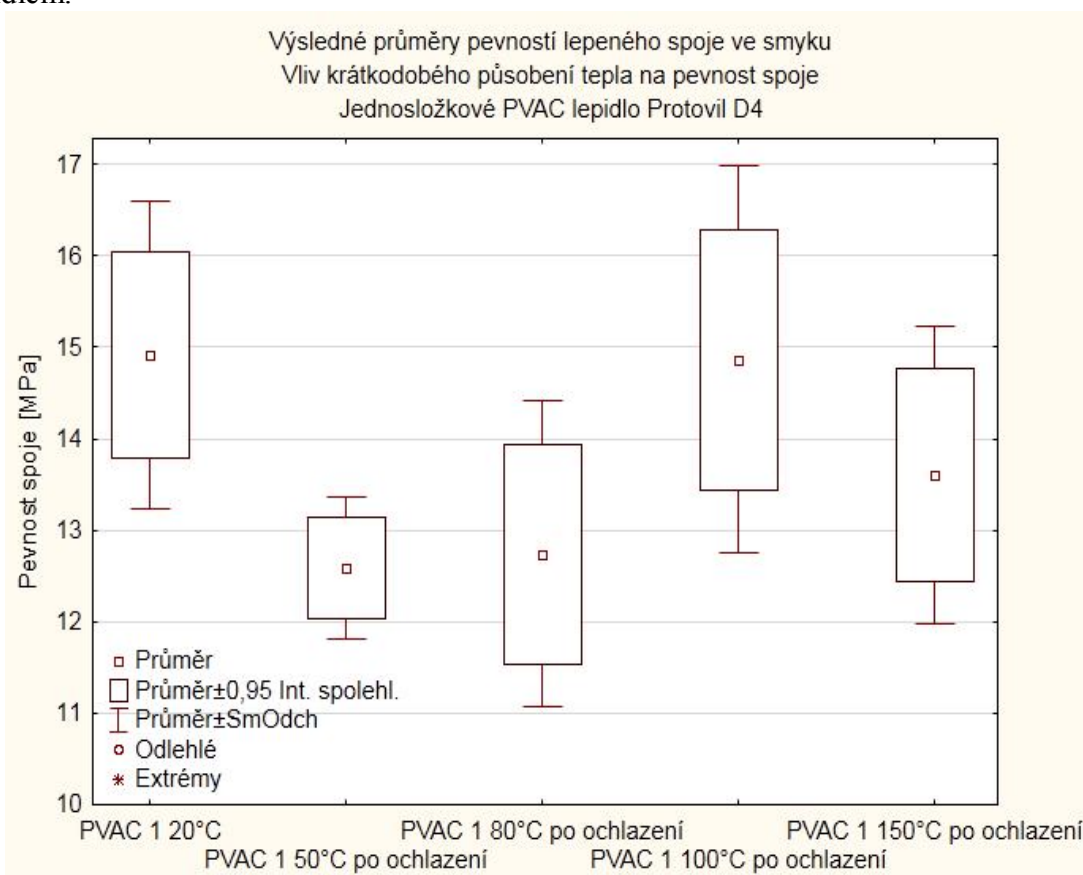
Pro porovnání statistické odlišnosti jednotlivých měření byla provedena analýza rozptylu. Z jejího grafu (viz obr. 14) je patrné že rozdíly jsou statisticky významné až na jednu vyjímku. Vyjímku jsou hodnoty naměřené pro 80 a 100°C u spojů dvousložkového lepidla.

5.2. Vliv krátkodobého působení tepla na pevnost spoje ve smyku

Zkouška pevnosti ve smyku byla prováděna na vzorcích, které byly nejprve dostatečně dlouhou dobu zahřívány na danou teplotu, abychom dosáhli úplného prohřátí celého souboru. Po vyjmutí z prostředí o stanovené teplotě byly znovu ochlazeny na teplotu 20°C za standardních podmínek. Znovu byla dodržena dostatečná doba ochlazování, aby došlo k ochlazení uvnitř celého souboru. Zkouška pevnosti probíhala znovu za standardních podmínek, jde tedy pouze o vliv krátkodobého působení tepla na lepený spoj.

5.2.1. Jednosložkové PVAC lepidlo Protovil D4

Následující hodnoty byly měřeny na vzorcích lepených jednosložkovým PVAC lepidlem.



Obr. 15 Grafické zobrazení naměřených hodnot a jejich průměrů pro krátkodobé působení různých teplot na lepené spoje jednosložkového PVAC lepidla

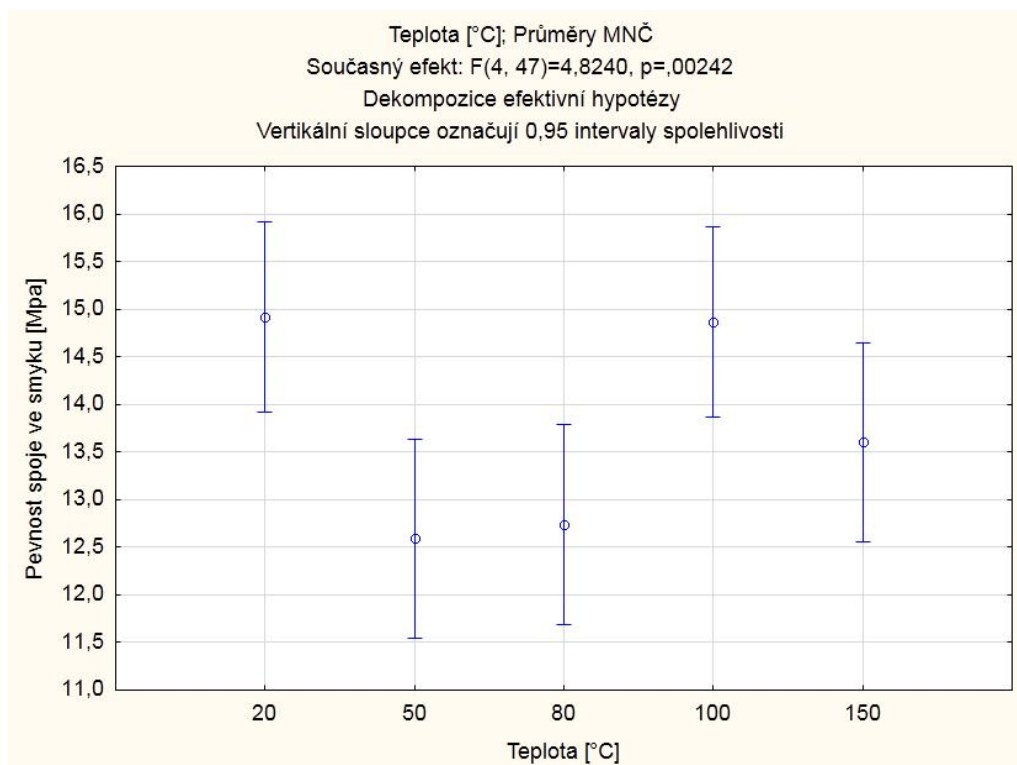
Tab. 4 Výsledné hodnoty naměřených pevností ve smyku při krátkodobém vystavení lepených spojů jednosložkového PVAC lepidla různým teplotám

Pevnost ve smyku při krátkodobém vystavení různým teplotám [MPa]					
typ lepidla: Protovil D4	20°C	50°C	80°C	100°C	150°C
Aritmetický průměr	14,91	12,59	12,74	14,86	13,60
Maximum	17,59	13,72	15,55	17,86	16,47
Minimum	12,67	11,67	10,69	12,78	10,63
Směrodatná odchylka	1,68	0,77	1,68	2,12	1,62
Variační Koeficient (%)	11,27	6,14	13,16	14,25	11,92

Tab. 5 Hladiny statistické významnosti průměrů pevností pro jednosložkové PVAC lepidlo při krátkodobém vystavení spojů různým teplotám

HSD při nestejných N; proměnná PVAC 1 po ochlazení (Data2)						
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy						
Chyba: meziskup. PČ = 2,7104, sv = 47,000						
Č. buňky	Teplota [°C]	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		14,914	12,589	12,742	14,863	13,604
1	20		0,022312	0,037955	0,999994	0,397859
2	50	0,022312		0,999612	0,026702	0,644162
3	80	0,037955	0,999612		0,045032	0,767787
4	100	0,999994	0,026702	0,045032		0,438168
5	150	0,397859	0,644162	0,767787	0,438168	

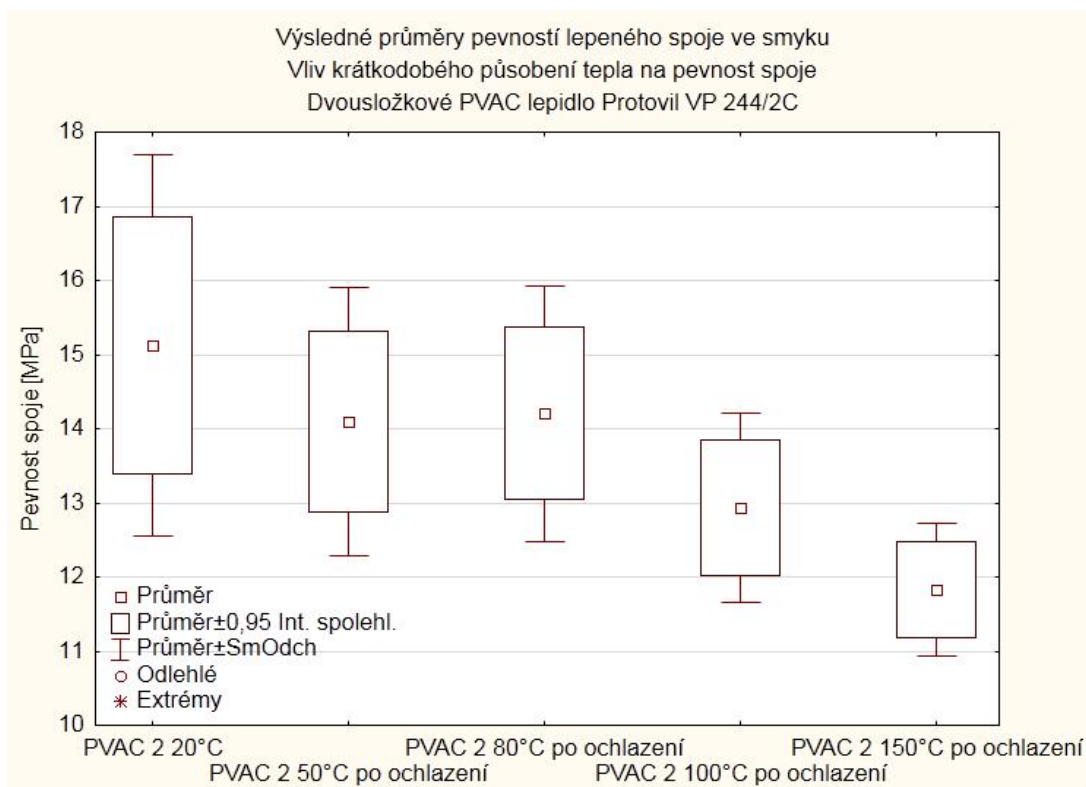
Z hodnot uvedených v tabulce 5 můžeme vyčíst statistické rozdíly mezi hodnotami pevností pro různé působící teploty. Zvýrazněné hodnoty zobrazují statisticky významné rozdíly mezi průměry pevností na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Statisticky významný rozdíl je zde mezi hodnotami naměřenými při 80 a 100°C a hodnotami naměřenými při 20 a 100°C mezi ostatními hodnotami statisticky významný rozdíl stanovit nemůžeme, což lze pozorovat i v grafu na obrázku 16. Vzhledem k těmto závěrům, které jsme odvodily z našich měření, nemůžeme říci, že by krátkodobé vystavení spojů lepidla Protovil D4 ovlivňovalo pevnost ve smyku. S velkou pravděpodobností jsou však naše měření zkreslující, neboť hodnoty pro teplotu 100°C jsou značně vyšší než bylo očekáváno.



Obr. 16 Graf průměrů hodnot pro posouzení statisticky významných rozdílů mezi hodnotami pevnosti spojů jednosložkového PVAC lepidla při krátkodobém působení různých teplot

5.2.2. Dvousložkové PVAC lepidlo Protovil VP 244/2C

Následující hodnoty byly získány měřením vzorků lepených dvousložkovým PVAC lepidlem.



Obr. 17 Grafické zobrazení naměřených hodnot a jejich průměrů pro krátkodobé působení různých teplot na lepené spoje dvousložkového PVAC lepidla

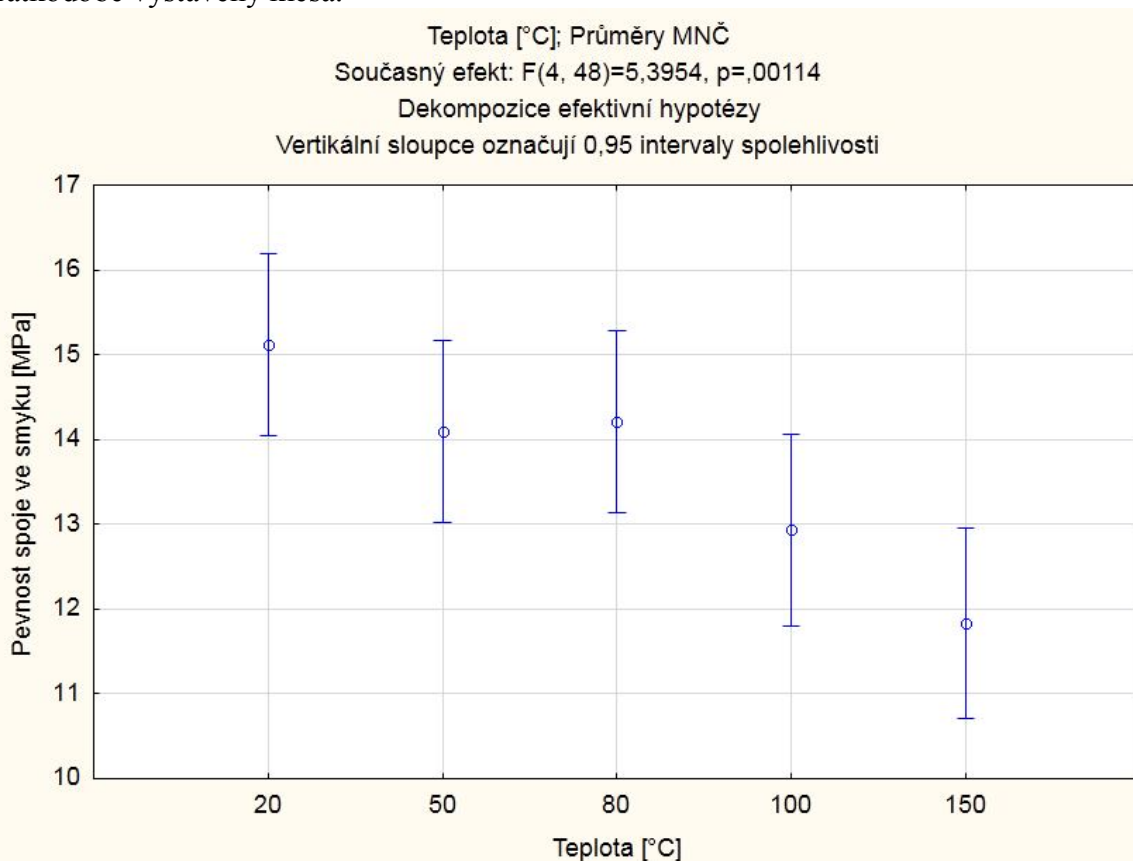
Tab. 6 Výsledné hodnoty naměřených pevností ve smyku při krátkodobém vystavení lepených spojů dvousložkového PVAC lepidla různým teplotám

Pevnost ve smyku při krátkodobém vystavení různým teplotám [MPa]					
typ lepidla: Protovil VP 244/2C	20°C	50°C	80°C	100°C	150°C
Aritmetický průměr	15,12	14,09	14,21	12,93	11,83
Maximum	19,28	17,00	18,01	14,54	12,79
Minimum	12,33	11,87	12,66	10,54	10,23
Směrodatná odchylka	2,58	1,80	1,72	1,27	0,90
Variční Koefficient (%)	17,03	12,80	12,13	9,85	7,60

Tab. 7 Hladiny statistické významnosti průměrů pevností pro dvousložkové PVAC lepidlo při krátkodobém vystavení spojů různým teplotám

HSD při nestejných N; proměnná PVAC 2 po ochlazení (Data2) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 3,1373, sv = 48,000						
Č. buňky	Teplota [°C]	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		15,124	14,095	14,207	12,931	11,830
1	20		0,654089	0,743779	0,058711	0,001311
2	50	0,654089		0,999896	0,587262	0,047189
3	80	0,743779	0,999896		0,497813	0,033111
4	100	0,058711	0,587262	0,497813		0,637018
5	150	0,001311	0,047189	0,033111	0,637018	

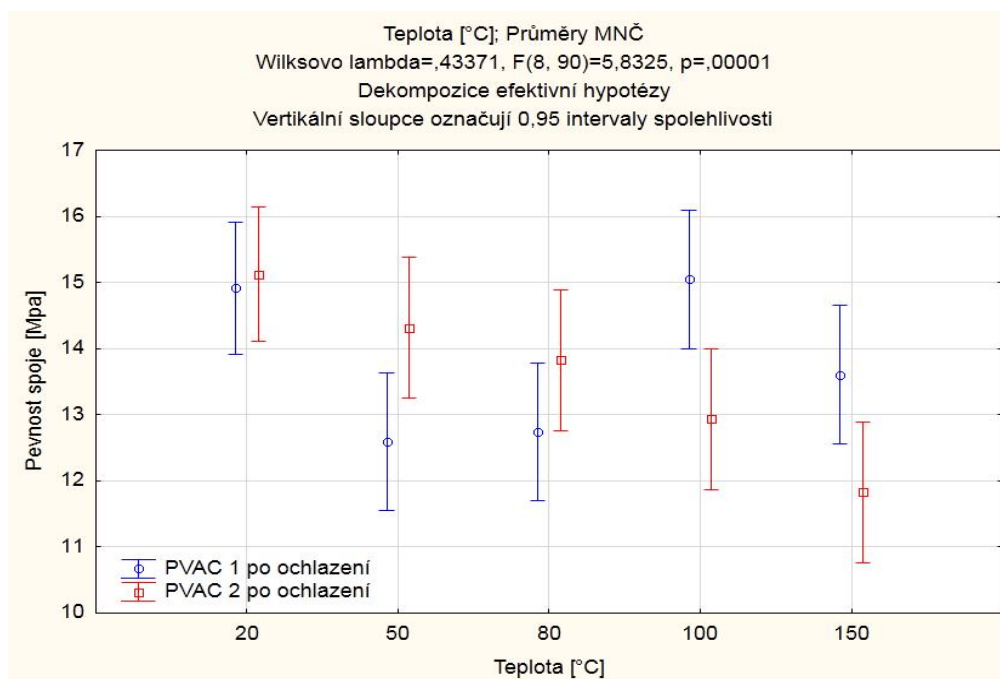
Zvýrazněné hodnoty v tabulce 7 vypovídají o tom, že statisticky významný rozdíl mezi můžeme v tomto případě stanovit pouze u hodnot pevnosti naměřených pro teplotu 150°C vůči hodnotám pevnosti pro teploty 20, 50 a 80°C. Z grafu na obrázku 18 je tento statisticky významný rozdíl jasně patrný. Vzhledem ke klesající tendenci hodnot a statisticky významnému rozdílu mezi první a poslední z nich můžeme tvrdit, že pevnost ve smyku lepených spojů dvousložkového lepidla Protovil VP 244/2C s rostoucí teplotou, které byly i krátkodobě vystaveny klesá.



Obr. 18 Graf průměrů hodnot pro posouzení statisticky významných rozdílů mezi hodnotami pevnosti spojů dvousložkového PVAC lepidla při krátkodobém působení různých teplot.

5.2.3. Porovnání vlastností obou PVAC lepidel

Lepené spoje obou typů lepidel byly podrobeny stejným podmínkám a stejným zkouškám. Výsledné hodnoty jednotlivých lepidel se sice různí, přesto nemůžeme s určitostí tvrdit, že jejich vlastnosti jsou příliš odlišné. Náhodné veličiny mohly naše měření značně ovlivnit i vzhledem k poměrně nízkému počtu testovaných vzorků.

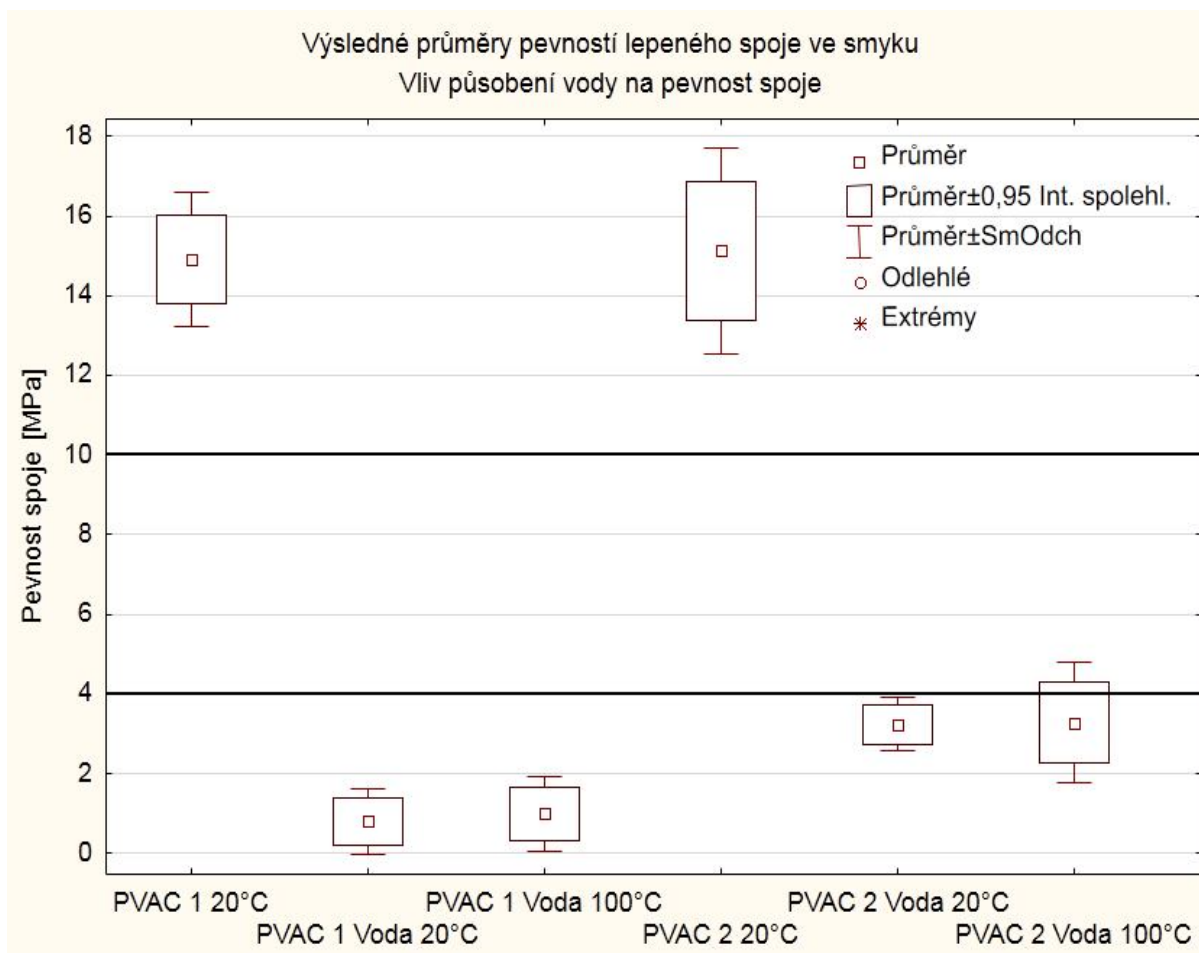


Obr. 19 Graf průměrů hodnot pro posouzení statisticky významných rozdílů mezi hodnotami pevnosti spojů dvousložkového PVAC lepidla při krátkodobém působení různých teplot

Z grafu na obrázku 19 je patrné, že mezi hodnotami vzorků jednotlivých lepidel nejsou statisticky významné rozdíly. Pro hodnoty pro 100°C se intervaly spolehlivosti dotýkají jen těsně, to však pro tvrzení, že mezi chováním lepidel je významný rozdíl nestačí. Pevnostní vlastnosti použitých lepidel se tedy při krátkodobém působení různých teplot statisticky významně neliší.

5.3. Ověření splnění parametrů třídy trvanlivosti D4 dle normy

Dle normy ČSN EN 204 by měla lepidla třídy trvanlivosti D4 odolávat značným zatížením i v případě vystavení působení vody. Z následujících výsledků však jasně vyplývá že obě lepidla dle našich měření požadavku pro zařazení do třídy trvanlivosti D4 nevyhověla.



Obr. 20 Graf hodnot ověření lepidel zda splňují požadavky třídy trvanlivosti D4

Výrobce na obou dodávaných lepidlech uvádí třídu odolnosti vůči vlhkosti D4 dle příslušných norem. Naše měření však vykazují opak tohoto tvrzení. Při vystavení lepeného spoje vroucí nebo studené vodě by jeho pevnost ve smyku podle normy ČSN EN 204 neměla klesnout pod 4 MPa. V našem případě tomuto vyhovělo jen několik měřených vzorků lepených dvousložkovým lepidlem. Dvousložkové lepidlo je v tomto případě, ve srovnání s jednosložkovým, voděodolnější, ani jedno však zařazení do třídy trvanlivosti D4 nevyhovuje.

6. Diskuze

V následujících kapitolách jsou výsledky měření slovně shrnuty a posouzeny z hlediska výsledků, které byly před vlastním měřením očekávány. Bohužel jsem se během svého průzkumu literatury setkal pouze s jedinou prací, která se působením tepla na pevnost lepených spojů zabývala, většinou jsou tedy úvahy založeny pouze na domněnkách.

6.1. Vliv teploty na pevnost spojů ve smyku

Při zkouškách pevnosti ve smyku za různých teplot bylo očekáváno, že se zvyšující se teplotou budou hodnoty pevností klesat. Tento fakt je odvoditelný z podstaty PVAC lepidel, která jsou termoplasty, a při zvýšení teploty plastifikují. Výsledky které to potvrzují uvádí ve své publikaci Eisner a kolektiv [4] a jimi získané hodnoty jsou znázorněny na grafu na obrázku 4. Poměrně překvapujícím zjištěním však byl fakt že oproti výsledkům Eisnera, kde funkce poklesu pevnosti je dána kvadratickou rovnicí, v našem případě je závislost čistě lineární. Obecně vzato však fakt, že pevnost se se zvyšující teplotou snižuje platí v obou případech rozdílné výsledky mohou být ovlivněny jiným typem PVAC lepidla.

Na základě poznatků o PVAC lepidlech bychom mohli usuzovat že jednosložkové lepidlo bude vykazovat horší vlastnosti, neboť u jednosložkových lepidel se během skladování adhesivní vlastnosti zhoršují. V našem případě jsme však významný rozdíl mezi lepidly nepozorovali. Jednou z možností, neočekávaného výsledku může být například krátká doba skladování jednosložkového lepidla po jeho výrobě. Je možné, že náš dodavatel obdržel zboží od výrobce lepidel jen krátce před tím, než nám bylo lepidlo prodáno. Obsažené složky tak byly stále čerstvé a jejich adhezivní vlastnosti se nestihli v krátké době natolik zhoršit. I tak bychom však očekávali vyšší odolnost dvousložkového lepidla. Naším závěrem je tedy fakt že PVAC lepidla od výrobce Collanti Concorde vykazují z hlediska odolnosti vůči teplotě stejné vlastnosti, ať už jsou jednosložková nebo dvousložková.

6.1.1. Vliv krátkodobého působení tepla na pevnost spoje

Z naměřených hodnot můžeme usuzovat, že pevnost spoje není příliš ovlivněna krátkodobým působením zvýšených teplot prostředí do 150°C. Během zahřátí patrně dojde u lepidla k plastifikaci, po jeho ochlazení však spoj znovu vytvrdí a pevnost zůstává téměř nezměněna. Veškeré naměřené hodnoty vyhovují požadavkům normy ČSN EN 204 pro pevnost lepeného spoje ve smyku za standardních podmínek, tedy pevnost spoje byla ve všech případech našeho měření vyšší než 10 MPa.

Mírné změny pevností sledovat můžeme, nejsou však statisticky významné. Při zkouškách vzorků vystavených teplotě 100°C jednosložkového lepidla došlo dokonce během našeho měření k mírnému zvýšení pevnosti. Tato deviace může být možná zapříčiněna lepším přilnutím nebo nasátím lepidla do substrátů během jeho plastifikace, nebo zlepšení jeho kohezivních vlastností. S největší pravděpodobností se však v tomto případě jedná o

chybu měření, jelikož při teplotách 50 a 80°C byly hodnoty pevnosti prokazatelně nižší. Průběh pevností v závislosti na teplotě tak, jak byl našimi měřeními získán a jak je znázorněn na grafu v příloze je však značně nepravděpodobný. Proto musíme usuzovat spíše na chybu měření. V rámci měření byly některé vzorky po zahřátí déle vystaveny standardním podmínkám, je tedy možné, že po ochlazení spoje na původní teplotu může stále docházet k jeho opětovnému vytvrzování a tím zvyšování hodnot pevnosti ve smyku.

Výsledky získané zkouškami vzorků dvousložkového lepidla na rozdíl od jednosložkového dopadly dle očekávání. Tendence poklesu pevnosti v závislosti na zvyšování teploty, které je spoj vystaven, je z našich měření evidentní. U hodnot pro teplotu 80°C můžeme sledovat mírné pozastvení poklesu, avšak statisticky významný posun to není a vzhledem k poměrně malému počtu měřených vzorků můžeme předpokládat, že mírně vyšší pevnost je v tomto případě čistě náhodná. Jak už ovšem bylo zmíněno, na základě našich měření můžeme s určitostí říci že i krátkodobé působení vyšších teplot na spoje lepené dvousložkovým PVAC lepidlem Protovil VP 244/2C může snižovat jejich pevnost ve smyku.

Při porovnání vlastností obou lepidel ve vztahu na krátkodobé působení tepla nemůžeme stanovit signifikantní rozdíl. Získané hodnoty pro různá lepidla byly sice odlišné, rozptýly hodnot se však překrývají ve všech měřených případech. Je tedy velmi nespolehlivé usuzovat v této souvislosti na pravidelnost. Vzhledem k použití pouhých deseti platných měření ke stanovení závislosti není vypovídající hodnota našich výsledků příliš vysoká. Pro přesnější hodnoty by bylo vhodné použít větší množství zatěžovaných vzorků, a důsledně dbát na stejné podmínky během ohřevu a ochlazování.

6.2. Ověření splňování parametrů pro zařazení do třídy trvanlivosti D4

Při ověření, zda zvolená lepidla skutečně splňují parametry pro zařazení do třídy trvanlivosti D4 jsme došli jasnému závěru. Lepidla Protovil D4 a Protovil VP244/2C podle našich výsledků požadavkům třídy trvanlivosti D4 nevyhověla. Je možné, že došlo k chybám v našem měření a výrobce opravdu dostatečných hodnot ve svých laboratořích dosahuje. Námi použité vzorky lepidel však požadavky nesplňují. Další možností může být poškození lepidel během přepravy od výrobce k našemu dodavateli. Pokud byla lepidla vystavena působení nějakých nepříznivých vlivů, mohlo dojít k zhoršení vlastností lepidel. Dále můžeme vyvodit závěr, že pro zařazení lepidel do vyšší třídy odolnosti připravil výrobce

kvalitní směs, která požadavkům vyhověla, ale v následné výrobě došlo nedopatřením ke změně směsi, a proto lepidla potřebných vlastností nedosahují. Zda-li skutečně výrobky firmy Collanti Concorde za jiných podmínek požadavkům normy ČSN EN 204 vyhovují je těžké usuzovat. Jednoznačně však vzorky lepidel použité pro naše měření parametry pro zařazení do třídy trvanlivosti D4 nesplňují.

7. Závěr

Během staletí, po která jsou již lepidla používána došlo k jejich obrovskému vývoji. Zprvopočátku byla k lepení používána snad jen hlína nebo jíl, poté byl vynalezen kostní klíh, a podobná lepidla na přírodní bázi, a nakonec v průběhu dvacátého století byla vyvinuta syntetická lepidla která dnes splňují do té doby nepředstavitelné požadavky.

V literární rešeri této práce je nejprve v krátkosti shrnut právě vývoj lepidel a následně se věnuje samotnému procesu lepení. Doposud nebyla jasně stanovena teorie která by proces lepení jednoznačně a bez výjimky objasnila. Teorií, které se snaží proces lepení definovat je celá řada a jsou v další části literární rešerše jednotlivě popsány. Dále práce rozebírá možnosti různých způsobů vytržování lepidel, a pak se věnuje také zvláště jednotlivým lepidlům, které se se v dřevařském průmyslu používají, jejich výrobě a vlastnostem. Literární průzkum je zakončen kapitolou která se věnuje výhradně PVAC lepidlům a odolnosti lepených spojů vůči teplotě.

Další částí této práce je uvedení metodiky výzkumu odolnosti PVAC lepených spojů vůči teplotě který byl prováděn. Je zde do podrobnosti sepsán postup měření a výroby zkoušených vzorků, aby bylo možné experimentální měření v případě potřeby opakovat stejným způsobem a výsledky tak mohly být případně následně ověřeny.

Samotné měření probíhalo v budově fakulty Lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze. Zkušební vzorky byly zhotoveny v truhlářské dílně, která fakultě náleží a důsledně byly sledovány všechny požadavky normy, aby byly výsledky relevantní. Stejně tak trhací zařízení splňuje požadavky normy.

Na základě zkoušek pevnosti ve smyku připravených vzorků dvou PVAC lepidel uvedené třídy trvanlivosti D4 byly vytvořeny grafy závislosti pevnosti lepených spojů na teplotě, a to jak pro okamžité pevnosti za dané teploty, tak pro krátkodobé působení tepla na vzorky, které byly následně testovány za standardních pomínek. Část vzorků byla použita na

ověření lepidel, zda splňují dané parametry normy ČSN EN 204 pro zařazení do třídy trvanlivosti D4

Výsledky našich měření potvrdily předpoklad, že PVAC lepidla vystavená vyšším teplotám plastifikují a pevnost za těchto teplot je tak výrazně nižší. Naopak ovšem nebyla potvrzena domněnka, že dvousložková lepidla jsou vůči účinkům tepla odolnější. V případě odolnosti PVAC lepidel vůči okamžitému působení lepidel se obě použítá lepidla chovala stejně. Při posouzení vlivu krátkodobého působení tepla na lepené spoje jsme dokonce mohli stanovit, že jednosložkové lepidlo je odolnější. Tento fakt je však patrně způsoben chybou měření. Co se týče odolnosti vůči vlhkosti, ani jedno lepidlo nevyhovělo požadavkům pro zařazení do třídy trvanlivosti D4. Výrobce tedy u těchto lepidel uvádí nepravdivé údaje, nebo muselo dojít k jejich poškození.

Výsledkem této práce je tedy jasně prokázáno, že teplota může pevnost spojů lepených PVAC lepidly značně ovlivnit, avšak pouze její okamžité působení. Při krátkodobém působení tepla není pokles hodnot prokazatelný. Stejnětak není možno stanovit že jednosložkové nebo dvousložkové lepidlo disponuje lepšími vlastnostmi, oba druhy lepidel reagují na změny teplot velmi podobně.

8. Seznam Literatury a použitých zdrojů

- [1] **Osten, M.** *Práce s lepidly a tmely*, Grada Publishing, spol. s r.o., 1996, 136s, ISBN 80-7169-338-3
- [2] **Ebnesajjad, S. (ed.)** *Ahesives Technology Hanbook, 2nd Edition*, Wiliam Andrew Inc., 2008, 363s, ISBN 978-0-8155-1533-3
- [3] **Sedliačik, M. a Sedliačik, J.** *Chemické látky v drevarskom priemysle*, Technická univerzita vo Zvolene, 1998, 286s, ISBN 80-228-0745-1
- [4] **Eisner, K., Havlíček, V., Osten, M.** *Dřevo a plasty*, SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1983, 383s, ISBN 80-228-0745-1
- [5] **Mareček, A. a Honza, J.** *Chemie pro čtyřleté gymnázia – 1.díl*, Nakladatelství Olomouc, 1998, 240s, ISBN 80-7182-055-5
- [6] **Benešová, M. a Satrapová, H** *Odmaturuj z chemie*, Nakladatelství DIDAKTIS, 2002, 208s, ISBN 80-86285-56-1
- [7] **Jursík, F.** *Anorganická chemie kovů. 1. vyd.*, Vysoká škola chemicko technologická v Praze, 2002, 152s, ISBN 80-7080-504-8
- [8] **Liptáková, E. a Sedliačik, M.** *Chemia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*, ALFA vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1989, 520s, ISBN 80-05-00116-9
- [9] **Pokorný, J.** *Lepení a tmelení v dílně i domácnosti*, Grada Publishing, spol. s r.o., 2000, 108s, ISBN 80-7169-857-1
- [10] **Bednářová, I.** *Statistika a výpočetní technika, Multimediální výukový text pro studenty VFU Brno Veterinární a farmaceutická univerzita Brno* [online] [cit. 2013-03-26]. Dostupné z <<http://cit.vfu.cz/statpotr>>
- [11] **Brockmann, W., Geiß, P.L., Klingen, J., Schröder, B.** *Adhesive bonding, Materials, Applications and Technology*, z německého originálu přeložila Mikhail, B., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009, 414s, ISBN 987-3-527-31898-8
- [12] **David, S. a Kratochvíl, K.** *Materiály pro 2. ročník středních průmyslových škol dřevařských*, SNTL – nakladatelství technické literatury, n.p., Praha, 1982, 144s, ISBN 04-803-86

- [13] **Minford, J. D.**, *Adhesives*. In **Kinloch, A. J. (ed.)**, *Durability of structural adhesives* Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1986, 135-214s, ISBN 0-85334-214-8
- [14] **Kovačič, L.**, *Lepenie kovov a plastov, 2. opravené vydanie*, ALFA Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n. p., Bratislava, spoločne s SNTL – Nakladateľství technické literatúry, n. p., Praha, 1984, 400s, ISBN 63-002-84
- [15] **Muzikář, Z. a kol.**, *Materiály II pro učební obor Truhlář*, Nakladatelství Informatorium, spol. s r.o., Praha, 2008, 174s, ISBN 978-80-7333-61-3
- [16] **Nutsch, W. a kol.**, *Příručka pro truhláře, druhé přepracované vydání*, z německého originálu přeložila Michňová, I., a kol., Europa – Sobotáles cz., Praha, 2006, 174s, ISBN 80-86706-14-1
- [17] **Kafka, E. a kol.**, *Dřevařská příručka 1. část*, SNTL – Nakladatelství technické literatúry n.p., Praha, 1989, 483s, ISBN 80-03-00009-2
- [18] **Gandelová, L., Horáček, P., Šlezingerová, J.**, *Nauka o dřevě*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 2002, 176s, ISBN 80-7157-577-1
- [19] **Geddes, K.**, *Polyvinyl and Ethylene-Vinyl Acetates* In **Pizzi, A. (ed.) a Mittal, K. L. (ed.)**, *Handbook of Adhesive Technology, Second Edition, Revised and Expanded*, Marcel Dekker, Inc., New York, 2003, 719-730s, ISBN 0-8247-0986-1

Normy:

- [20] **ČSN EN 205.** *Lepidla - Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání*. Praha : Český normalizační institut, 2003. 16 s.
- [21] **ČSN EN 204.** *Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*. Praha : Český normalizační institut, 2001. 8 s.
- [22] **ČSN EN 923 + A1.** *Lepidla - termíny a definice*. Praha : Český normalizační institut, 2008. 80 s.

Technické listy lepidel:

- [23] **Protovil D4**, Technický list lepidla, výrobce Collanti Concorde, Italy.
- [24] **Protovil VP 244/2C**, Technický list lepidla, výrobce Collanti Concorde, Italy.

9. Přílohy

Příloha 1

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C – Protovil D4						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	10,1	18,7	188,9	3058	16,19	
2	9,8	19,9	195,0	3220	16,51	
3	9,9	19,9	197,0	3465	17,59	
4	9,9	20,0	198,0	3223	16,28	
5	10,0	19,8	198,0	3051	15,41	
6	9,8	19,6	192,1	2535	13,20	
7	9,8	19,9	195,0	2742	14,06	
8	9,8	19,8	194,0	3020	15,56	
9	9,8	19,6	192,1	2638	13,73	
10	9,8	19,7	193,1	2481	12,85	
11	9,7	19,8	192,1	2433	12,67	
Aritmetický průměr	9,85	19,70	194,11	2896,91	14,91	
Maximum	10,10	20,00	198,00	3465,00	17,59	
Minimum	9,70	18,70	188,87	2433,00	12,67	
Směrodatná odchylka	0,11	0,35	2,85	347,63	1,68	
Variační Koeficient (%)	1,14	1,80	1,47	12,00	11,27	

Příloha 2

Pevnost ve smyku při teplotě 50°C – Protovil D4						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	10,1	20,0	202,0	2263	11,20	
2	9,8	19,5	191,1	2053	10,74	
3	9,8	19,9	195,0	1986	10,18	
4	9,8	20,1	197,0	2718	13,80	
5	9,9	20,0	198,0	2290	11,57	
6	9,9	19,8	196,0	1826	9,32	
7	9,5	20,0	190,0	2358	12,41	
8	9,8	19,6	192,1	2299	11,97	
9	9,7	19,8	192,1	1822	9,49	
10	9,7	19,6	190,1	2360	12,41	
Aritmetický průměr	9,80	19,83	194,34	2197,46	11,31	
Maximum	10,10	20,10	202,00	2718,06	13,80	
Minimum	9,50	19,50	190,00	1822,00	9,32	
Směrodatná odchylka	0,16	0,21	3,94	277,04	1,42	
Variační Koeficient (%)	1,60	1,04	2,03	12,61	12,51	

Příloha 3

Pevnost ve smyku při teplotě 80°C – Protovil D4						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	10,0	19,6	196,0	1898,106	9,68	
2	9,8	19,7	193,1	1674,369	8,67	
3	9,8	19,6	192,1	1658,965	8,64	
4	9,7	19,7	191,1	1662,5	8,70	
5	9,8	19,9	195,0	1777,525	9,11	
6	9,9	19,7	195,0	1724,369	8,84	
7	9,6	19,7	189,1	1737,897	9,19	
8	10,2	19,2	195,8	1999,116	10,21	
9	10,2	19,6	199,9	1865,278	9,33	
10	9,9	19,6	194,0	1538	7,93	
Aritmetický průměr	9,89	19,63	194,12	1753,61	9,03	
Maximum	10,20	19,90	199,92	1999,12	10,21	
Minimum	9,60	19,20	189,12	1538,00	7,93	
Směrodatná odchylka	0,20	0,18	3,00	135,53	0,63	
Variační Koeficient (%)	1,99	0,90	1,55	7,73	6,99	

Příloha 4

Příloha 5

Pevnost ve smyku při teplotě 100°C – Protovil D4						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	9,8	19,5	191,1	1238	6,48	
2	9,9	19,7	195,0	1319	6,76	
3	9,9	19,5	193,1	1338	6,93	
4	9,7	19,7	191,1	1212	6,34	
5	9,9	19,6	194,0	1179	6,08	
6	9,8	19,8	194,0	1252	6,45	
7	9,7	19,6	190,1	1270	6,68	
8	9,9	19,8	196,0	1218	6,21	
9	10,0	19,8	198,0	1342	6,78	
10	9,8	19,7	193,1	1192	6,17	
Aritmetický průměr	9,84	19,67	193,56	1256,00	6,49	
Maximum	10,00	19,80	198,00	1342,00	6,93	
Minimum	9,70	19,50	190,12	1179,00	6,08	
Směrodatná odchylka	0,10	0,12	2,42	59,66	0,29	
Variační Koeficient (%)	0,98	0,59	1,25	4,75	4,47	

Příloha 6

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 50°C – Protovil D4					
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)
Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 80°C – Protovil D4					
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)
1	9,8	19,8	194,0	3126,01	15,55
2	9,9	19,9	197,6	2130,662	10,82
3	9,8	19,8	196,0	2614,394	13,34
4	10,0	19,6	196,0	2682	13,35
5	9,6	19,6	190,2	2245	14,89
6	9,8	19,4	186,2	2042	10,96
7	10,0	19,6	192,0	2463	12,86
8	9,8	19,9	193,1	2411	11,83
9	9,6	19,7	189,1	2483	13,13
10	9,85	19,26	189,63	2389,79	10,69
	9,5	19,5	185,3	1981	
	10,10	19,80	197,00	2682,00	
Aritmetický průměr	9,74	19,65	191,42	2441,71	12,74
Maximum	10,10	19,90	200,99	3126,01	15,55
Minimum	9,50	19,40	185,25	1981,00	10,69
Směrodatná odchylka	0,19	0,18	5,30	352,32	1,68
Variační Koeficient (%)	1,95	0,91	2,77	14,43	13,16

Příloha 8

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 100°C – Protovil D4					
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)
1	9,7	19,7	191,1	2518	13,18
2	9,9	19,7	195,0	3353	17,19
3	9,9	19,6	194,0	3338	17,20
4	9,8	19,8	194,0	2583	13,31
5	10,0	19,6	196,0	3500	17,86
6	9,7	19,5	189,2	2598	13,74
7	10,0	19,6	196,0	3445	17,58
8	9,9	19,6	194,0	2830	14,58
9	9,9	19,9	197,0	2518	12,78
10	10,0	19,6	196,0	2551	13,02
11	9,9	19,6	194,0	2532	13,05
Aritmetický průměr	9,88	19,65	194,22	2887,82	14,86
Maximum	10,00	19,90	197,01	3500,00	17,86
Minimum	9,70	19,50	189,15	2518,00	12,78
Směrodatná odchylka	0,11	0,11	2,31	424,04	2,12
Variační Koeficient (%)	1,09	0,57	1,19	14,68	14,25

Příloha 9

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 150°C – Protovil D4						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1		9,9	19,5	193,1	2612	13,53
2		9,8	19,5	191,1	2518	13,18
3		9,7	19,4	188,2	2000	10,63
4		10,0	19,7	197,0	2442	12,40
5		9,7	19,5	189,2	2821	14,91
6		9,9	19,6	194,0	2580	13,30
7		9,9	19,6	194,0	3195	16,47
8		9,7	19,5	189,2	2465	13,03
9		9,9	19,4	192,1	2560	13,33
10		10,0	19,4	194,0	2960	15,26
Aritmetický průměr						
		9,85	19,51	192,18	2615,30	13,60
Maximum						
		10,00	19,70	197,00	3195,00	16,47
Minimum						
		9,70	19,40	188,18	2000,00	10,63
Směrodatná odchylka						
		0,12	0,10	2,78	323,55	1,62
Variační Koeficient (%)						
		1,20	0,51	1,45	12,37	11,92

Příloha 10

Příloha 11

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C – Protovil VP 244/2C									
Pevnost ve smyku při teplotě 50°C – Protovil VP 244/2C									
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)				
1	9,8	9,9	19,9	195,0	195,0	2405	2375	12,18	
2	9,7	10,0	19,8	192,1	195,0	2525	2275	11,67	
3	9,9	9,6	17,8	176,2	188,2	2378	2140	11,37	
4	9,7	10,0	19,9	193,0	196,0	2475	2280	11,63	
5	9,8	9,7	19,6	192,1	193,0	3139	2480	12,85	
6	9,8	9,8	19,8	20,0	194,0	196,0	2420	2418	12,34
7	9,5	10,1	19,7	19,6	187,2	198,0	2565	2263	11,43
8	9,5	9,9	20,0	19,5	190,0	193,1	3222	2175	11,27
9	9,7	9,4	19,8	20,0	192,1	188,0	3457	2400	12,77
10	9,9	9,5	19,7	19,7	195,0	187,2	3761	2383	12,73
Aritme	11	9,73	9,7	19,6	190,88	190,1	2889,55	2443	12,85
Aritmetický průměr									
		9,78	19,70	192,68	2330,18			12,10	
Maximum									
		10,10	20,00	197,96	2480,00			12,85	
Minimum									
		9,40	19,50	187,15	2140,00			11,27	
Směrodatná odchylka									
		0,22	0,18	3,75	110,85			0,64	
Variační Koeficient (%)									
		2,28	0,94	1,95	4,76			5,29	

Příloha 12

Pevnost ve smyku při teplotě 80°C – Protovil VP 244/2C						
	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
Pevnost ve smyku při teplotě 100°C – Protovil VP 244/2C						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	9,9	19,7	195,0	1840		
	9,7	19,4	188,2	1200		6,38
2	10,2	19,4	197,9	1605		
	9,9	17,4	172,3	1283		7,45
3	9,9	19,4	192,1	1355		
	9,9	19,8	196,0	1299		6,63
4	9,7	19,6	190,1	1430		
	9,6	19,5	187,2	1283		6,85
5	9,6	19,8	190,1	1385		
	10,0	19,5	195,0	1320		6,77
6	9,6	19,8	190,1	1825		
	9,9	19,5	193,1	1258		6,52
7	9,6	20,0	192,0	1992		
	9,8	19,9	195,0	1320		6,77
8	9,6	19,5	187,2	1467		
	9,5	19,6	186,2	1222		6,56
9	9,5	19,3	183,4	1780		
	9,7	19,5	189,2	1500		7,93
10	9,6	19,8	190,1	1385		7,29
11	9,70	19,60	190,11	1603,90		
	9,9	19,5	193,1	1303		6,75
Aritmetický průměr	9,77	19,40	189,56	1306,64		6,90
Maximum	10,00	19,90	196,02	1500,00		7,93
Minimum	9,50	17,40	172,26	1200,00		6,38
Směrodatná odchyška	0,16	0,68	6,66	81,23		0,47
Variační Koeficient (%)	1,66	3,52	3,52	6,22		6,77

Příloha 14

Příloha 15

Pevnost ve smyku při teplotě 150°C – Protovil VP 244/2C						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	9,7	19,3	187,2	341		1,82
2	10,0	19,3	193,0	240		1,24
3	10,1	19,4	195,9	320		1,63
4	9,6	19,5	187,2	401		2,14
5	9,5	19,4	184,3	198		1,07
6	9,6	19,5	187,2	442		2,36
7	9,6	19,5	187,2	360		1,92
8	9,6	19,7	189,1	258		1,36
9	9,7	19,6	190,1	423		2,22
10	10,0	19,5	195,0	457		2,34
Aritmetický průměr	9,74	19,47	189,63	344,00		1,81
Maximum	10,10	19,70	195,94	457,00		2,36
Minimum	9,50	19,30	184,30	198,00		1,07
Směrodatná odchyška	0,21	0,13	3,84	89,59		0,47
Variační Koeficient (%)	2,18	0,64	2,02	26,04		25,84

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 50°C – Protovil VP 244/2C						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	9,5	19,9	189,1	3162	16,73	
2	9,9	19,5	193,1	3160	16,37	
3	9,9	19,6	194,0	2519	12,98	
4	9,8	19,8	194,0	2509	12,93	
5	9,9	19,6	194,0	3298	17,00	
6	9,7	19,9	193,0	2740	14,19	
7	9,8	19,6	192,1	2563	13,34	
8	9,7	19,8	192,1	2696	14,04	
9	9,8	19,6	192,1	2355	12,26	
10	10,0	19,5	195,0	2600	13,33	
11	10,0	19,6	196,0	2327	11,87	
Aritmetický průměr	9,82	19,67	193,13	2720,82	14,09	
Maximum	10,00	19,90	196,00	3298,00	17,00	
Minimum	9,50	19,50	189,05	2327,00	11,87	
Směrodatná odchylka	0,15	0,15	1,85	337,00	1,80	
Variační Koeficient (%)	1,50	0,76	0,96	12,39	12,80	

Příloha 16

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 80°C – Protovil VP 244/2C						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1	9,8	19,6	192,1	2763	14,38	
2	10,1	19,4	195,9	2658	13,57	
3	9,7	19,8	192,1	3241	16,87	
4	9,8	19,6	192,1	2578	13,42	
5	9,8	19,5	191,1	2501	13,09	
6	9,5	19,5	185,3	2414	13,03	
7	9,8	19,6	192,1	2431	12,66	
8	10,2	19,5	198,9	2930	14,73	
9	9,6	19,7	189,1	2502	13,23	
10	10,0	19,4	194,0	2578	13,29	
11	9,3	19,6	182,3	3282	18,01	
Aritmetický průměr	9,78	19,56	191,35	2716,18	14,21	
Maximum	10,20	19,80	198,90	3282,00	18,01	
Minimum	9,30	19,40	182,28	2414,00	12,66	
Směrodatná odchylka	0,26	0,12	4,60	308,20	1,72	
Variační Koeficient (%)	2,66	0,62	2,40	11,35	12,13	

Příloha 17

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 100°C – Protovil VP 244/2C						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1		9,6	19,5	187,2	2721	14,54
2		9,7	19,6	190,1	2458	12,93
3		10,1	18,5	186,9	2550	13,65
4		9,6	19,9	191,0	2736	14,32
5		9,7	19,7	191,1	2202	11,52
6		9,7	19,5	189,2	2280	12,05
7		9,5	19,5	185,3	1953	10,54
8		9,8	19,4	190,1	2448	12,88
9		9,9	19,5	193,1	2700	13,99
10		9,6	19,7	189,1	2438	12,89
Aritmetický průměr	9,72	19,48	189,30	2448,60	12,93	
Maximum	10,10	19,90	193,05	2736,00	14,54	
Minimum	9,50	18,50	185,25	1953,00	10,54	
Směrodatná odchylka	0,18	0,37	2,32	250,63	1,27	
Variační Koeficient (%)	1,80	1,92	1,23	10,24	9,85	

Příloha 18

Příloha 19

Pevnost ve smyku při teplotě 20°C po ohřátí na 150°C – Protovil VP 244/2C						
Pevnost ve smyku – Protovil D4 – působení vody o teplotě 20°C						
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)	
1		9,9	21,7	204,8	2349	1,60
2		10,6	21,7	230,1	2428	0,11
3		10,0	18,7	184,0	1875	1,44
4		10,5	21,8	230,2	2140	0,18
5		10,0	22,2	220,0	2020	1,53
6		10,2	21,4	207,9	2338	0,18
7		10,2	21,5	217,8	2202	0,12
8		10,2	21,6	206,9	2592	2,26
9		9,8	21,8	205,8	2399	0,37
10		9,9	21,8	215,8	45	0,21
Aritmetický průměr	9,78	19,47	190,41	2252,20	0,80	
Maximum	10,10	22,20	222,00	492,00	2,26	
Minimum	9,90	18,40	184,00	23,00	0,11	
Směrodatná odchylka	0,09	1,07	10,76	173,97	0,81	
Variační Koeficient (%)	0,94	5,00	5,03	102,94	101,93	

Příloha 20

Pevnost ve smyku – Protovil D4 – působení vody o teplotě 100°C

Pevnost ve smyku – Protovil VP 244/2C – působení vody o teplotě 20°C

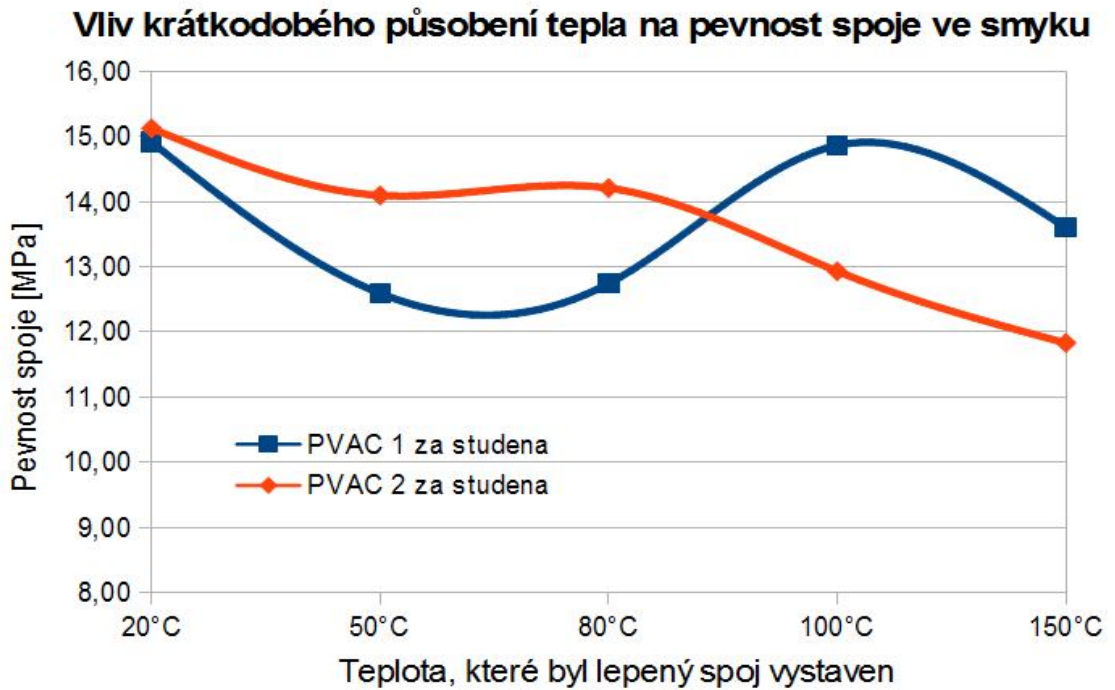
Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)
1	10,9	22,0	220,2	540	2,45
2	10,8	21,4	209,9	566	2,72
3	10,6	22,0	221,1	675	2,93
4	9,8	21,4	209,6	703	3,36
5	9,8	22,0	209,6	778	3,72
6	10,0	21,4	210,0	992	4,53
7	9,8	21,4	209,7	768	3,76
8	10,2	21,8	219,8	602	2,33
9	9,9	21,6	204,8	729	3,52
10	9,5	22,0	209,0	632	3,02
	9,83	21,67	212,99	211,70	
Aritmetický průměr	9,84	21,69	213,43	689,50	3,23
Maximum	10,20	22,00	221,19	992,00	4,53
Minimum	9,50	21,40	205,20	512,00	2,33
Směrodatná odchylka	0,25	0,22	5,84	143,37	0,68
Variační Koeficient (%)	2,59	1,01	2,73	20,79	20,88

Příloha 22

Pevnost ve smyku – Protovil VP 244/2C – působení vody o teplotě 100°C

Vzorek	Délka slepu (mm)	Šířka vzorku (mm)	Plocha slepu (mm ²)	Síla při přetržení (N)	Pevnost spoje (N/mm ²)
1	9,6	21,7	208,3	598	2,87
2	9,9	21,7	214,8	1210	5,63
3	10,0	21,0	210,0	413	1,97
4	9,8	21,6	211,7	362	1,71
5	9,8	21,7	212,7	458	2,15
6	9,9	21,9	216,8	1110	5,12
7	9,9	21,2	209,9	458	2,18
8	9,9	21,0	207,9	536	2,58
9	9,6	21,5	206,4	1175	5,69
10	9,5	21,1	200,5	518	2,58
11	10,0	22,0	220,0	797	3,62
Aritmetický průměr	9,81	21,49	210,81	694,09	3,28
Maximum	10,00	22,00	220,00	1210,00	5,69
Minimum	9,50	21,00	200,45	362,00	1,71
Směrodatná odchylka	0,17	0,36	5,33	323,58	1,51
Variační Koeficient (%)	1,73	1,67	2,53	46,62	45,86

Příloha 23



Příloha 24

