

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA



Hodnocení vlivu rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje

**Diplomová práce**

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

Autor práce: Bc. Dan Ureš

PRAHA 2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dan Ureš

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Hodnocení vlivu rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje**

Název anglicky

**Evaluation of deformation speed influence on adhesive bond strength**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je hodnocení vlivu rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje. Mezi dílčí cíle řešení diplomové práce patří provedení literární rešerše, na jejímž základě bude stanovena následná experimentální část diplomové práce. Student zpracuje informace o problematice technologie lepení a vyvodí možnosti a limity při současném přihlédnutí ke všem aspektům spojeným s namáháním lepených spojů v praxi. Těchto poznatků využije při plánování a následném provedení laboratorních experimentů s důrazem na přínos pro technickou praxi v oblasti rychlosti deformace lepeného spoje, jež má značný vliv na pevnost lepených spojů. Na základě vlastních poznatků vysloví tvrzení o mezním stavu deformace lepených spojů.

### Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíl práce a metody jejího zpracování.

Řešení podstaty dané problematiky.

Přínos a závěry práce.

**Doporučený rozsah práce**

cca 60 stran

**Klíčová slova**

lepený materiál, mechanické vlastnosti, rychlost deformace, technologie lepení

---

**Doporučené zdroje informací**

BROCKMANN, W.: Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley – VCH, 2009.

Časopis: International Journal of Adhesion and Adhesives, Composite structures, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Strojírenská technologie, Manufacturing technology atd.

EBNESAJJAD, S.: Adhesives technology handbook. Norwich: William Andrew, 2008.

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

HICKS, J.: Welded joint design. New York: Industrial Press, 1999.

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

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

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

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

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

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

---

Elektronicky schváleno dne 13. 4. 2015

**doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 15. 02. 2016

---

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Hodnocení vlivu rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje“ vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Miroslava Müllera, Ph.D. a uvedl jsem všechny zdroje informací, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, dne 31.03.2016

.....

Dan Ureš

## **Hodnocení vlivu rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje**

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá problematikou lepených spojů a jejich deformací za pomoci běžně používaných epoxidových lepidel. Je rozdělena do dvou hlavních částí. První část je rešeršní charakter, který popisuje jednotlivá lepidla, jejich charakteristiku a použití. Dále popisuje technologii lepení a rychlost deformace lepeného spoje. V druhé části jsou vyhodnoceny výsledky rychlosti deformace jednotlivých lepidel, která jsou posouzena z hlediska použitelnosti pro lepený spoj. Cílem bylo ověření vlastností lepidel při různých rychlostech deformace.

**Klíčová slova:** lepený materiál, mechanické vlastnosti, rychlost deformace, technologie lepení.

## **Evaluation of deformation speed influence on adhesive bond strength**

**Summary:** This thesis deals with the issue of bonded joints and their deformation by commonly used epoxy adhesives. It is divided into two main parts. The first part has character of searching for informations which describes various adhesives, their characteristics and applications. It also describes adhesives technology and deformation rate of the bond. The second part analyzes the results of the rate of deformation of the individual adhesives, which are assessed in terms of usability for the glued joints. The objective was to verify the properties of adhesives at different rates of deformation.

**Key words:** glued material, mechanical properties, deformation speed, adhesive technology.

## OBSAH

1	Úvod.....	8
TEORETICKÁ ČÁST.....		9
2	Lepený spoj.....	9
2.1	Charakteristika konstrukčního lepeného spoje.....	9
2.2	Typy a vlastnosti adhesiv a adherendu .....	12
2.2.1	Anaerobní lepidlo .....	15
2.2.2	Epoxidové lepidlo .....	15
2.2.3	Reaktivní akryláty .....	17
2.2.4	Polyuretanové lepidlo .....	17
2.2.5	Kyanoakrylát.....	18
2.3	Technologie lepení kovů .....	19
2.3.1	Příprava povrchu kovového adherendu.....	19
2.3.2	Provedení lepeného spoje .....	23
2.4	Pevnost lepeného spoje, vady .....	24
2.5	Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje při užívání.....	26
2.6	Rychlost deformace lepeného spoje .....	27
3	Zkoušení lepených spojů.....	30
3.1	Zkušební tělesa a jejich příprava.....	30
3.2	Zkoušení pevnosti, destruktivní zkoušky lepených spojů .....	31
3.3	Stanovení vlastností lepeného spoje dle ČSN EN 1465.....	34
PRAKTICKÁ ČÁST.....		38
4	Cíl a metodika zkoušení.....	38
4.1	Metodika zkoušení.....	39
4.2	Charakteristika použitých lepidel.....	41
4.2.1	CHS EPOXY 324 (EPOXY 1200) .....	41
4.2.2	GLUEPOX RAPID .....	41
4.2.3	GLUEPOX RAPID F .....	42
4.3	Použité vybavení.....	43
5	Laboratorní zkoušení pevnosti s řízenou deformací.....	44

5.1	Příprava zkušebních těles .....	44
5.2	Provedení zkoušek .....	45
6	Vyhodnocení výsledků .....	46
6.1	Stanovení vlivu rychlosti deformace na dosaženou smykovou pevnost..	46
6.2	Stanovení vlivu rychlosti deformace s ohledem na plochu lepené spáry	52
6.3	Analýza rozptylu pevností .....	56
7	Závěr .....	57
	SEZNAM LITERATURY A ZDROJŮ .....	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	64
	SEZNAM TABULEK .....	66
	SEZNAM ZKRATEK A JEDNOTEK .....	67
	POJMY .....	68
	PŘÍLOHA .....	70
	1. PŘÍLOHA – Technický aplikační list lepidla CHS EPOXY 324.....	70
	2. PŘÍLOHA – Technický aplikační list lepidla GLUEPOX RAPID .....	73
	3. PŘÍLOHA – Technický aplikační list lepidla GLUEPOX RAPID F .....	75

# 1 Úvod

Spojování materiálů prostřednictvím lepeného spoje nachází v dnešní době mnoho způsobů využití v prakticky každém odvětví průmyslu od jemné elektroniky po náročné konstrukce s vysokým požadavkem na statickou či dynamickou únosnost. Pevnost a odolnost lepeného spoje je závislá na mnoha faktorech, které jsou spojeny nejen s parametry adhesiva a adherendu, ale také s konkrétním užitím konstrukčního spoje, jeho provedením a prostředím, jakému je vystaven. Namáhané spoje konstrukcí přenášejících zatížení musí dosahovat dostatečné přídržnosti, která je dána především pevnostními, reologickými vlastnostmi adhesiva s typem pórovitosti povrchu adherendu. Při provádění lepeného spoje je tedy vždy nutné vybrat vhodný typ lepidla, který svým charakterem odpovídá požadovanému účelu a povrchovým, ale také fyzikálním vlastnostem adherendu.

Výběr lepidla typově odpovídajícího konstrukčním požadavkům se provádí na základě deklarovaných vlastností, které jsou stanoveny technologickou zkouškou. Pro stanovení pevnosti se obvykle užívá zkouška pevnosti při prostém tahu na přeplátovaném spoji (jednoduchém nebo dvojnásobném), jelikož v návaznosti na standardní užití konstrukčních lepených spojů dochází k deformaci právě tímto způsobem. Zkoušky je nutné provádět za definovaných podmínek prostředí, a to zejména z toho důvodu, že vnitřní napětí lepeného spoje je zapříčiněno převážně rozdílnou reakcí adhesiva a adherendu na okolní podmínky.

Tématem realizovaného laboratorního výzkumu je provedení technologické zkoušky na konkrétním typu epoxidového lepidla s cílem stanovit chování lepeného spoje při tahové zkoušce s řízenou deformací. Zkouška bude provedena dle příslušné technické normy a jejím výstupem bude stanovení únosnosti lepené spáry a míry přídržnosti.



## TEORETICKÁ ČÁST

Provedení lepeného spoje a jeho vlastnosti ovlivňuje řada faktorů. Teoretická část slouží jako východisko pro praktické zkoušení vybraných lepených spojů a zaměřuje se jednak na odvození základních charakteristik spojených s technologií lepení a typového vymezení lepených spojů v závislosti na jejich aplikaci. Problematika lepených spojů je z teoretického hlediska rozvedena ve třech klíčových oblastech orientovaných na charakterizaci spojů s ohledem na materiálovou bázi, technologii provádění lepených spojů a jejich zkoušení.

## 2 Lepený spoj

Konstrukční lepený spoj lze z materiálového hlediska považovat za kompozitní materiál, v němž adhesivum tvoří matici. Lepenou spáru lze tedy popsat jako nerozebíratelný spoj umožňující spojení mezi dvěma povrchy pevných těles, kde je snaha o dosažení spolupůsobení adhesiva a adherendů ve formě jednotného celku. Lepené spoje lze kategorizovat z různých hledisek zejména na základě parametrů lepidla a vlastností podkladového povrchu. V následujících podkapitolách bude podrobněji přiblížena problematika lepeného spoje, jeho charakteristika, vlastnosti, klasifikace, způsoby provádění a faktory se zásadním vlivem na jeho fyzikálně-mechanické vlastnosti a trvanlivost.

### 2.1 Charakteristika konstrukčního lepeného spoje

Spojování materiálů a konstrukcí lze realizovat několika technologiemi, které lze obecně rozdělit do dvou základních skupin – na spoje rozebíratelné (šroubové, tesařské apod.), které lze za určitých daných podmínek demontovat a znovu složit, a spoje nerozebíratelné (nýtování, lepení apod.), které je v případě nutnosti jejich odstranění zcela zničit. Lepený spoj má mezi technologiemi spojování materiálů a konstrukcí specifické postavení. Přestože se jedná o spoj nerozebíratelný, tedy trvalý, vyznačuje se

v porovnání s jinými technologiemi několika významnými **výhodami**, které Kinloch<sup>1</sup> a Dunn<sup>2</sup> definuje jako:

- schopnost spojování materiálů nestejného původu, např. kovů, plastů, pryže, dřeva, vyztužených kompozitů a dalších vzájemně v různých kombinacích prostřednictvím přechodové vrstvy lepené spáry,
- schopnost efektivně spojovat tenkovrstvé materiály (fólie), které je využíváno zejména při spojování kovových a nekovových materiálů,
- vhodné rozložení působícího napětí po celé ploše a tloušťce lepené spáry (na rozdíl od šroubových spojů, kde je napětí lokalizováno v místech styku šroubů a spojovaného materiálu), které zprostředkuje lepenému spoji velmi dobrou odolnost vůči únavovému lomu,
- vhodné únavové vlastnosti (chování při cyklickém nebo také stálém zatížení),
- útlum vibrací a hluku,
- ochrana adherendu v povrchových vrstvách přiléhajících spoji zejména proti působení vzdušné vlhkosti a vodě (působí jako utěsnění, tmel),
- snižování galvanické koroze při spojování různých typů kovových materiálů,
- efektivita, jednoduchost provedení a atraktivní cena při velmi vhodných pevnostních charakteristikách spoje, umožňující automatizaci výroby prefabrikovaných prvků,
- tvarová variabilita navrhovaných konstrukčních prvků, které mohou dosahovat vysoké flexibility a tvarové složitosti,
- vzhledově atraktivní spoj (např. v porovnání s koutovými svary),
- vyšší odolnost vůči korozi (zejména při spojování kovových materiálů).

Kromě uvedených výhod vymezil Kinloch<sup>3</sup> také typické **nevýhody** lepených spojů, mezi které zařadil především:

- nutnost použití specifické předúpravy povrchu adherendu k docílení dostatečné odolnosti a trvanlivosti spoje v nepříznivých podmínkách,

---

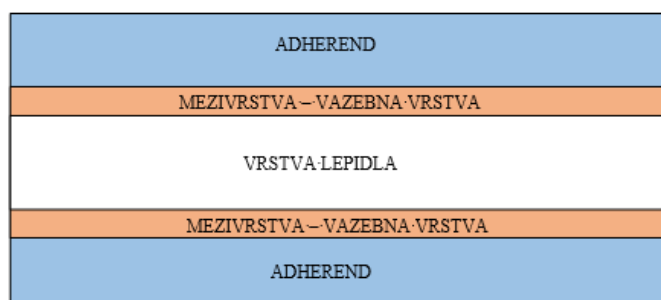
<sup>1</sup> KINLOCH, A. J. *Adhesion and Adhesives Science and Technology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1987. ISBN 978-940-1577-649, s. 2.

<sup>2</sup> DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), s. 3.

<sup>3</sup> KINLOCH, A. J. *Adhesion and Adhesives Science and Technology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1987. ISBN 978-940-1577-649, s. 2.

- v porovnání s jinými spojovacími technikami jsou nejvyšší teploty, při nichž lepený spoj vykazuje dostatečné provozní vlastnosti, velmi omezené,
- při spojování kovů dosahují optimálních pevnostních charakteristik pouze u tenkých plošných prvků, prizmatické nebo válcové kovové konstrukční prvky, či plošné prvky s vyšší hodnotou tloušťky již pro spojování prostřednictvím lepidel nejsou vhodné,
- nedestruktivní testy porušení lepené spáry nenabízejí tolik možností jako u ostatních nerozebíratelných spojovacích technik (např. ultrazvuk u svarů).

Variabilita užití lepeného spoje spočívá zejména v možnosti různých kombinací spojovaných prvků. Proces lepení je založen na fyzikálním jevu, který je obecně nazýván **adheze**. Adhesi lze dle Silvy<sup>4</sup> charakterizovat jako „*přitažlivost dvou látek, jež je výslednicí intermolekulárními silami, které mezi nimi vznikají.*“ Vedle adheze, která charakterizuje vzájemné spolupůsobení materiálů a napětí, jež vzniká na úrovni jejich styčného povrchu, lze hovořit také o tzv. **kohezi**, představující obdobnou charakteristiku uvnitř jedné látky (jež je spojena především charakterovými vlastnostmi látek, např. reologií nebo viskozitou). Při deformaci lepeného spoje dochází k jeho porušení, které může nastat formou adhesního porušení (na styku adhesiva a adherendu) nebo kohesního porušení (v lepené spáře, tedy v oblasti lepidla). Zpravidla jsou rozeznávány tři specifické vrstvy, z nichž se lepený spoj skládá.<sup>5</sup> Jedná se o vrstvu adherendu, mezivrstvu (vazebnou vrstvu) a vrstvu lepidla (viz Obrázek 1).



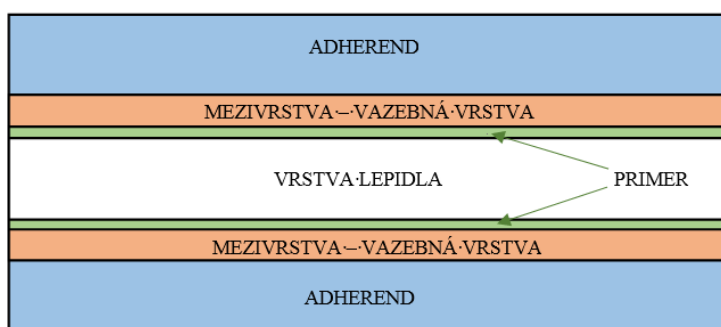
**Obrázek 1** Schéma struktury lepené spáry (Zdroj: vlastní zpracování dle Silvy<sup>6</sup>)

<sup>4</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v. ISBN 978-364-2011-702, s. 4.

<sup>5</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v. ISBN 978-364-2011-702, s. 4-5.

<sup>6</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v. ISBN 978-364-2011-702, s. 5.

Vazebná vrstva představuje adhesní prostor. Jedná se o vrstvu, v níž dochází k absorpci lepidla do pórovité struktury adherendu, v této vrstvě se také projeví adhesní poškození lepeného spoje. K adhesnímu poškození dochází na tzv. styčné ploše, kterých je ve vazebné vrstvě několik. Jedná se o povrch pórů, které svou velikostí umožňují proniknutí lepidla do struktury adherendu. Pro zlepšení adhesních a absorpčních vlastností se povrch adherendu často upravuje nanesením primární pojivové vrstvy, tzv. primeru.<sup>7</sup> Při použití primeru má lepená spára strukturu odpovídající schématu na následujícím obrázku (Obrázek 2).



**Obrázek 2** Schéma struktury lepené spáry při použití primeru (Zdroj: vlastní zpracování dle *Silvy*<sup>8</sup>)

Pevnost a trvanlivost lepeného spoje závisí na mnoha faktorech, které vstupují do technologie lepení jednak ve formě vlastností hlavních i doplňujících součástí (adhesiva, adherendu, primeru), jednak ve formě samotného provedení spoje, ale také okolní podmínky zapříčiňující vznik napětí ve spoji v průběhu jeho vytvrzování či s ohledem na jeho aplikaci. V následující podkapitole je podrobněji rozvedena problematika klasifikace hlavních součástí lepeného spoje a jejich vstupních vlastností.

## 2.2 Typy a vlastnosti adhesiv a adherendu

Lepidla určená pro konstrukční lepení se na rozdíl od běžných lepidel musí vyznačovat specifickými vlastnostmi, jejich limitní hodnoty jsou stanoveny normativně. Obvykle se jedná o požadavky na konstantní pevnost vysokou odolnost vůči daným (extrémním) podmínkám, jako jsou vysoké či nízké teploty, vlhkost, vnitřní napětí

<sup>7</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v. ISBN 978-364-2011-702, s. 5.

<sup>8</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v. ISBN 978-364-2011-702, s. 5.

způsobené různými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi adhesiva a adherendu. Schopnosti odolávat těmto podmínkám, stejně jako další důležité vlastnosti lepidel vycházející zejména z technologie nanášení a způsobu vytvrzování, představují předpoklady pro jejich uplatnění a aplikaci. Protože pro různé aplikace jsou obvykle vyžadovány různé vlastnosti lepidel, je pro konkrétní užití vždy nutné vybírat vhodný typ dle dosažených hodnot klíčových charakteristik. Tyto charakteristiky lze rozdělit do dvou individuálních skupin – na vlastnosti spojené s aplikací lepidla a vytvářením lepeného spoje (aplikační vlastnosti) a vlastnosti vytvrzeného lepeného spoje (funkční vlastnosti). Dunn<sup>9</sup> a Cognard<sup>10</sup> uvádějí následující vlastnosti lepidel, které považují z hlediska aplikace za nejdůležitější:

- Aplikační vlastnosti:
  - rychlost vytvrzování představující časový interval, během něž za stanovených standardních nebo speciálních (např. UV záření, zvýšená teplota, typ katalyzátoru) podmínek dosáhne lepidlo minimální požadovanou pevnost,
  - teplota zpracování a minimální teplota vytvrzování – udávající pracovní podmínky aplikace a také rychlost iniciace síťování makromolekul (u polymerních lepidel),
  - schopnost proniku do struktury adherendu (dána dalšími vlastnostmi jako viskozita, povrchové napětí, reologie a další), schopnost vyplňovat mezery,
  - smáčivost vztažená jednak k povrchovému napětí a energii kapalného lepidla, jednak k vlastnostem adherendu,
  - minimální tloušťka lepicí vrstvy,
  - nutnost vnějšího katalyzátoru vytvrzování a tvorby lepené spáry (tlak, UV záření apod.),
  - a další.
- funkční vlastnosti:
  - tahová pevnost,
  - Youngův modul (modul pružnosti v tahu),
  - rozlupčivost lepené spáry, odolnost proti rozpojení,

---

<sup>9</sup> DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), s. 3.

<sup>10</sup> COGNARD, Philippe. *Adhesives and sealants: basic concepts and high tech bonding*. 1st ed. Oxford: Elsevier, 2005, xxii, 492 p., s. 24.

- přilnavost představující minimální napětí potřebné k porušení lepené spáry,
- rázová houževnatost,
- tvrdost,
- schopnost přenášet zatížení je dána dalšími dílčími charakteristikami,
- odolnost proti působení mrazu a vysokých teplot,
- odolnost proti působení vlhkosti,
- odolnost proti působení chemických látek,
- dlouhodobá trvanlivost resp. životnost,
- vliv na bezpečnost a ochranu zdraví, zejména co se týká obsahu nevhodných nebo zdraví škodlivých látek postupně uvolňovaných do ovzduší (toxicita, hořlavost, obsah formaldehydu a další)

Nejčastěji se konstrukčních lepidel užívá ke spojování dvou stejných nebo naopak vytváření spoje mezi dvěma rozdílnými typy adherendů z následující skupiny materiálů: kovy, sklo (v jednodité formě – tabule, tvarované sklo, nebo ve formě vláken), keramika, plasty (polymery) nebo kompozity (hybridní, jedno druhové). Kromě jmenovaných materiálů jsou konstrukční spoje také aplikovány jako prostředek spojování dřeva v různé formě. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o anizotropní materiál a provádění dřevěných lepených spojů je technologicky i aplikačně specifické, je obvykle charakterizováno a prezentováno odděleně.<sup>11</sup>

Typy lepidel, která se obvykle používají pro realizaci konstrukčních lepených spojů lze kategorizovat z několika hledisek. Silva<sup>12</sup> uvádí nejčastější způsoby kategorizace dle polymerní báze (přírodní nebo syntetická), funkcionality v polymeru (termoplast, termoset), fyzikální forma (jednosložkové – při aplikaci není potřeba smíchat více složek ve stanoveném poměru, vícesložkové – před aplikací je nutné), chemická struktura (epoxidy, silikony, akryláty a další) a klíčové funkční charakteristiky (konstrukční, tavná, vytvrzovaná tlakem, rozpustná ve vodě a další). Každé lepidlo lze charakterizovat některou z vlastností uvedenou v každé kategorii. Popsáním podle jmenovaných kategorií je lepidlo obvykle jednoznačně identifikováno.

---

<sup>11</sup> DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), s. 3.

<sup>12</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v., s. 4.

Z hlediska chemického složení se nejčastěji uplatňují adhesiva těchto bází:<sup>13</sup>

- anaerobní,
- epoxidy,
- reaktivní akryláty,
- polyuretany (nereaktivní nebo reaktivní tavné),
- speciální typy kyanoakrylátů.

### 2.2.1 Anaerobní lepidlo

Anaerobní lepidla jsou obvykle jednosložková s akrylátovou (metakrylátovou, dimetakrylátovou, trimetakrylátovou) bází, která jsou schopna spontánního vytvrzení v bezkyslíkovém prostředí. Jejich schopnost vytvrzování se však s přísunem kyslíku značně snižuje. Vytvrzování těchto typů lepidel je možné pouze při těsném spojení slepence (tvoří jej dva adherendy spojené lepenou spárou). V případě, že by byl povrch anaerobního lepidla vystaven působení vzduchu, nikdy nedosáhne vytvrzení. Anaerobní lepidla se obvykle skládají z monomeru (tvoří základ pro vytvoření polymerní báze prostřednictvím síťování), iniciátoru (katalyzátoru - látky, která spustí polymerizaci), urychlovací přísady, plastifikátoru, stabilizátoru, zahušťovadla, plniv a přísad. Nejčastěji jsou anaerobní lepidla využívána jako náhrada podložek šroubů a matic, jelikož jsou schopny dokonale vyplnit mezery vznikající pod spojovacími prvky a zároveň chrání spoje proti korozi. Kromě tohoto využití se také uplatňují pro lepení dvou protilehlých kusů materiálu po celé styčné ploše.<sup>14, 15</sup>

### 2.2.2 Epoxidové lepidlo

Epoxidová lepidla jsou adhesiva, která se využívají nejčastěji pro lepení kovů, zejména v leteckém průmyslu, strojírenství a automobilovém průmyslu. Jejich hlavní charakteristikou je vytvrzování do velmi tvrdého netavitelného resinu kompatibilního s širokou škálou kovů. Vyrábějí se ve dvou verzích – jako dvousložková lepidla (složená z lepidla a tvrdidla) a jednosložková lepidla vytvrzovaná teplem. Dvousložkové epoxidy obvykle obsahují epoxidový resin, tvrdidlo, plniva, plastifikátor, urychlující přísadu, reaktivní ředící přísadu, přísadu pro zvýšení tuhosti spoje. Základní

---

<sup>13</sup> DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), s. 3.

<sup>14</sup> DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), s. 4-5.

<sup>15</sup> EBNESAJJAD, Sina. *Adhesives technologies handbook*. Boston, MA: Elsevier, 2014, s. 91-92.

bází epoxidových lepidel bývá epoxidový resin diglycidil éter bisfenolu A (DGEBA), který se vytvrzuje prostřednictvím tvrdidla. Tvrdidlem bývají alifatické aminy, amidové aminy, aromatické aminy, cykloalifatické aminy, imidazoly, polyamidy, anhydridy, polysulfidy a další. Typ a molekulová struktura tvrdidla obvykle ovlivňují parametry vytvrzování epoxidového resinu (zejména rychlost a teplotu skelného přechodu), proto je také důležité, aby dávkování obou složek dvousložkového lepidla byl maximálně přesný. Vzhledem k nízké sensitivitě chování epoxidu během vytvrzování vůči nečistotám, je možné upravovat vlastnosti lepidla prostřednictvím různých plniv. V tomto směru dochází k modifikaci zejména v oblasti tuhosti, jelikož i přes variabilitu vlastností je jednou ze základních charakterových vlastností epoxidového resinu vysoká křehkost. Velmi dobré spojovací schopnosti s vysokou pevností spoje vykazují epoxidy pro kovy, keramiku a sklo. Jsou schopny vyplňovat i velmi široké mezery a vykazují dostatečnou odolnost vůči zvýšeným teplotám a vlhkosti. Epoxidová lepidla jsou nevhodná pro spojování většiny plastů a olejových povrchů.<sup>16</sup> Hlavní výhodou epoxidových lepidel je schopnost spojovat kovy a velký rozsah plastických hmot a to jak vzájemně, tak v rámci stejného materiálu (adherendu). Jejich charakter dodává spoji vysokou odolnost vůči fyzikálním a chemickým vlivům, dlouhodobou stabilitou a nízkou tendencí ke krípu. Nemodifikovaná epoxidová lepidla odolávají teplotám -55 °C – 100 °C (u některých typů až 200 °C)<sup>17</sup>

Hlavním důvodem modifikace epoxidových lepidel je jejich vysoká křehkost, modifikují se tedy k dosažení zvýšené houževnatosti. Způsob, jímž se dosahuje zvýšené houževnatosti při zachování pevnosti a odolnosti lepeného spoje, je integrace druhé fáze do epoxidového resinu. Obvykle se jedná o částice elastomeru velikosti řádově mikrometru. Nejčastěji používanou přísadou pro zvýšení rázové houževnatosti spoje jsou reaktivní tekuté elastomery nebo termoplasty s funkční skupinou na konci řetězce. Nejnovější způsoby modifikace epoxidových lepidel jsou založeny na integraci polymerních nanočástic do struktury lepidla.

---

<sup>16</sup> DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), s. 5-6.

<sup>17</sup> DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357, s. 188.



### 2.2.3 Reaktivní akryláty

Reaktivní akryláty jsou dvousložková lepidla s akrylátovou nebo metakrylátovou bází. K jejich vytvrzování obvykle dochází přidáním tvrdidla nebo nanesením na povrch opatřený reaktivním primerem. Hlavní rozdíl mezi reaktivními akryláty a ostatními dvousložkovými lepidly spočívá v relativně nízkém požadovaném množství iniciátoru síťování (tvrdidla, primeru), není tedy nutné složky dávkovat v přesném poměru. Tato lepidla jsou velmi vhodná pro spojování kovů a plastů, zejména v případě, že je nutné dosáhnout velmi rychle počátečních pevností a velmi dobré houževnatosti spoje. Mezi aplikace reaktivních akrylátových lepidel lze zahrnout spojování skelných vláken (zejména tkanin) a ocelových plechů, magnetů, kompozitů z kovů a plastů. Příkladem použití mohou být nárazníky aut, lodní aplikace nebo obuv a spotřební zboží, vždy je-li požadováno rychlé vytvrzování. Reaktivní akryláty se však vyznačují také mnoha nevýhodami, zejména vysokou hořlavostí a zápachem při styku s ohněm, odolností vůči teplotám pouze do 120 °C, omezenou schopností vyplňovat mezery a nízkou odolností vůči vlhkosti a chemickým látkám.<sup>18, 19</sup>

### 2.2.4 Polyuretanové lepidlo

Polyuretanová lepidla se rovněž vyrábí v jednosložkovém nebo dvousložkovém provedení v závislosti na účelu jejich aplikace. Bází pro polyuretany je isokyanát, který je dále smíchán s tvrdidlem a v závislosti na typu vytvrzování při standardní, snížené nebo zvýšené teplotě. Katalyzátorem reakce je obvykle vlhkost.<sup>20</sup> Polyuretanová lepidla mohou být jak nereaktivní tak reaktivní. Nereaktivní typy se dále dělí na vodní disperze nebo rozpustné v rozpouštědlech. Nereaktivní polyuretany jsou dodávány ve formě jednosložkových disperzí, které se nanášejí na povrch adherendu, přičemž vytvrzování je založeno na odpaření rozpouštědla. Reaktivní polyuretanová lepidla mohou mít formu jednosložkovou nebo dvousložkovou. Jednosložková směs je obvykle vytvrzována prostřednictvím vzdušné vlhkosti, dvousložkové lepidlo se aplikuje v daném poměru dvou základních složek – isokyanátu a polyolu. Polyuretanová lepidla se užívají zejména v takových oblastech, kde nemají epoxidová lepidla dostatečnou přilnavost,

<sup>18</sup> DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), s. 6.

<sup>19</sup> DUNN, David J. *Adhesives and sealants: technology, applications and markets*. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd, 2003, 164 p., s. 30

<sup>20</sup> SMITH, Edward H.. *Mechanical engineer's reference book*. 12. ed., reprinted. Oxford [u.a.]: Butterworth-Heinemann, 1995. s. 16.

tedy pro lepení plastů a kovů, zejména v leteckém a automobilovém průmyslu. Jejich hlavní výhody spočívají v dobré smáčivosti povrchů, včetně povrchů se zvýšenou vlhkostí (může fungovat jako iniciátor vytvrzování) a dostatečná permeabilita do porézních adherendů.<sup>21</sup>

### 2.2.5 Kyanoakrylát

Kyanoakryláty tvoří bázi pro lepidla, která rychle vytvrzují při pokojové teplotě. Taková lepidla dosahují vysoké pevnosti v tahu a také dlouhé životnosti. Obvykle se jedná o jednosložková lepidla, u nichž je vytvrzování iniciováno vzdušnou vlhkostí. Z chemického hlediska se jedná o metyl- nebo etylkyanoakryláty. Lepidlo je kompatibilní s kovy, vyznačuje se však nízkou přilnavostí, vysokou křehkostí a nízkou odolností vůči zvýšeným teplotám (do 82°C a -54°C). Při aplikaci je schopno vyplnit pouze malé mezery (má nízkou viskozitu) a kvůli problémům sítování v přítomnosti nečistot jej nelze lépe zahušťovat. Vytvrzené lepidlo má tedy vysokou tahovou pevnost doprovázenou vysokou křehkostí, z tohoto důvodu je velmi vhodné pro lepení materiálů s obdobnými vlastnostmi ve vhodné aplikaci. Nejčastěji je užíváno ke spojování kovů, plátů, pryže nebo dřeva.<sup>22</sup>

Smith<sup>23</sup> uvádí kromě zmíněných typů konstrukčních lepidel ještě skupinu fenol-resorcinolových lepidel. Jedná se chemickou kategorii lepidel, která vychází z dlouhodobě užívaných lepidel na formaldehydové bázi, od kterých se v současné době upouští, nebo jsou kvůli limitacím v oblasti toxicity modifikována na moderní typy. Obvykle se užívají k lepení masivního nebo aglomerovaného dřeva (kompozity z třísek, štěpků, pilin nebo dřevěné moučky). Do skupiny fenol/resorcinolových lepidel se zařazují lepidla fenol-formaldehydová, resorcinol-formaldehydová, nebo kombinovaná fenol-resorcinol-formaldehydová. Nevýhodou těchto lepidel je nutnost vytvářet spoj za zvýšené teploty a tlaku. Při správné aplikaci však vytváří spoje velmi pevné a houževnaté, odolné proti vlivu vnějších podmínek včetně vlhkosti. Nejčastěji se užívají v leteckém průmyslu nebo pro výrobu dřevěných kompozitů.

---

<sup>21</sup> MOHAMMAD, Faiz. *Specialty polymers: materials and applications*. New Delhi: I.K. International Pub. House, c2007, xix, 588 p, s. 502.

<sup>22</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v., s. 283-284.

<sup>23</sup> SMITH, Edward H.. *Mechanical engineer's reference book*. 12. ed., reprinted. Oxford [u.a.]: Butterworth-Heinemann, 1995. s. 16.

Fenol-formaldehydové lepidlo bylo prvním typem, který se používá pro spojování kovů. V průběhu vývoje prošla fenol-formaldehydová lepidla rozsáhlým vývojem zejména v oblasti ztužování (zvyšování houževnatosti) prostřednictvím polyvinyl formalu, polyvinyl butyralu nebo nitrilovým kaučukem. Kvůli preferovanému využití lepených kovů se vývoj zaměřoval zejména na dosažení odolnosti při zvýšených teplotách (až 260 °C). Kromě modifikovaného fenol-formaldehydového lepidla se pro tyto účely využívá také epoxid-fenolových lepidel, která mají sice horší užitné a pevnostní vlastnosti, ale vyznačují se menšími nároky na dosažení počátečních pevností (vysoká teplota a tlak při vytvrzování).<sup>24</sup>

## 2.3 Technologie lepení kovů

Technologické postupy při lepení materiálů závisí z velké části na typu adherendu a jeho aplikace. Technologii tvorby lepené spáry požadovaných vlastností lze rozdělit do několika kroků, která jsou vymezená následujícími způsoby:

- výběr vhodného lepidla dle typu adherendu a předpokládané aplikace slepence,
- příprava povrchu adherendu,
- zajištění požadovaných podmínek lepení,
- míchání složek, nanášení požadované vrstvy,
- vytvrzování.

Výběr vhodného typu lepidla je nezbytnou součástí procesu lepení a zakládá se především na znalosti vlastností adherendu, podmínek za nichž bude lepení i užití realizováno a rychlosti dosažení požadované pevnosti lepeného spoje. Důležitou částí procesu lepení je příprava povrchu kovového adherendu, již se podrobněji věnuje následující podkapitola 2.3.1.

### 2.3.1 Příprava povrchu kovového adherendu

Na výběru vhodného typu lepidla obvykle navazuje požadovaná předúprava povrchu adherendu ke zvýšení smáčivosti jeho povrchu (kontaktního úhlu kapalného lepidla). Pevnost lepeného spoje je totiž výrazně závislá na pevnosti samotného lepidla (kohesní pevnosti) a na pevnosti fáze adherend / lepidlo, tedy přilnavosti adhesiva

---

<sup>24</sup> DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357, p. 186-187.

k lepenému materiálu (adhesní pevnost). Hodnotu adhesní pevnosti je možné ovlivnit prostřednictvím předúpravy povrchu. Povrchová úprava zlepšuje celkové provedení lepeného spoje prostřednictvím:<sup>25</sup>

- odstranění nebo změnění charakteru slabších vrstev, které jsou způsobeny místní nižší molekulovou hmotností (např. plastifikační přísada migrující na povrch plastového materiálu), nebo slabou oxidací povrchu kovů, či jejich kontaminace vystavením působení vzduchu a nedostatečné odstranění ochranných olejů a mazadel. Při vyšších koncentracích olejovitých látek je nutné provést jejich odstranění kyselinou. Místa se slabší přilnavostí mohou mít příčinu i v náhlém znečištění povrchu, které musí být rovněž bráno v úvahu,
- dosažení maximálního kontaktního úhlu mezi lepidlem (primerem) a lepeným povrchem. U kovů se obvykle provádí zdrsnění povrchu,
- zajištění dostatečné součinnosti vnitřních sil, které u vysoce energetických kovových povrchů umožní prevenci vlivu vnějších degradujících účinků (zejména vlhkosti). Obvykle se používá speciální primer, který má stabilnější vazby než působení Van der Waalsových sil molekul vody,
- podporou vytvrzování, zejména u kyano-akrylátů, jsou používány primery s vytvrzovací schopností, které pomáhají dosáhnout lepšího spojení povrchu a lepidla,
- ochrany chemicky nebo mechanicky upraveného povrchu kovu nanesením primeru kompatibilního s lepidlem, který chrání aktivovaný povrch před vlivem působení vzduchu a vlhkosti před samotným lepením.

---

<sup>25</sup> KINLOCH. A. J. *Adhesion and Adhesives Science and Technology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1987. ISBN 978-940-1577-649,s. 101-103.

Procesy spojené s povrchovou úpravou vysoce energetických povrchů kovů jsou specifické pro jednotlivé typy obvykle lepených materiálů. Zde je přehled nejčastějších postupů:<sup>26</sup>

- **slitiny hliníku** – je možné upravit třemi postupy – elektrochemicky, mechanicky nebo prostřednictvím látek podporujících adhesi. U všech typů začíná úprava odmaštěním povrchu, které je provedeno buď otřením, nebo ponořením do nádoby s alkalickou odmašťovací kapalinou. Chemická nebo elektrochemická úprava povrchu navazuje po odstranění mastnoty z povrchu obvykle vyleptání zoxidované vrstvy pomocí směsi kyseliny sírové a chromové, anodického napětí za použití kyseliny sírové (při 50 °C) nebo fosforové (při pokojové teplotě) nebo provedením konverzního povlaku (chromováním, titanováním nebo zirkonováním),
  
- **ocel** – povrchová úprava uhlíkové oceli je na rozdíl od hliníkových nebo titanových slitin obvykle prováděna abrasivně nebo mechanicky – broušením nebo otryskáním povrchu. Nejlepších výsledků bývá dosaženo při použití hliníkového abraziva s 99,5 % čistotou ( $Al_2O_3$  korund) s částicemi dosahujícími velikosti 150-250  $\mu m$ . Povrch upravovaného tělesa musí být suchý a čistý, aby nedocházelo ke kontaminaci tryskacího média. Po otryskání je povrch nutné zbavit prachu, nejčastěji se k tomuto využívá stlačeného vzduchu. Jsou-li upravována velmi tenká tělesa, je preferována elektrochemická předúprava prostřednictvím směsi kyseliny dusičné a fosforečné při pokojové teplotě (5-7 min), jelikož otryskávání by způsobilo prohýbání tělesa. Protikorozi konverze je obvykle realizována použitím fosfátové vrstvy,
  
- **nerezová ocel** – otryskáním hliníkovým abrasivem nemá u nerezové oceli takový účinek, jako je tomu u uhlíkové oceli. Mechanická úprava povrchu zajistí lepší přilnavost lepidla, nedosahuje však optimální ochrany proti působení vlhkosti a koroze. V případě nerezové oceli je tedy preferována chemická a elektrochemická úprava povrchu silnými kyselinami. Po aplikaci

---

<sup>26</sup> DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357, s. 196-205

kyselin zůstávají na upravovaném povrchu saze, které je nutné mechanicky odstranit kartáčováním. Elektrochemická úprava povrchu je výhodnější zejména z důvodu nízké toxicity. Obvykle se používá proces kombinující anodické napětí a leptání kyselinou dusičnou. Po úpravě je povrch opatřen vrstvou primeru inhibujícího do povrchu,

- **titan** – bývá po odmaštění upravován několika postupy, mezi které patří leptání (např. hydrogen dusičnou kyselinou nebo kombinací peroxidů a hydroxidu sodného) a opatření konverzní ochrannou vrstvou nebo kombinací anodového napětí a alkalického peroxidu.

Kromě jmenovaných postupů lze úpravu kovových povrchů před provedením lepeného spoje realizovat také prostřednictvím tzv. sol-gelů využívané zejména při sanaci povrchů vnějším přeplátováním, kde je úprava jiným způsobem téměř zcela vyloučena. Po broušení, abrazi (otryskáním nebo smirkovým papírem) a odstranění abrazních zbytků je aplikována směs glycidyl-oxidového silanu a alkoxyd zironu. Po nanesení primeru a lepidla vytvoří tato směs sol-gel, který chrání povrch před vlivem koroze, a zároveň zlepšuje vzájemné propojení lepidla a adherendu.<sup>27</sup>

Poslední fází úpravy povrchu adherendu je aplikace primeru. Primer je nejčastěji tvořen vysoce zředěným lepidlem (obvykle s epoxidovou bází) opatřeným silanovým kompatibilizerem. Hlavní funkcí primeru je smáčet upravený povrch a stabilizovat jej před vlastním nanesením lepidla. Při konstrukčním lepení jsou primery zpravidla nanášeny postříkem do tloušťky vrstvy 4-10  $\mu\text{m}$ . Jsou distribuovány v jednosložkové i dvousložkové formě. Jednosložkové primery bývají vytvrzovány při zvýšené teplotě a jsou vhodné pro lepidla s obdobnou potřebou zvýšené teploty při vytvrzování. Dvousložkové primery jsou vytvrzovány obvykle při pokojové teplotě a míchají se před aplikací. Některé primery jsou opatřeny inhibitory koroze.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357, s. 205.

<sup>28</sup> DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357, s. 206.

### 2.3.2 Provedení lepeného spoje

Na pevnost a trvanlivost lepeného spoje má kromě typu lepidla a dodržování jeho vytvrzovacích potřeb vliv také geometrie spoje. Pevnost a přídržnost lepeného spoje jsou popsány několika charakteristikami, které popisují chování spoje při specifickém typu zatížení. Namáhání lepeného spoje se obvykle děje jako namáhání na stříh po délce lepené vrstvy, ať už je zatížení vyvozováno v kterémkoliv směru. To je dáno skutečností, že lepený spoj rovnoměrně rozkládá zatížení po celé lepené spáře.

Lepený spoj je obvykle proveden přeplátováním, tedy přiložením adherendu opatřeného lepidlem k druhému adherendu a za podmínek daných charakterem lepidla (míchání složek, přítlak, okolní teplota a vlhkost a další) rovnoměrným propojením po celé ploše plátu. Chování kovového adherendu při namáhání, zejména jeho charakteristické kríповé vlastnosti a obvykle značné prodloužení, vyvolávají v lepené spáře vysoké axiální namáhání, které je různé v prostředku a na okrajích lepeného tělesa. Právě tento jev způsobuje stříhové namáhání spoje. Vývojem v oblasti geometrie a provedení spojů bylo dosaženo omezení tohoto efektu a zlepšení únosnosti spoje.<sup>29</sup>

V první fázi je pro vysoce namáhané spoje doporučováno použití pružnějších typů lepidel (schopných se po odstranění zatížení vrátit do původního tvaru lepeného spoje). Další možností je odstranění asymetričnosti nebo excentricity spoje. To může být dosaženo použitím dvojité přeplátovaného spoje.<sup>30</sup>

Spolupráce adhesiva a adherendu při přenosu zatížení jsou nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím výsledné chování spoje. Je-li některá ze zmíněných fází přípravy a provedení lepeného spoje podceňena, vede obvykle k jeho snížené trvanlivosti a celkově nižší únosnosti. Stanovení zaručených vlastností lepidla je tedy jednou z nejdůležitějších částí jeho výrobního procesu, jelikož má zásadní vliv na jeho správné použití a spolehlivost. V následující kapitole bude proveden souhrn zkušebních metod, které jsou nejčastěji užívány ke stanovení pevnostních charakteristik konstrukčních lepidel.

---

<sup>29</sup> DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357, s. 207.

<sup>30</sup> DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357, s. 207-210.

## 2.4 Pevnost lepeného spoje, vady

Primárně je pevnost lepeného spoje dána čtyřmi hlavními faktory, které ovlivňují jeho další chování po vnesení vnějšího namáhání a externích vlivů. Jedná se o přilnavost lepidla, soudržnost lepené vrstvy, smáčivost lepeného povrchu a pevnost adherendu. Synergie těchto faktorů charakterizuje maximální dosažitelnou pevnost spoje i celého kompozitního materiálu z hlediska působení namáhání v různých směrech. Charakterové vlastnosti adhesiva i adherendu je pak nutné brát v úvahu při návrhu lepeného spoje.<sup>31</sup>

Přilnavost lepidla je výsledkem schopnosti navázat se mechanicky i chemicky k adherendu. Mechanická vazba se uplatňuje u materiálů umožňujících zatečení lepidla do větších pórů (papír dřevo, keramika apod.) nebo dutin odkrytých úpravou povrchu. Chemická vazba vzniká vlivem Van der Waalsových sil především u hladkých porézních povrchů (zejména kovů). Vytvoření chemické vazby je závislé na reaktivitě povrchu adherendu. Z tohoto důvodu se kromě mechanické, také používá chemická úprava povrchu, která reaktivitu zvyšuje (např. oxidováním u kovů). Pro zvýšení účinnosti přilnavosti lepidla a adherendu se obvykle kombinují postupy pro mechanickou a chemickou úpravu povrchu.<sup>32</sup>

Smáčivost povrchu adherendu souvisí s jeho polaritou, která reaguje na polaritu adhesiva, a působí tak na kontaktní úhel kapaliny. Ideální smáčivosti je dosaženo, je-li polarita lepidla a adherendu zcela opačná. Smáčivost (tedy rozlití kapaliny po povrchu - adsorpce) je maximální. Dobrá smáčivost umožňuje rovnoměrnou adsorpci kapaliny a tím vytvoření homogenní vrstvy lepidla. Smáčivost se stanoví prostřednictvím kapkového testu, u nějž se optickou formou měří kontaktní úhel kapaliny, přičemž žádoucí je, aby byl co nejmenší. Kontaktní úhel je vlastně výslednicí sil působících na kapalinu vlivem vlastností adherendu a jejího povrchového napětí.<sup>33</sup> Ukázka

---

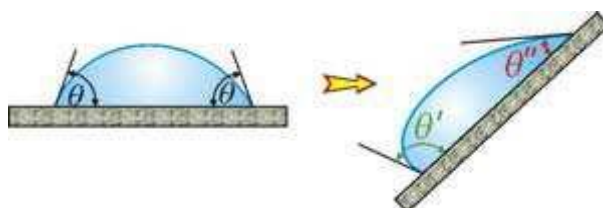
<sup>31</sup> Základy teorie lepení. In: *ABClepidla.cz* [online]. FastCentrik (R): Lear a.s., 2016 [cit. 2016-02-10], s. 2-3.

<sup>32</sup> Základy teorie lepení. In: *ABClepidla.cz* [online]. FastCentrik (R): Lear a.s., 2016 [cit. 2016-02-10], s. 3.

<sup>33</sup> Základy teorie lepení. In: *ABClepidla.cz* [online]. FastCentrik (R): Lear a.s., 2016 [cit. 2016-02-10], s. 3-4.



kontaktního úhlu poměrně smáčivé kapaliny (např. málo polárního lepidla na málo nepolárním povrchu) je uveden na následujícím obrázku (Obrázek 3).



**Obrázek 3** Kontaktní úhel (úhel smáčivosti) kapaliny na vodorovném a šikmém povrchu. Povrch adherendu a kapaliny spolu svírají úhel nižší než  $90^\circ$ , smáčivost povrchu je poměrně vysoká. Hystereze v případě naklonění adherendu vysvětluje chování kapaliny při stékání. (Zdroj: BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠÍŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, s. 27)

Pevnostní charakteristiky adhesiva i adherendu ovlivňují pevnost lepeného spoje samostatně, rovněž je nutné je však považovat za synergický faktor. Pevnost lepené vrstvy (koheze) se projevuje zejména v pružnosti spoje, kohezní porušení tedy znamená, že provedení adheze i pevnost adherendu jsou větší než pevnost koheze.<sup>34</sup>

Zmíněné čtyři faktory jsou velmi důležité při výběru vhodného lepidla pro daný účel a adherend. Konečnou pevnost lepeného spoje po vytvrzení však při optimálním výběru složek lepidlo-adherend a správně stanovenému objemu lepidla může snížit nesprávné provedení spoje. Z tohoto důvodu je žádoucí dodržovat předepsané technologické postupy, aby bylo maximálně eliminováno riziko vzniku vad. Nejčastěji se vyskytují vady jako nedolepení (vzduchová bublina na styku adherendu a adhesiva charakterizující prostor, kde nedojde ke slepení), slabé zasítování (nedostatečná polymerace) adhesiva, trhliny a pórovitost (vznikající v důsledku vlhkosti, napětí v lepené spáře, špatného zpracování lepidla, nebo nedodržení technologických podmínek z hlediska teplot či vlhkosti), bubliny (vzduchové mezery v lepené vrstvě, které se obvykle vyskytují v důsledku nesprávné přípravy lepidla) a neslepení (bublina na styku adherendu a adhesiva vyplněná nečistotou).<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Základy teorie lepení. In: *ABClepidla.cz* [online]. FastCentrik (R): Lear a.s., 2016 [cit. 2016-02-10], s. 4-5.

<sup>35</sup> KACHLÍK, Petr. *Vady v lepených spojích, jejich simulace a počítačové modelování: Defects in adhesive joints, their simulation and fem modeling : zkrácená verze Ph.D. Thesis*. [V Brně: Vysoké učení technické], 2008, s. 6-7.

## 2.5 Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje při užívání

Pevnost provedeného lepeného spoje se kromě základního vlivu vstupních podmínek lepení (pórovitosti povrchové vrstvy adherendu, plochy dané především úpravou povrchu, vlastnostmi lepidla či adherendu, doby vytvrzování a podmínek v jejím průběhu) mění také v čase a v závislosti na konkrétních podmínkách užívání. Jelikož lepený spoj je ve své podstatě kompozitní materiál spojující dvě látky značně odlišných vlastností, zejména s různou odolností vůči působení vnějších fyzikálních (jako jsou vlhkost, teplota, tlak, cyklické a dynamické namáhání) nebo chemických činitelů.

Odolnost, trvanlivost a životnost lepeného spoje se stanoví prostřednictvím testů zrychleného stárnutí, které srovnávají pokles sledovaných parametrů (nejčastěji pevnosti) s ohledem na různě náročné nepříznivé prostředí. Na tomto místě lze uvést například výzkum vlivu 100% relativní vlhkosti na rychlost degradace (snižování pevnosti) zkušebních těles připravených z ocelového adherendu a univerzálního epoxidového lepidla. Zkušební tělesa byla srovnána s referenčními vzorky, které nebyly vystaveny nadměrné vlhkosti prostředí, a také se vzorky opatřenými antikoročním nátěrem. Neošetřená zkušební tělesa dosáhla po 30 dnech expozice nepříznivému prostředí výrazného poklesu pevnosti a rovněž značných vizuálních změn.

Dalším důležitým faktorem je teplota (vysoká i nízká), která mění charakterové vlastnosti obou složek - adherendu i adhesiva, a to různým způsobem. Může tedy vyvolávat vysoké vnitřní napětí v lepené spáře. Müller a kol.<sup>36</sup> testoval vliv doby vystavení zkušebních těles připravených z kovového adherendu a epoxidových lepidel (dvou typů s vysokou teplotní odolností) při teplotě 60°C. S narůstající dobou vystavení se začala snižovat průměrná pevnost a také nastal značný rozptyl u variačního koeficientu (směrodatné odchylky), který indikuje riziko porušení již při velmi nízkých hodnotách. Obdobně lze předpokládat, že další faktory, jako je např. nízká teplota nebo zvýšené dynamické zatížení, mají obdobný vliv na vývoj pevnosti lepeného spoje v čase a urychlují její ztrátu.

---

<sup>36</sup> MÜLLER, Miroslav, Rostislav CHOTĚBORSKÝ, Petr HRABĚ a David HERÁK. Teplota a čas - vliv na pevnost lepených spojů. [www.nmspektrum.com](http://www.nmspektrum.com) [online]. 2015 [cit. 2015-12-19].

## 2.6 Rychlost deformace lepeného spoje

Hodnocení pevnosti lepeného spoje může probíhat ve dvou režimech – v rámci silové, nebo v rámci deformační zkoušky. Při silové zkoušce konstantně stoupá vyvozená síla (daným krokováním) ve směru zatěžování, při deformační zkoušce konstantně stoupá celkové prodloužení zkušební tělesa, resp. deformace. Výstupem obou typů zatěžování je napětovo-deformační diagram.

Rychlost, s jakou narůstá síla nebo deformace při zkoušce, může mít také velký vliv na její celkový průběh. Tato vlastnost se obvykle stanovuje prostřednictvím hodnocení vlivu rychlosti deformace (tedy v rámci deformační zkoušky vyvozující konstantní nárůst veličiny a variabilně přizpůsobující sílu působící z příčnicku). Rychlost narůstající deformace ovlivňuje zejména rychlost vzniku a šíření trhlin, které dále iniciují adhezní porušení spoje. Odolnost vůči vysokým deformačním rychlostem je jednou z hlavních charakteristik, které popisují schopnost lepeného spoje odolávat nárazovému (nahodilému, šokovému) zvýšení napětí nebo dynamické zátěže. Zkoušení pevnostních charakteristik při vysoké rychlosti deformace se užívá zejména jako zástupná zkouška pro stanovení rázové houževnatosti spoje, tedy jako simulace náhlého prudkého nárazu.<sup>37</sup> Obvykle se se zvyšující rychlostí deformace mírně zvyšuje modul pružnosti i pevnost, zatímco se snižuje prodloužení vedoucí k porušení. Pod nahodilým zatížením se spoj stává křehčím.<sup>38</sup>

Změny v rychlostech zatěžování lepených spojů totiž obvykle ovlivňují lomové charakteristiky. Při zatěžování normovou definovanou rychlostí zpravidla dochází ke vzniku stabilní plynule se rozšiřující trhliny ve vrstvě lepidla. Inicace a šíření těchto trhlin výrazně neovlivňuje krípkové vlastnosti polymerního pojiva a k porušení dochází při výrazném prodloužení. Zvýšená rychlost nárůstu deformace způsobí však prudce rostoucí trhlínu, několikanásobnou trhlínu nebo slip-stick efekt (cyklické znovu slepování a prokluzování pod zatížením). Tyto jevy postupně eliminují krípkové chování

---

<sup>37</sup> MÜLLER, Miroslav. *Influence of loading speed on a change of parameters of adhesive bonds based on cyanoacrylates*, s. 177.

<sup>38</sup> ADAMS, ROBERT D. a William C. WAKE. *Structural Adhesive Joints in Engineering*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1984.

lepené vrstvy a spoj se poruší křehkým lomem, obvykle však při vyšší dosažené zatěžovací síle.<sup>39</sup>

Lepené spoje jsou v dnešní době navrhovány zejména pro spojování hliníku, oceli a dalších důležitých kovů, které se ovšem vyznačují různou odolností a vlastnostmi při zatížení. Brockman<sup>40</sup> popisuje problematiku vysokopevnostní oceli, u níž bývají sice uplatňovány kompatibilní lepidla, ale při vysokých rychlostech deformace se vyznačují jinou roztažností. Výhodou vysokopevnostní oceli je výrazná stabilita při nízkých rychlostech deformace. V takovém případě zůstává lepený spoj dlouho chráněn proti porušení, jelikož adherend odolává ztížení pouze s minimálním protažením. Vyšší rychlosti simulující náraz však na vysokopevnostní ocel působí obdobným způsobem jak na ocel standardní a zapříčiňují rychlou deformaci a kríp.

Kromě deformační rychlosti se na chování lepeného spoje podílí také tloušťka adherendu. Tato skutečnost je dána především schopností adherendu samostatně překonávat vyšší zatížení při větší tloušťce. Efekt těchto dvou faktorů byl zkoumán čínským výzkumným týmem<sup>41</sup> s výsledkem, že pevnost lepeného spoje s adherendem z vysokopevnostní oceli při zvyšující se rychlosti deformace narůstá a je výrazně ovlivněna tloušťkou adherendu. Zkoušení v případě tohoto výzkumu probíhalo až do rychlosti 20 m/s při tloušťce adherendu 0,75 mm a bylo dosaženo 152% nárůstu pevnosti spoje. Takto výrazné rychlosti deformace se však uplatňují zejména pro zkoušení odolnosti celkového kompozitu při nárazu pro uplatnění v automobilovém průmyslu.

Poměrně nižších rychlostí je užíváno při testování chování lepeného spoje a přechodu od krípkového chování ke křehkému lomu. Müller<sup>42</sup> zkoumal vliv rychlosti deformace přibližně 600 mm/min na vzorcích lepených spojů, vyrobených z 1,5 mm

---

<sup>39</sup> SILVA, Lucas Filipe Martins da. *Testing adhesive joints: best practices*. Weinheim: Wiley-VCH, c2012. ISBN 3527329048, s4.

<sup>40</sup> BROCKMANN, W. *Adhesive bonding: materials, applications and technology*. Weinheim: Wiley-VCH, c2009., s. 229.

<sup>41</sup> ZHAO, H., X. DUAN, M. MA, L. LU, Z. CAI, P. C. WANG a J. D. FICKES. Dynamic characteristics of adhesive bonded high strength steel joints. *Science and Technology of Welding and Joining* [online]. 2010, **15**(6), 486-490 [cit. 2016-02-28]

<sup>42</sup> MÜLLER, Miroslav. *Influence of loading speed on a change of parameters of adhesive bonds based on cyanoacrylates*.

tlustého plechu konstrukční uhlíkové oceli a spojovaných 5 typy kyanoakrylátových lepidel, přičemž lepená plocha měla rozměry  $12,5 \times 25$  mm. Vzorčky byly zkoušeny v sériích zatěžovacích testů při různých rychlostech (6, 24, 48, 100, 200, 400 a 600 mm/min), přičemž byla sledována nejvyšší dosažená pevnost a doba porušení. Sekundární zkouškou pak bylo poměrné prodloužení realizované na vzorcích jiného typu dle ČSN ISO 6892-1. Výsledky zkoušek ukázaly jednoznačný vliv rychlosti zatěžování na pevnost a prodloužení zkoušených zkušebních těles, nebylo však možné stanovit stejný trend pro všechny typy zkoušených lepidel (hodnoty vykazovaly různé stoupající a klesající tendence). Naproti tomu bylo možné jednoznačně odvodit, že poměrné prodloužení má se zvyšující se rychlostí deformace klesající tendenci.<sup>43</sup> Tato skutečnost je způsobena zvyšujícím se pnutím uvnitř lepené vrstvy způsobeným větším smykovým zatížením vyvozeným namáhaným adherendem, které má za následek snížení houževnatosti a zvýšení křehkosti polymeru a vede ke křehkému lomu.

---

<sup>43</sup> MÜLLER, Miroslav. *Influence of loading speed on a change of parameters of adhesive bonds based on cyanoacrylates.*

### 3 Zkoušení lepených spojů

Testování lepených spojů se nejčastěji provádí stanovením základních pevnostních charakteristik, kterými jsou stanoveny smykové pevnosti v tahu nebo tahové pevnosti doplněné o stanovení míry a způsobu porušení lepené spáry a zkoušky odlupčivosti (rozpojitelnosti) lepené spáry prostřednictvím klínového a rozlupovacího testu. Všechny tyto testy jsou obvykle prováděny jako základní zkoušky a představují konkrétní charakteristiku chování lepidla při spojování daného adherendu. V případě náročnějších trvanlivostních zkoušek jsou tyto testy užívány jako signifikantní ukazatele změn v únosnosti spoje při zhoršených okolních podmínkách.

#### 3.1 Zkušební tělesa a jejich příprava

Zkušební tělesa jsou pro potřeby testování připravována dle příslušných postupů, které navazují na charakter adherendu a adhesiva a také daných normovaných požadavků. Pro testování pevnostních charakteristik se obvykle připravují zkušební tělesa z plátů daného zkoušeného kovu (u oceli se jedná o plech typické tloušťky), jejichž povrch je zdrsněn nebo naleptán rovněž s ohledem na vybraný typ kovu. Vzorky bývají dle požadavků většiny norem realizovány jako jednoduše přeplátované (viz Obrázek 4).



**Obrázek 4** Jednoduše přeplátovaný spoj zkušební tělesa (*Zdroj: vlastní zpracování*)

Lepení je prováděno dle požadavků uvedených výrobcem lepidla. V tomto bodě může dojít k ovlivnění výsledné pevnosti spoje nedodržením nebo nezohledněním některé z těchto charakteristik:<sup>44</sup>

- překročená doba zpracovatelnosti (od porušení obalu),
- nedodržení minimální teploty povrchu adherendu,
- nedodržení minimální teploty lepidla při aplikaci,
- překročená doba použitelnosti (trvanlivosti),
- nedodržení požadavků na poměr a způsob mísení složek.

Zároveň může být důvodem špatného provedení lepeného spoje nedodržení podmínek vytvrzování, zejména je-li požadována specifická doba, po kterou by mělo být lepidlo nanášeno na upravený povrch a dány speciální podmínky vytvrzování (zvýšená teplota, dodatečný tlak nebo požadovaná tloušťka spoje).

### 3.2 Zkoušení pevnosti, destruktivní zkoušky lepených spojů

Nejběžnější zkouškou pro stanovení pevnosti lepeného spoje je **smyková pevnost při namáhání tahem** prováděná dle harmonizované normy ČSN EN 1465. Jedná se o zkoušku prováděnou na vzorku s jednoduchým přeplátováním připravených ze dvou plechů o celkových rozměrech 100 × 25 × 1,5 mm, přičemž přeplátování má normou stanovenou délku 12,5 mm. Vzorky se po slepení upínají do čelistí zatěžovacího stroje. K porušení vzorku by mělo dojít v časovém intervalu 65 ± 20 s při konstantním pohybu čelistí. Zkouška může být vedena buď v silovém, nebo v deformačním módu, v závislosti na tom, zda je konstantní pohyb čelistí realizován jako přírůstek síly nebo deformace. Smyková pevnost v tahu je pak stanovena jako nejvyšší dosažená síla při dané ploše přeplátování, dle následujícího vzorce:

$$\bar{\tau} = \frac{F_{\max}}{S} = \frac{F_{\max}}{b.l} [MPa] \quad (1)$$

Přičemž  $\bar{\tau}$  představuje střední smykové zatížení,  $F_{\max}$  je největší dosažené zatížení při porušení,  $S$  je plocha přeplátování odpovídající vynásobení šířky kkušebního tělesa ( $b$ ) délkou přeplátování ( $l$ ).<sup>45, 46</sup>

<sup>44</sup> Joint Testing. *Www.adhesives.org* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing>

Další zkouškou, která se zabývá stanovením pevnosti lepeného spoje, je testování dle ČSN EN 26922. V souladu s tímto standardem lze provést stanovení pevnosti tuhých adherendů, které mají tvar válce a jsou spojeny plochami kolnými k jejich délce. Zkušební tělesa jsou tvořena dvěma válci o průměru 15 a 25 mm a tahová síla je vyvozována ve směru podélné osy celého zkušebního tělesa. Prostřednictvím této zkoušky je možné dále stanovit Youngův modul pružnosti a modul pružnosti ve smyku.<sup>47</sup>

Pro stanovení odolnosti proti odlupování se uplatňují dva hlavní typy zkoušek – klínový test (wedge test) dle normy DIN 65448 a test odlupčivosti (peel test). Oba tyto testy jsou zaměřeny na stanovení kvality provedení spoje a to jak po vytvrzení, tak v návaznosti na stanovení vlivu mechanického zatížení, působení chemických látek a vlhkosti. Provedení klínového testu vyžaduje použití dvou kovových plátů (plechů) o stanovené tloušťce, jejichž povrch je upraven dle požadavků zkoušeného lepidla. Pláty jsou na jedné straně opatřeny protilehlým zkosením umožňujícím vniknutí rozpojovacího trnu (klínu). Schéma provedení zkoušky a tvar zkušebních těles jsou uvedeny na následujícím obrázku (Obrázek 5).



**Obrázek 5** Schéma provedení (vlevo) a zkušební tělesa (vpravo) pro klínovou zkoušku (Zdroj: *Joint Testing. Www.adhesives.org [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing>)*

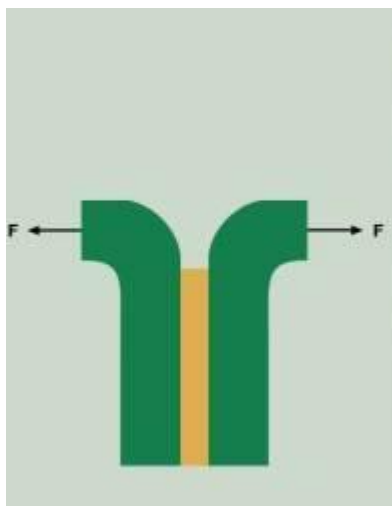
<sup>45</sup> Joint Testing. *Www.adhesives.org [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing>*

<sup>46</sup> MÜLLER, Miroslav. Vliv druhu zatížení na pevnost lepeného spoje. *Www.mmspektrum.com [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/vliv-druhu-zatizeni-na-pevnost-lepeneho-spoje>*

<sup>47</sup> MÜLLER, Miroslav. Vliv druhu zatížení na pevnost lepeného spoje. *Www.mmspektrum.com [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/vliv-druhu-zatizeni-na-pevnost-lepeneho-spoje>*



Druhý způsob stanovení kvality lepeného spoje lze realizovat prostřednictvím zkoušky odlupčivosti. Prostřednictvím této zkoušky se nejčastěji stanoví rozdíly v účinku použité povrchové úpravy adherendu a aplikovaného lepidla. Výstupem zkoušky je zhodnocení reálného umístění trhliny a míra kohesního a adhesního poškození spoje. Zkušební tělesa (připravená dle stanoveného postupu ve formě dle následujícího obrázku - Obrázek 6) jsou namáhána tahovou silou na neslepených stranách, dokud nedojde k úplnému porušení (oddělení) spoje.<sup>48</sup>



**Obrázek 6** Provedení zkušební tělesa ro zkoušku odlupčivosti - peel test (Zdroj: Joint Testing. *Www.adhesives.org* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing>)

Zkoušení dalších vlastností lepených spojů, jako je např. trvanlivost v nepříznivých podmínkách ovlivňujících jak únosnost adherendu a chování lepidla, tak jejich vzájemnou interakci, je obvykle hodnocena na základě popsaných metodik. Müller<sup>49</sup> uvádí např. vyhodnocení zkoušky trvanlivosti dvou vybraných typů lepidel pro spojování kovů v závislosti na různé provozní teplotě použití. Vyhodnocení trvanlivostní zkoušky je provedeno srovnáním poklesu pevnosti spoje degradovaného vzorku v porovnání s referenčním vzorkem zkoušeným ihned po vytvrzení při laboratorní teplotě.

---

<sup>48</sup> Joint Testing. *Www.adhesives.org* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing>

<sup>49</sup> MÜLLER, Miroslav, Rostislav CHOTĚBORSKÝ, Petr HRABĚ a David HERÁK. Teplota a čas - vliv na pevnost lepených spojů. *Www.mmspektrum.com* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/teplota-a-cas-vliv-na-pevnost-lepenych-spoju.html>

### 3.3 Stanovení vlastností lepeného spoje dle ČSN EN 1465

V navazující praktické části bude provedeno zkoušení vlivu rychlosti deformace vybraných lepených spojů na chování a pevnostní charakteristiky lepeného spoje. Standardně se zkoušení pevnosti lepených spojů realizuje v režimu namáhání smykem při tahovém zatížení, jehož podmínky upravuje harmonizovaná norma ČSN EN 1465. Výstupem této zkoušky je stanovení zaručené pevnosti přeplátovaného lepeného spoje ve smyku výpočtem ze zaznamenané nejvyšší dosažené síly při porušení zkušebního tělesa. Postup zkoušky je charakterizován jako smykové namáhání „jednoduchého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, na které působí tahová síla, která je rovnoběžná s plochou lepeného spoje a hlavní osou zkušebního tělesa“<sup>50</sup>.

Zkoušení probíhá na zkušebním stroji s parametry odpovídajícími požadavkům normy ČSN EN 527-1 pro zkoušení plastů v tahu, tedy trhací stroj třídy 1 umožňující zvolit konstantní rychlost zatěžování. Jedná se o zařízení se dvěma upínacími čelistmi o shodné ose umožňující pevné upnutí zkušebního tělesa. Kromě specifického zkušebního zařízení (trhací stroj) norma požaduje také zajištění vhodných parametrů spoje vytvrzováním v přípravku vyvozujiícím konstantní tlak na lepenou spáru.<sup>51</sup>

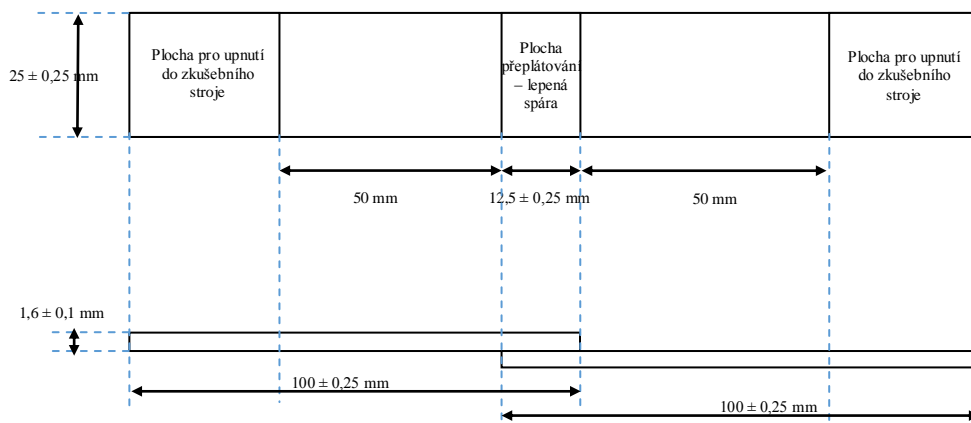
Norma rovněž předepisuje tvar a přípravu povrchu adherendů zkušebního tělesa před nanesením vrstvy lepidla. Adherendy by měly být tvořeny kovovými pláty (dle normy lze zkoušet různé druhy lepených kovů – hliník a jeho slitiny, ocel, titan a další) o tloušťce  $1,6 \pm 0,1$  mm, šířce  $25 \pm 0,25$  mm a délce  $100 \pm 0,25$  mm. Délka přeplátování se doporučuje  $12,5 \pm 0,25$  mm (zkoušená lepená plocha by tedy měla mít rozměry  $12,5 \times 25$  mm) Standardní zkušební tělesa (slepence) by měla tedy dosáhnout délky  $187,50 \pm 0,25$  mm a šířky  $25 \pm 0,25$  mm. Schéma standardního zkušebního tělesa je uvedeno na následujícím obrázku (Obrázek 7).

---

<sup>50</sup> ČSN EN 1465. *Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.10.2009

<sup>51</sup> ČSN EN 1465. *Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.10.2009

## Hodnocení vlivu rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje



**Obrázek 7** Standardní zkušební těleso dle ČSN EN 1465 (Zdroj: ČSN EN 1465. Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přelátovaných lepených sestav. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.10.2009 )

Před vlastním lepením je zkušební těleso nejdříve nutné předem upravit (povrch adherendu). Úprava se provádí s ohledem na typ kovového materiálu dle pokynů normy ČSN EN 13887 uvádějící postupy pro přípravu povrchu kovových a plastových materiálů před lepením a probíhá ve třech krocích:<sup>52</sup>

- odstranění znečišťujících látek - odstranění zbytků oleje a mastnoty (pokud možno neionizovanými detergenty), na kovy se používají speciální alkalické prostředky,
- fyzikálně vyvolané modifikace povrchu - mírné zdrsnění (nevhodné pro lehké slitiny při tloušťce do 2 mm, odírání (brusným papírem odolným vodě 45-106  $\mu\text{m}$  ve dvou směrech - přímo a pak kolmo - nebo kruhově),
- odstranění zbytků – za sucha ofouknutím, za mokra v rozpouštědle, poté může být provedeno slepení, nebo další speciální úprava, např. chemická, otryskávání (za sucha – částice 45-106  $\mu\text{m}$ , za mokra – pod 20 mikronů), nemechanická (kapalinami, ošlehávání plamenem, plasmový výboj).

Povrch adherendu může být dále ošetřen chemickými přípravky zejména k dosažení dalších vylepšujících vlastností povrchu (úprava oxidace).

<sup>52</sup> ČSN EN 13887 *Konstrukční lepidla - Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením.* Praha: Český normalizační institut 2004, 1.3.2004.

Příprava povrchu a lepení adherendu z ocelového plechu probíhá různě pro plechy z měkké a z korozivzdorné tvrdé oceli. U plechů z měkké oceli se lepení provádí po odmaštění, mírném mechanickém zdrsňení a případné další úpravě naleptáním (10 minut ponoření do leptacího roztoku, po odstranění usazeniny a lepení při zahřívání) speciálním roztokem a nanesení primeru nebo speciálního kompatibilizeru. K aplikaci se přistupuje do 4 hodin po usušení. U plechů z tvrdé korozivzdorné oceli se provádí odmaštění, poté odírání nebo otryskání vhodným (např. hliníkovým) abrazivem (případně naleptání speciálním roztokem a opatření vrstvou primeru). Aplikace lepidla je stejně jako u měkké oceli provedena do 4 hodin.

Pro aplikaci lepidla se zkušební tělesa ponechají v přípravku za předepsaného tlaku vytvrzovat v prostředí dle pokynů výrobce. Před vlastním zkoušením je nutné u všech zkušebních těles dosáhnout optimálních vlastností a aklimatizace zkušebními podmínkám, aby bylo možné výsledné hodnoty pevností srovnávat bez rizika vzniku chyby v důsledku rozdílů v aktuálních parametrech. Z tohoto jsou všechna zkušební tělesa vystavena shodným předepsaným environmentálním podmínkám v rámci kondicionování. Parametry kondicionování požadované normou ČSN EN 1465 odpovídají podmínkám stanoveným normou ČSN EN 291, která stanoví dvě třídy standardního prostředí (viz následující Tabulka 1) pro kondicionování 88 hodin, případně lze kondicionovat 4 hodiny v prostředí 18-28 °C.<sup>53</sup>

**Tabulka 1** Podmínky standardního prostředí dle ČSN EN 291 (Zdroj: *opraveno dle ČSN EN ISO 291. Plasty - Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.1.2009*)

		Odchylka teploty	Podmínky 1	Podmínky 2
Třída standardního prostředí:	1	±1	23 °C / 50 ± 5 %	27 °C / 65 ± 5 %
	2	±2	23 °C / 50 ± 10 %	27 °C / 65 ± 10 %

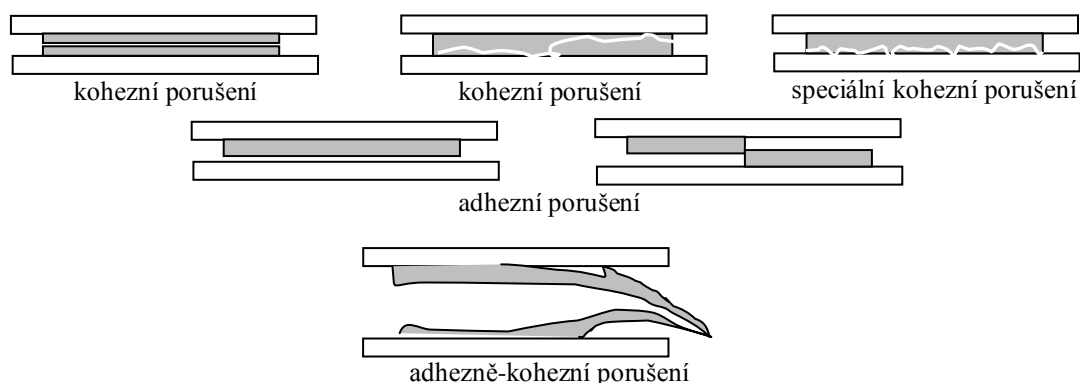
Kondicionovaná zkušební tělesa jsou následně zkoušena dle standardizovaného postupu. Počet zkušebních těles nesmí být menší než 5. Zkušební těleso se umístí symetricky do čelistí tak, aby vzdálenost každé čelisti od bližšího konce přeplátování byla 50±1 mm. Při použití vyrovnávacích podložek v čelistech musí být zajištěno, že působící síla je v rovině lepeného spoje. Stroj se uvede do chodu tak, aby se napětí nebo

<sup>53</sup> ČSN EN ISO 291. *Plasty - Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.1.2009*

deformace ve zkušebním spoji zvyšovaly konstantní (tj. stálou) rychlostí, k poruše musí dojít za  $65 \pm 20$  s.<sup>54</sup>

Vyhodnocení pevnosti je stanoveno ze zaznamenané nejvyšší síly v průběhu trhání, která se považuje za sílu potřebnou k přetržení příslušného zkušebního tělesa. Výsledky, dosažené u zkušebních těles, u kterých došlo k porušení adherendu, se vyloučí. Vyhodnocením zkoušky je aritmetický průměr a variační koeficient síly při přetržení v newtonech (N) nebo napětí v megapascalch (MPa). Pevnost ve smyku se stanoví jako podíl síly při přetržení (N) ke smykové ploše v  $\text{mm}^2$ .<sup>55</sup>

Kromě nejvyšší dosažené síly (napětí nebo pevnosti) ve smyku zkušebního tělesa zkouška hodnotí také způsob jeho porušení. Vyhodnocení je realizováno dle navazující normy ČSN EN ISO 10365, která rozlišuje typy porušení, jako jsou uvedeny na následujícím obrázku (Obrázek 8).



**Obrázek 8** Typy porušení lepeného spoje dle ČSN EN 10365 (Zdroj: ČSN EN 13887 Konstrukční lepidla - Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením. Praha : Český normalizační institut 2004, 1.3.2004.)

<sup>54</sup> ČSN EN 1465. Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.10.2009

<sup>55</sup> ČSN EN 1465. Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.10.2009

## PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část bude zaměřena na stanovení vlivu rychlosti deformace na dosaženou pevnost a formu porušení lepených spojů připravených ze tří typů epoxidových lepidel a ocelového adherendu. V rámci zkoušení bude posouzeno, zda a jaký vliv má zvyšující se rychlost deformace na chování spoje a iniciaci trhlin (posouzení na základě porušení v adhezní nebo kohezní vrstvě). Kromě vlivu rychlosti deformace bude dílčím záměrem zhodnotit vliv velikosti lepené plochy na zmíněné vlastnosti.

### 4 Cíl a metodika zkoušení

Praktická část je zaměřena na stanovení vlivu rychlosti deformace na konečnou pevnost a přídržnost lepeného spoje připraveného ze tří typů epoxidových lepidel. Zkouška provedená dle ČSN EN 1465 byla realizována formou řízené deformace, při níž bylo sledováno, jakým způsobem rychlost zatěžování ovlivňuje pevnost lepeného spoje. Zkoušení lepidel bylo provedeno na výřezech ocelových plechů požadovaných rozměrů při různé rychlosti konstantního zatěžování na trhacím zařízení.

Rychlost zatěžování má sice vliv na krípkové vlastnosti kovového adherendu<sup>56</sup>, jak ale ukázalo několik studií, chování lepeného spoje je závislé zejména na parametrech a únosnosti adhesiva (lepené spáry) a vlastností na styku lepidla a adherendu ve vazebné vrstvě.<sup>57</sup> Jelikož zatížení přímým tahem, které z důvodu provedení zkušebního tělesa působí excentricky, tak se předpokládalo, že chování spoje bude směřovat k nerovnoměrnému kombinovanému adheznímu i koheznímu porušení. Toto porušení bude tedy odpovídat povaze lepidla a jeho krípkovým vlastnostem.

---

<sup>56</sup> KALPAKJIAN, Serope. *Manufacturing engineering and technology*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, c2006. ISBN 0131489658, s. 65.

<sup>57</sup> NARAYANAN, R. Ganesh a Uday Shanker DIXIT. *Advances in material joining and forming: 5th International and 26th all India Manufacturing, Technology, Design and Research Conference AIMTDR 2014*. 1. Londýn: Springer, 2015. ISBN 978-81-322-2355-9, s. 64.

Křípkové vlastnosti popisují formu deformace, která u polymerů vzniká v závislosti na dosažení fáze skelného přechodu a faktorech, které jej ovlivňují, zejména teplota, vlhkost a velikost působícího zatížení.<sup>58</sup> Synergií těchto faktorů pak za určitých podmínek dochází k tzv. tečení, tedy výraznému poměrnému prodloužení polymeru, nebo houževnatému či křehkému lomu s plastickou deformací. Každý z těchto typů porušení ovlivňuje celkovou pevnost lepeného spoje a dobu potřebnou k jeho porušení nestejnorodým pnutím uvnitř lepené vrstvy.

V rámci provedených zkoušek bude definována závislost rychlosti nárůstu deformace, s jakou bude dosaženo porušení spoje, na konečné smykové pevnosti při namáhání tahem a způsobu porušení lepeného spoje.

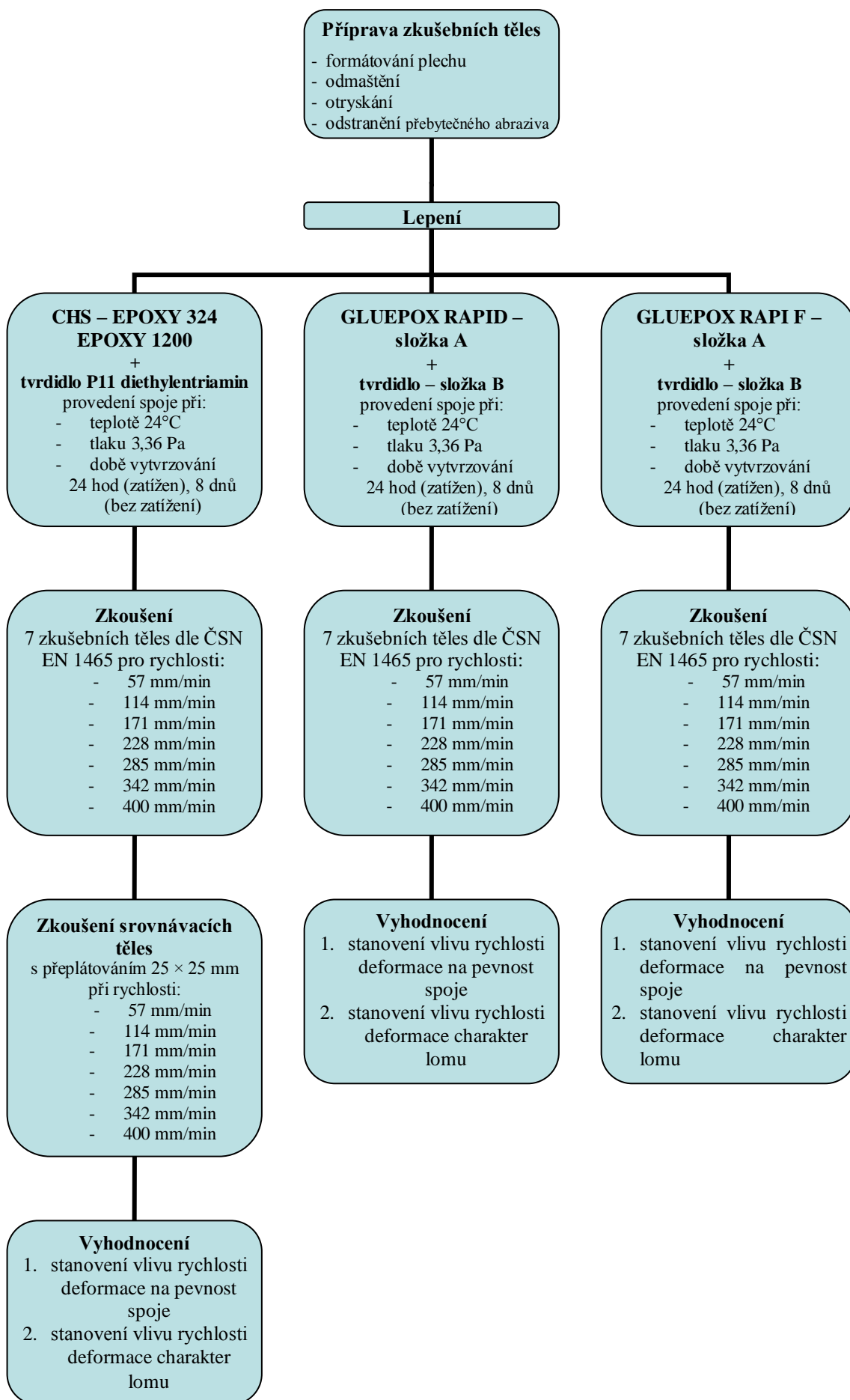
#### 4.1 Metodika zkoušení

Zkoušení lepidel bylo realizováno vždy při pokojové teplotě na tělesech stejných rozměrů. Zkouškám budou podrobena tři různá epoxidová lepidla nanesená na ocelové plechy požadovaných rozměrů v jednoduchém přeplátování  $25 \times 12,5$  mm požadovaném normou ČSN EN 1465 a pro srovnání také se zvětšenou plochou přeplátování  $25 \times 25$  mm. U každého typu lepidla bylo vytvořeno celkem 49 zkušebních těles – sedm zkušebních těles pro každou zatěžovací rychlost. Průběh zkoušení je schematicky znázorněn na následujícím obrázku (Obrázek 9).

Zkoušení bylo provedeno ve dvou fázích. V první fázi bylo provedeno odzkoušení standardizovaných těles, vždy sedm zkušebních vzorků pro každé lepidlo a každou rychlost deformace. Po té bylo provedeno odzkoušení srovnávacího tělesa pro lepidlo CHS EPOXY 1200 za zvětšené plochy přeplátování. Sledovanými charakteristikami byly nejvyšší dosažené síly při porušení, celkové prodloužení vzorku a rychlost, s jakou bylo dosaženo porušení. Jmenovité rychlosti deformace byly následující: 57, 114, 171, 228, 285, 342 a 400 mm/min.

---

<sup>58</sup> VINSON, Jack R. *The Behaviour of Shells Composed of Isotropic and Composite materials*. 1. Londýn: Springer, 1993. ISBN 978-90-481-4237-8, s. 301.



Obrázek 9 Schéma metodiky prováděných zkoušek (zdroj: vlastní zpracování)



## 4.2 Charakteristika použitých lepidel

V rámci zkoušení byly použity tři typy epoxidových lepidel – CHS EPOXY 324 (EPOXY 1200) s tvrdidlem P11 a dvousložková univerzální epoxidová lepidla GLUEPOX RAPID a GLUEPOX RAPID F.

### 4.2.1 CHS EPOXY 324 (EPOXY 1200)

Lepidlo tvoří středně molekulární epoxidová pryskyřice připravená reakcí z bisfenolu A s epichlorhydrinem modifikovaná bezftalátovým změkčovadlem. Lepidlo je kromě kovů určeno také ke spojování skla, keramiky, porcelánu, eternitu, výrobků z močovino-formaldehydových pryskyřic a jiných materiálů, a také k přípravě stěrkových hmot a tmelů. Lepidlo lze kombinovat s několika typy tvrdidel. Vybrané tvrdidlo P11 je rychlé s kratší dobou zpracovatelnosti a vyznačuje se dolepem na povrchu po vytvrzení, který je možné odstranit kyselinou citrónovou. Poměr mísení složek je 100:7 (hm.) nebo 100:8,5 (obj.).<sup>59</sup>

Vlastnosti resinu jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 2).

**Tabulka 2** Vlastnosti epoxidu CHS EPOXY 324 (EPOXY 1200), (Zdroj: *Technický list lepidla*)

Vzhled	nažloutlá až žlutá čirá silně viskózní kapalina
Hustota (20 °C)	1,15 g.cm <sup>-3</sup>
Viskozita (25 °C)	20–60 Pa.s
Obsah epoxidových skupin (mol.kg <sup>-1</sup> )	3,0–3,4
Epoxidový hm. ekvivalent (g.mol <sup>-1</sup> )	290–330
Celkový obsah chloru (%):	max. 0,5
Neobsahuje VOC.	

### 4.2.2 GLUEPOX RAPID

Lepidlo tvoří nízko molekulární epoxidová pryskyřice s přísadkou aditiv (složka A) se speciálním polyamidickým tvrdidlem (složka B). Jedná se o dvousložkové lepidlo s vysokou tekutostí a se zvýšenou rychlostí vytvrzování, které je možné využít rovněž jako zalévací hmotu. Kromě kovů je vhodné k lepení dřeva, betonu, přírodního nebo umělého kamene a keramiky. Lepidlo se aplikuje ve vrstvě 0,1-0,5 mm, poměr složek A:B činí 100:45 (hm.) nebo 100:50 (obj.). Zpracování by nemělo trvat více než 6-8 min při 20 °C. Složka A je jemně nažloutlá viskózní kapalina s hustotou 1,14-1,16 g/cm<sup>3</sup>,

<sup>59</sup> Technický a aplikační list lepidla CHS EPOXY 324

složka B je světle žlutá kapalina s typickým zápachem po aminech a hustotou 1,06 g/cm<sup>3</sup>.<sup>60</sup>

#### 4.2.3 GLUEPOX RAPID F

Lepidlo tvoří nízko molekulární epoxidová pryskyřice s přidavkem aditiv (složka A) se speciálním polyamidickým tvrdidlem (složka B). Jedná se o dvousložkové epoxidové lepidlo vyznačující se vysokou tekutostí a zvýšenou rychlostí vytvrzování. Konzistence lepidla je speciálně upravena tak, aby byla snížena jeho stékavost ze svislých ploch. Kromě spojování kovů se toto lepidlo uplatňuje také při lepení dřeva, betonu, přírodního nebo umělého kamene a keramiky. Lepidlo se aplikuje ve vrstvě 0,5-2 mm, poměr složek A:B činí 100:45 (hm.) nebo 100:50 (obj.). Zpracování by nemělo trvat více než 9-10 min při 20 °C. Složka A je tixotropní pasta s hustotou 1,04-1,06 g/cm<sup>3</sup>, složka B je světle žlutá tixotropní pasta s typickým zápachem po aminech a hustotou 0,92-0,94 g/cm<sup>3</sup>.<sup>61</sup>

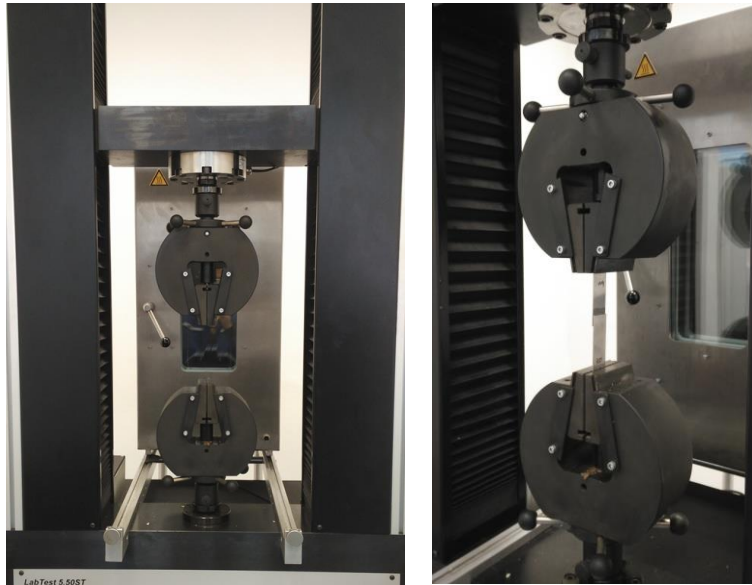
---

<sup>60</sup> Technický list lepidla GLUEPOX RAPID

<sup>61</sup> Technický list lepidla GLUEPOX RAPID F

### 4.3 Použité vybavení

Pro provedení zkoušky byl použit trhací stroj LabTest 5,50 ST s upínacími čelistmi a příslušným softwarem umožňujícím nastavení parametrů zkoušky (rychlosti zatěžování, řízené deformace). Skutečný vzhled zařízení je uveden na následujícím obrázku (Obrázek 10).



**Obrázek 10** Trhací zařízení LabTest 5,50 ST, vlevo – čelní pohled, vpravo – s upnutým zkušebním tělesem (*Zdroj: vlastní snímky*)

## 5 Laboratorní zkoušení pevnosti s řízenou deformací

### 5.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa byla připravena ve dvou typových provedeních. První typ odpovídal požadavkům normy ČSN EN 1465, tedy slepení dvou plátů ocelových plechů o rozměrech  $100 \times 25 \times 1,5$  mm s jednoduchým přeplátováním o délce  $12,5 \pm 0,25$  mm (celková délka vzorku byla 187,5 mm). Druhý typ byl obdobných rozměrů, pouze celková plocha přeplátování činila  $25 \times 25$  mm (celková délka vzorku byla 175 mm).

Úprava povrchu vzorků byla provedena odmaštěním acetonem a poté otryskáním. Jako abraziva bylo použito abraziva granát o zrnitosti 80. Rozdíl povrchového vzhledu odmaštěných a otryskaných vzorků je patrný na následujících obrázcích (Obrázek 11).



**Obrázek 11** Vzhled vzorků při úpravě: vlevo – před a po otryskání, vpravo – po odstranění zbytků abraziva před nanesením lepidla (*Zdroj: vlastní zpracování*)

Aplikace lepidla probíhala při pokojové teplotě  $23 \pm 1$  °C u všech zvolených typů. Po nalepení bylo každé zkušební těleso zatíženo ocelovým kvádrem o rozměrech  $45 \times 25 \times 20$  mm a hmotnosti 168 g (odpovídající tlaku přibližně 3,36 Pa, viz následující Obrázek 12). Vytvrzování probíhalo při zatížení spoje dalších 24 hod po slepení a poté ještě 8 dnů v odtíženém stavu. Po vytvrzení byla tělesa kondicionována v normovaných podmínkách a následně zatěžována dle metodického postupu.



**Obrázek 12** Vytvrzování zkušebních těles při zatížení lepené spáry ocelovým kvádrem (Zdroj: vlastní snímek)

## 5.2 Provedení zkoušek

Stanovení pevnosti ve smyku připravených zkušebních těles bylo provedeno tahovým zatěžováním upnutých adherendů při konstantních rychlostech 57, 114, 171, 228, 285, 342 a 400 mm/min. U každého lepidla bylo tedy odzkoušeno sedm sérií zkušebních těles po sedmi vzorcích. Pro srovnání vlivu rychlosti zatěžování řízenou deformací na plochu lepené spáry bylo u prvního typu lepidla CHS EPOXY 324 (EPOXY 1200) připraveno také sedm sérií (po sedmi zkušebních tělesech) vzorků s dvojnásobnou plochou překlátování ( $25 \times 25$  mm). Zatěžování probíhalo vždy do porušení zkušebního tělesa.

Současně s pevnostní zkouškou probíhalo také posouzení vlivů rychlosti zatěžování na typ porušení zkušebního tělesa. Porušení lepené spáry bylo hodnoceno vizuálně, přičemž spočívalo v rozhodnutí, zda se jedná o porušení adhezni nebo kohezní.

## 6 Vyhodnocení výsledků

Vyhodnocení provedených zkoušek bylo rozděleno do dvou samostatných oblastí. V rámci první oblasti byly zhodnoceny a srovnány vlivy rozdílné deformační rychlosti na dosaženou smykovou pevnost spoje a současně posouzení převládajícího adhezního a kohezního porušení. Druhá oblast se zaměřovala na zhodnocení smykové pevnosti lepeného spoje v závislosti na zvyšující se rychlosti a velikosti plochy lepené spáry (zatěžovací plochy). I v tomto případě bylo provedeno zhodnocení převládajícího adhezního nebo kohezního porušení.

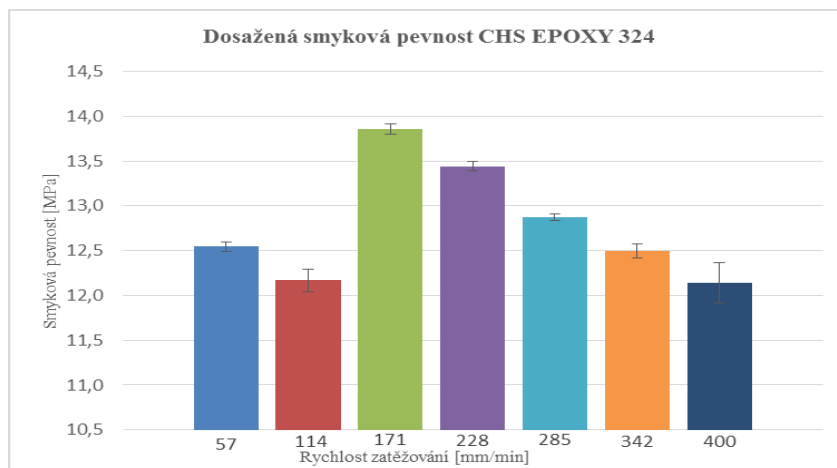
### 6.1 Stanovení vlivu rychlosti deformace na dosaženou smykovou pevnost

Všechny tři typy vybraných epoxidových lepidel – CHS EPOXY 324, GLUEPOX RAPID a GLUEPOX RAPID F byly v sedmi sériích po sedmi zkušebních tělesech zatěžovány do porušení. Na základě nejvyššího dosaženého zatížení byla stanovena průměrná smyková pevnost u jednotlivých typů zkušebních těles a směrodatná odchylka těchto hodnot. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 3) a obrázcích (Obrázek 13, Obrázek 14 a Obrázek 15).

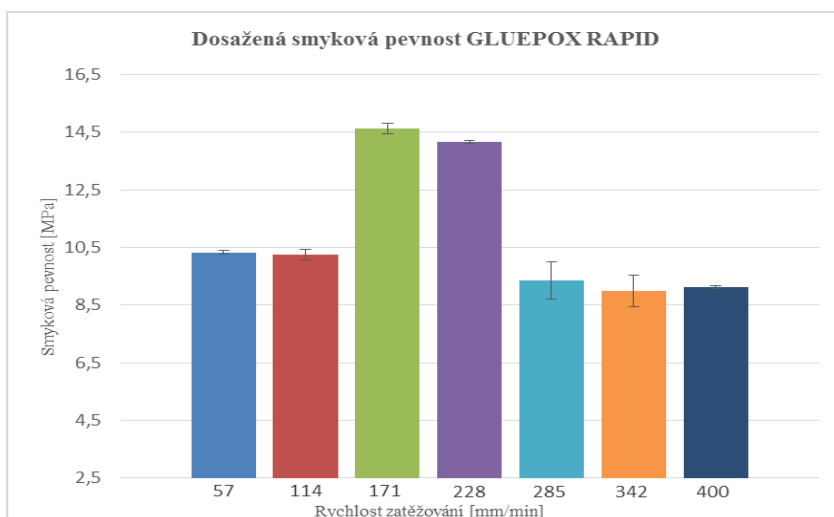
**Tabulka 3** Pevnost ve smyku zkušebních těles s přelátováním délky 12,5 mm. (Zdroj: vlastní zpracování)

Lepidlo	Rychlost zatěžování [mm/min]						
	57	114	171	228	285	342	400
	Pevnost ve smyku [MPa]						
A = CHS EPOXY 324	12,54±0,054	12,17±0,126	13,86±0,057	13,44±0,053	12,87±0,034	12,50±0,080	12,14±0,224
B = GLUEPOX RAPID	10,33±0,058	10,25±0,181	14,63±0,035	14,16±0,035	9,35±0,635	8,99±0,547	9,12±0,062
C = GLUEPOX RAPID F	8,85±0,131	9,71±0,491	9,70±0,051	9,09±0,051	8,89±0,011	9,46±0,135	9,14±0,221

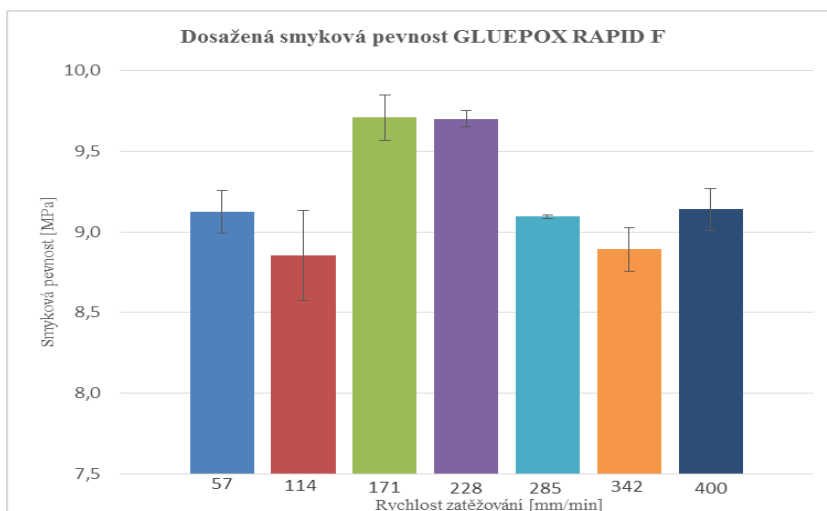
## Hodnocení vlivu rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje



**Obrázek 13** Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla CHS EPOXY 324 při zvyšující se konstantní rychlosti deformace (Zdroj: vlastní zpracování)



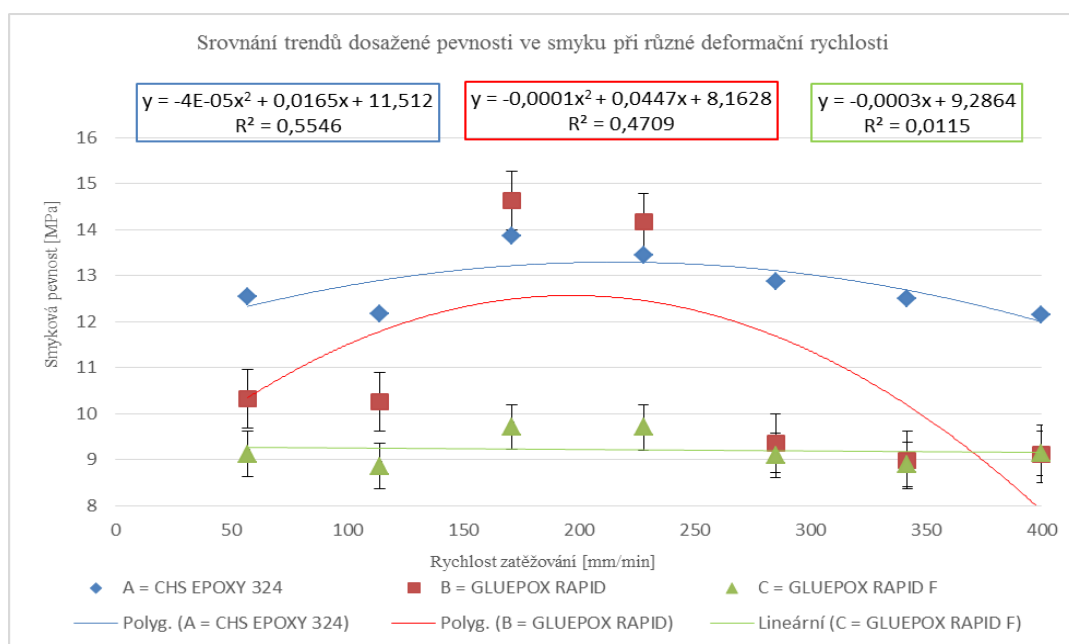
**Obrázek 14** Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla GLUEPOX RAPID při zvyšující se konstantní rychlosti deformace (Zdroj: vlastní zpracování)



**Obrázek 15** Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla GLUEPOX RAPID F při zvyšující se konstantní rychlosti deformace (Zdroj: vlastní zpracování)

Jak lze odvodit z uvedené tabulky a grafů, rychlost má velký podíl k tahové deformaci, který výrazně ovlivňuje jeho smykovou pevnost. U epoxidového lepidla CHS EPOXY 324 byla dosažena nejvyšší pevnost (13,86 MPa) při rychlosti 171 mm/min, přičemž s další narůstající rychlostí vykazovala zkušební tělesa postupný úbytek, který u nejvyšší konstantní rychlosti dosáhl snížení až o 12,4% (12,14 MPa). Obdobně u lepidla CHS EPOXY 324, i u lepidla GLUEPOX RAPID bylo dosaženo nejvyšší hodnoty smykové pevnosti při zatěžování konstantní rychlostí 171 mm/min (14,63 MPa), průběh poklesu při zvyšující se rychlosti deformace u tohoto lepidla již nemá přibližně lineární charakter a snižuje se skokově u série zatěžované rychlostí 285 mm/min přibližně o 42 % (z 14,16 na 9,35 MPa). U obou těchto typů lepidel je možné vypočítat výrazně nižší smykovou pevnost u série zatěžované rychlostí 114 mm/min (u lepidla GLUEPOX RAPID v hodnotě 10,25 MPa).

Vývoj pevností u nestékavého lepidla GLUAPOX RAPID F byl průběh hodnot smykové pevnosti mírně odlišný. Základní trend s vrcholem smykové pevnosti u série zkušebních těles zatěžovaných rychlostí 171 mm/min a následující klesající tendencí je sice relativně zachován. Poslední série (rychlost deformace 400 mm/min) však vykazala skokově vyšší hodnotu (nárůst až o 3,27 % v porovnání s hodnotou při rychlosti zatěžování 342 mm/min). Následující Obrázek 16 zobrazuje srovnání dosažených smykových pevností u všech vybraných typů lepidel při měnící se rychlosti zatěžování.



**Obrázek 16** Srovnání trendů dosažené pevnosti ve smyku při různé deformační rychlosti (Zdroj: vlastní zpracování)



Z grafu na Obrázku 16 lze odvodit, že nejstabilnější chování při měnící se rychlosti deformace má lepidlo CHS EPOXY, jehož hodnoty se pohybují v rozmezí od 12,14 do 13,86 MPa s nízkými směrodatnými odchylkami. Nejvyšších pevností dosáhlo rychletuhnoucí lepidlo GLUEPOX RAPID, hodnoty mají však vysoký rozptyl napříč rychlostmi deformace s menším propadem u rychlosti 114 mm/min. Nestékavé lepidlo GLUEPOX RAPID F dosáhlo rovněž stabilních (ovšem nejnižších) hodnot smykové pevnosti pohybujících se v rozmezí 8,85 a 9,71 MPa.

V porovnání s nestékavým lepidlem GLUEPOX RAPID F, jehož pevnosti vykázaly při nižších rychlostech nejdříve nárůst, poté mírný propad a poté znovu nárůst do nejvyšších hodnot při nejvyšších rychlostech (obdobně jako tomu bylo u kyanoakrylátových lepidel zkoušených Müllerem<sup>62</sup>), se u obou epoxidových lepidel s nižší viskozitou vyskytla anomálie poklesu pevnosti při rychlosti deformace 114 mm/min. Stejně tak obě méně viskózní lepidla vykázala nejvyšší pevnosti při rychlostech deformace 171 mm/min. Nejvyšší pevnost obou těchto lepidel dosáhla výrazně vyšších hodnot, než tomu bylo u lepidla více viskózního (GLUEPOX RAPID F), přestože se jedná o stejný nebo velmi podobný polymer. Tuto skutečnost lze připsat obecně vyšším hodnotám pevnosti při nižších hodnotách tloušťky lepené spáry (vrstvy lepidla), jak bylo potvrzeno např. v experimentu Banea a kol.<sup>63</sup> Menší tloušťka lepené spáry a nedostatečné vytvrzení může být také důvodem pro vzniklé anomálie, které rovněž odpovídají míře adhezního porušení.

---

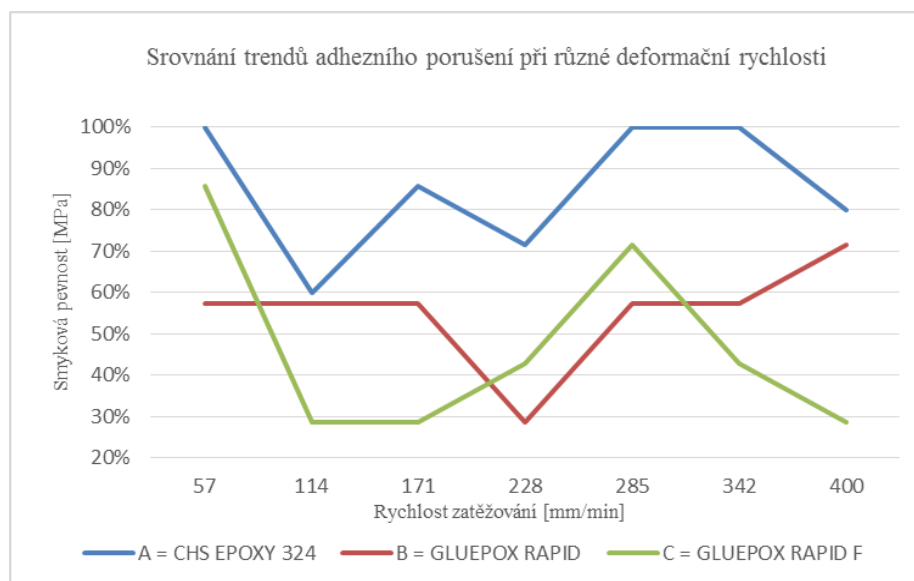
<sup>62</sup> MÜLLER, Miroslav. *Influence of loading speed on a change of parameters of adhesive bonds based on cyanoacrylates*. DOI: 10.17221/15/2015-RAE. ISBN 10.17221/15/2015-RAE. Dostupné také z: <http://www.agriculturejournals.cz/web/rae.htm?volume=61>, s. 177-182.

<sup>63</sup> BANEJA, M. D., L. F. M. DA SILVA a R. D. S. G. CAMPILHO. The Effect of Adhesive Thickness on the Mechanical Behavior of a Structural Polyurethane Adhesive. *The Journal of Adhesion* [online]. 2014, **91**(5), 331-346 [cit. 2016-03-07]. DOI: 10.1080/00218464.2014.903802. ISSN 0021-8464. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00218464.2014.903802>

Míru adhezního a kohezního porušení u zkoušených zkušebních těles uvádí následující Tabulka 4 a Obrázek 17.

**Tabulka 4** Míra adhezního a kohezního porušení u vybraných lepidel dosažená zkušebními tělesy s přelátováním 12,5 mm při zvyšující se konstantní rychlosti deformace. (Zdroj: vlastní zpracování)

Lepidlo	Lepidlo	Rychlost zatěžování [mm/min]						
		57	114	171	228	285	342	400
A = CHS EPOXY 324	Adheze	100%	60%	86%	71%	100%	100%	80%
	Koheze	0%	40%	14%	29%	0%	0%	20%
B = GLUEPOX RAPID	Adheze	57%	57%	57%	29%	57%	57%	71%
	Koheze	43%	43%	43%	71%	43%	43%	29%
C = GLUEPOX RAPID F	Adheze	86%	29%	29%	43%	71%	43%	29%
	Koheze	14%	71%	71%	57%	29%	57%	71%



**Obrázek 17** Srovnání trendů adhezního porušení u vybraných lepidel při dané rychlosti deformace (zdroj: vlastní zpracování)

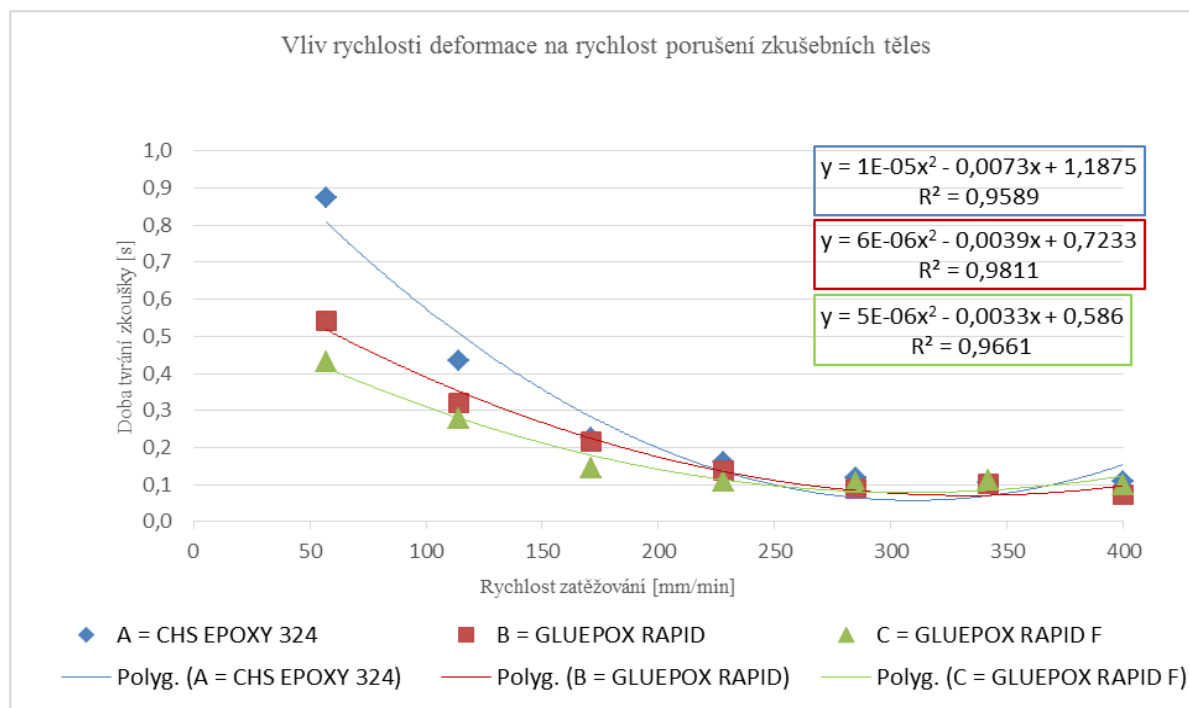
Z dosažených hodnot poměru adhezního a kohezního porušení zkušebních těles lze odvodit, že rychlost deformace ovlivňuje rovněž způsob, jakým dochází k usmýknutí lepeného spoje při zatěžování. U lepidla CHS EPOXY 324 je adhezní porušení spojeno s klesající smykovou pevností spoje, lze tedy předpokládat, že rychlost deformace ovlivňuje u tohoto typu lepidla zejména napětí na styku adhesiva a adherendu. Obdobný trend lze vypořádat u nestékavého lepidla GLUEPOX RAPID F, u kterého míra adhezního porušení zkušebních těles vždy klesá paralelně se zvyšující se dosaženou pevností a lze tedy usuzovat na vliv deformační rychlosti. U rychletuhnoucího lepidla GLUEPOX RAPID lze vypořádat pohyb adhezního porušení kolem 50 %. Skokově klesá pouze u zkušebních těles zatěžovaných při konstantní rychlosti deformace 228 mm/min současně s poklesem hodnot smykové

pevnosti. V případě tohoto typu lepidla nedochází k obdobnému trendu vývoje kohezního porušení jako u smykové pevnosti.

Součástí provedených testů bylo také stanovení rychlosti porušení zkušebních těles a jejich závislosti na rychlosti zatěžování (deformace). Výsledky zkoušky jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 5) a v navazujícím grafu (Obrázek 18)

**Tabulka 5** Závislost doby trvání zkoušky od její iniciace až do porušení zkušebního tělesa na rychlosti deformace (Zdroj: vlastní zpracování)

Lepidlo	Rychlost zatěžování [mm/min]						
	57	114	171	228	285	342	400
Doba trvání zkoušky (do porušení) [s]							
A = CHS EPOXY 324	0,87	0,44	0,22	0,16	0,12	0,11	0,11
B = GLUEPOX RAPID	0,54	0,32	0,22	0,14	0,09	0,10	0,07
C = GLUEPOX RAPID F	0,43	0,28	0,14	0,11	0,10	0,11	0,10



**Obrázek 18** Graf znázorňující vliv rychlosti deformace na dobu trvání zkoušky (Zdroj: vlastní zpracování)

Z provedeného vyhodnocení zkoušky lze odvodit přibližný exponenciální průběh poklesu celkové doby potřebné k porušení zkušební tělesa. Výjimkou v tomto trendu je hodnota odpovídající zkušebním tělesům připraveným z epoxidového lepidla GLUEPOX RAPID (lepidlo B) a zatěžovaný rychlostí 114 mm/min. U těchto zkušebních těles se (obdobně jako u stanovené pevnosti) vyskytuje anomálie v podobě rychlejšího porušení, než by odpovídalo průběhu křivky.

## 6.2 Stanovení vlivu rychlosti deformace s ohledem na plochu lepené spáry

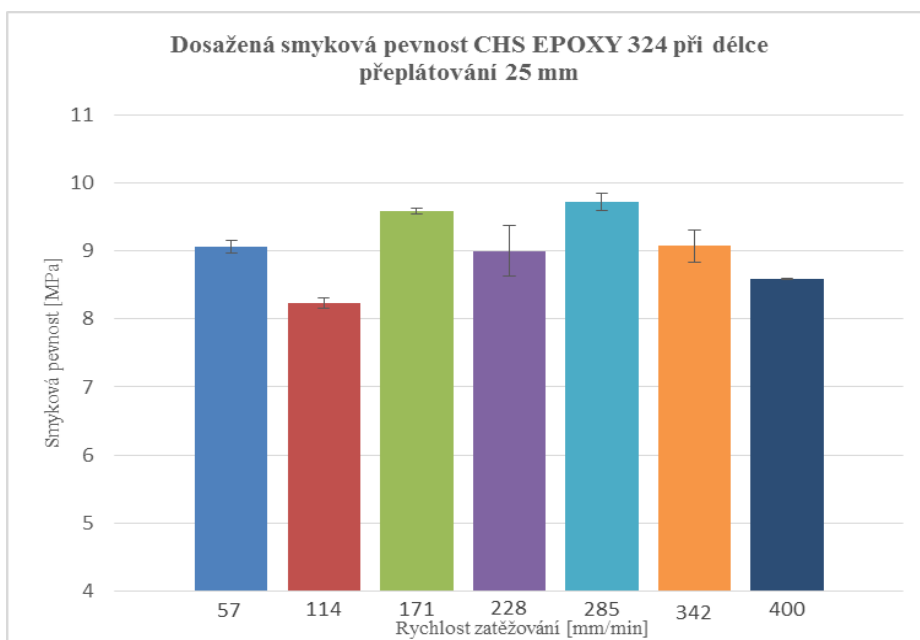
Druhá oblast zkoušek byla zaměřena na srovnání vybraných vlastností, tedy smykové pevnosti a míry adhezního a kohezního porušení, u lepidla CHS EPOXY 324 při délce přeplátování 12,5 mm a 25 mm. Vyhodnocení smykové pevnosti při narůstající konstantní rychlosti deformace a míry adhezního a kohezního porušení zkušebních těles s délkou přeplátování 25 mm a jejich srovnání s výsledky zkušebních těles s délkou přeplátování 12,5 mm je uvedeno v následujících tabulkách (Tabulka 6 a Tabulka 7) a na obrázcích (Obrázek 19, Obrázek 20 a Obrázek 21).

**Tabulka 6** Srovnání dosažených smykových pevností u lepidla CHS EPOXY 324 při přeplátování 12,5 mm a 25 mm při daných rychlostech deformace (*Zdroj: vlastní zpracování*)

Lepidlo	Délka přeplátování	Rychlost zatěžování [mm/min]						
		57	114	171	228	285	342	400
		Pevnost ve smyku [MPa]						
CHS EPOXY 324	12,5 mm	12,54±0,054	12,05±0,126	13,86±0,057	13,44±0,053	12,87±0,034	12,50±0,080	12,14±0,224
	25 mm	9,07±0,095	8,23±0,082	9,59±0,046	9,00±0,369	9,73±0,130	9,08±0,238	8,59±0,001

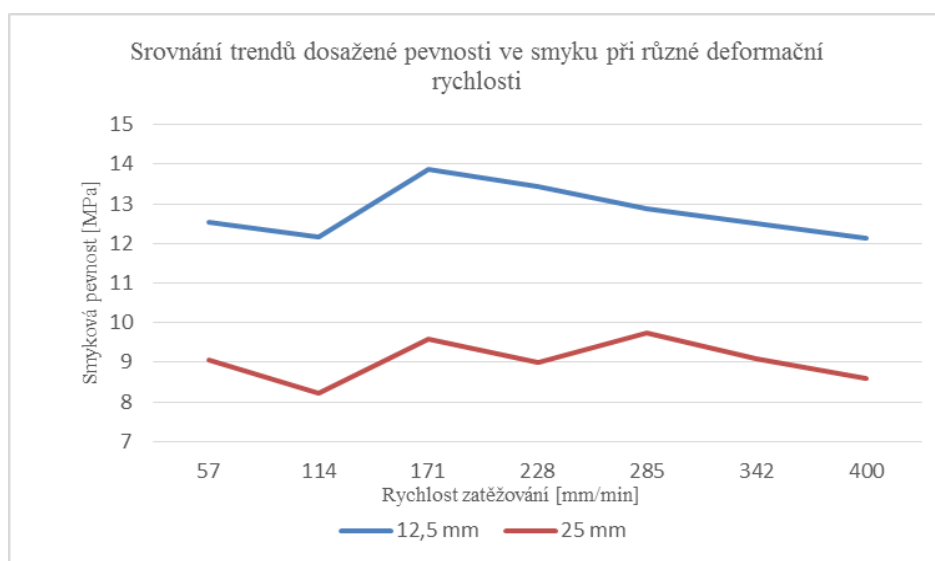
**Tabulka 7** Srovnání adhezního a kohezního porušení u lepidla CHS EPOXY 324 při přeplátování 12,5 mm a 25 mm při daných rychlostech deformace (*Zdroj: vlastní zpracování*)

Lepidlo	Délka přeplátování	Lepidlo	Rychlost zatěžování [mm/min]						
			57	114	171	228	285	342	400
CHS EPOXY 324	12,5 mm	adheze	100%	60%	86%	71%	100%	100%	80%
		koheze	0%	40%	14%	29%	0%	0%	20%
	25 mm	adheze	100%	100%	86%	100%	100%	86%	100%
		koheze	0%	0%	14%	0%	0%	14%	0%

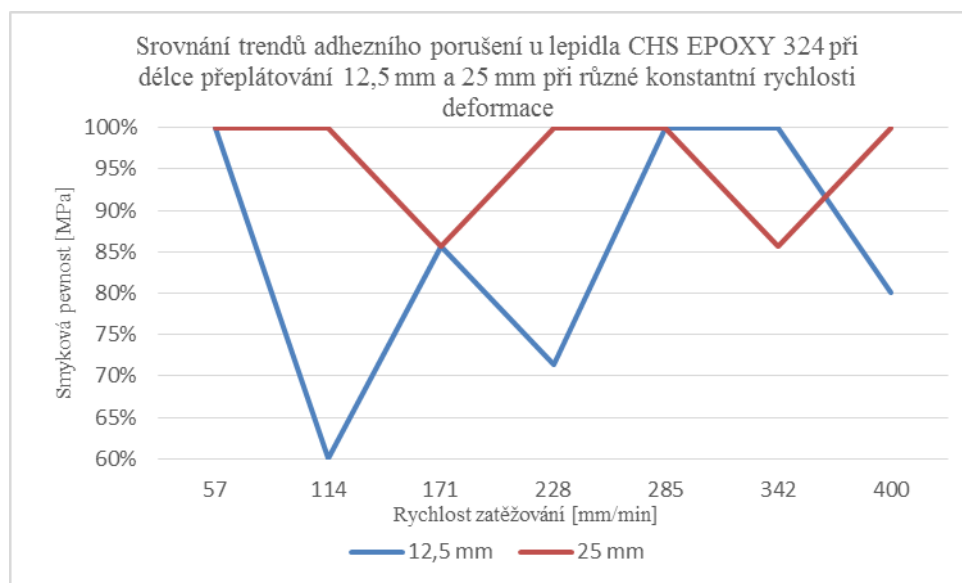


**Obrázek 19** Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla CHS EPOXY 324 při délce přeplátování 25 mm při zvyšující se konstantní rychlosti deformace (Zdroj: vlastní zpracování)

Jak lze odvodit z uvedeného grafu na Obrázku 19, při délce přeplátování 25 mm vykazuje lepený spoj připravený z lepidla CHS EPOXY 324 obdobně vyrovnané hodnoty pro všechny rychlosti deformace. Vývoj hodnot nedosáhl výrazného trendu nárůstu do maxima při rychlosti deformace 171 mm/min jako tomu bylo u zkušebních těles s délkou přeplátování 12,5 mm, i když mírný nárůst je patrný. Srovnání trendů smykové pevnosti a adhezního porušení u zkušebních těles s délkou přeplátování 12,5 mm a 25 mm je uvedeno na následujících obrázcích (Obrázek 20 a Obrázek 21).



**Obrázek 20** Srovnání trendů smykové pevnosti u lepidla CHS EPOXY 324 při délce přeplátování 12,5 mm a 25 mm při zvyšující se konstantní rychlosti deformace (Zdroj: vlastní zpracování)



**Obrázek 21** Srovnání trendů adhezního porušení u lepidla CHS EPOXY 324 při délce přeplátování 12,5 mm a 25 mm při zvyšující se konstantní rychlosti deformace (Zdroj: vlastní zpracování)

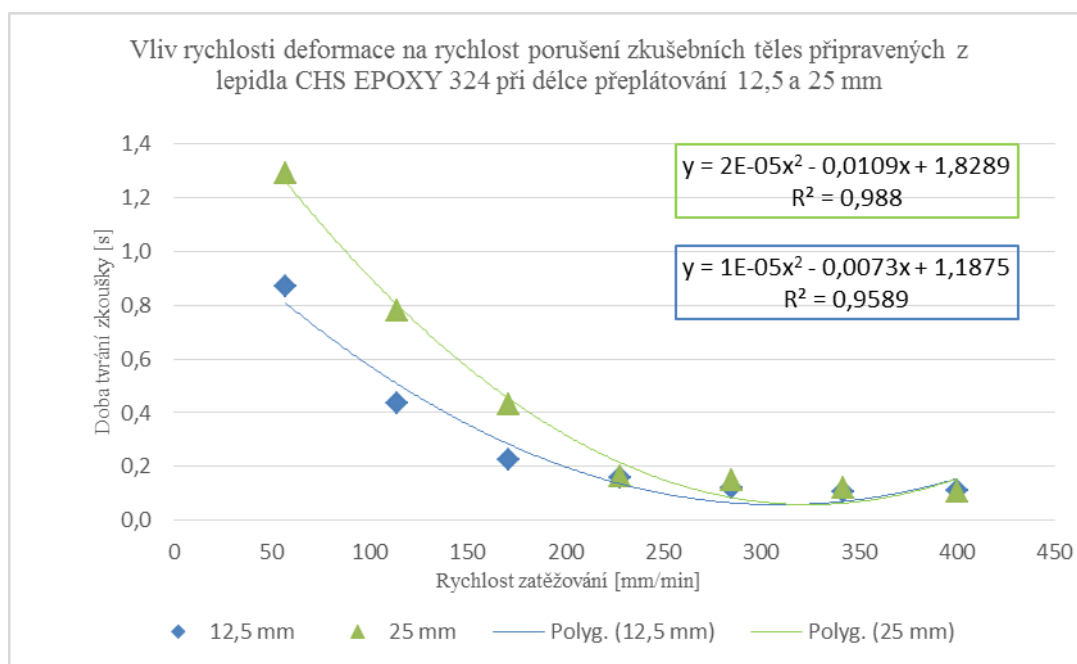
Dosažené hodnoty smykové pevnosti u zkušebních těles připravených z lepidla CHS EPOXY 324 s délkou přeplátování 12,5 mm a 25 mm vykazaly obdobný trend s narůstající konstantní rychlostí deformace. Rozptyl hodnot při dané směrodatné odchylce napříč rychlostmi nebyl veliký. Je však nutné podotknout, že celková pevnost spoje je u všech zkoušených sérií zkušebních těles s přeplátováním délky 25 mm přibližně o 30 % nižší, než je tomu u zkušebních těles s délkou přeplátování 12,5 mm. Tato skutečnost potvrzuje výsledky výzkumu Müllera a kol.<sup>64</sup> a sice, že síla potřebná k porušení zkušebního tělesa je vyšší, ovšem kvůli větší ploše lepené spáry ve výsledku spoj dosahuje nižší pevnosti.

Zkušební tělesa s délkou přeplátování 25 mm byla obecně náchylnější k adheznímu porušení a to u všech typů rychlosti deformace. Nicméně, obdobně jako u zkušebních těles s délkou přeplátování 12,5 mm, se při vyšší dosažené smykové pevnosti spoje zvyšovala rovněž míra kohezního porušení, tedy usmýknutím ve vrstvě lepidla. Kohezní porušení vypovídá o dostatečné přilnavosti adhesiva k adherendu a

<sup>64</sup> MÜLLER, Miroslav, Petr HRABĚ, Milan BROŽEK a Rostislav CHOTĚLBORSKÝ. Influence of lapped length on adhesive bond strength. In: *International Conference on Economic Engineering and Manufacturing Systems Brasov, 25 – 26 October 2007*. Brasov: Rom, 2007, s. 536-539. ISSN 1582 - 0246. Dostupné z: [http://www.recentonline.ro/021/Muller\\_M\\_02b-R21.pdf](http://www.recentonline.ro/021/Muller_M_02b-R21.pdf), s. 538.

představuje maximální pevnost spoje, kterou mu dodává lepidlo.<sup>65</sup> Lze tedy konstatovat, že při adhezním porušení pevnost spoje přenášela především vazebná vrstva a částečně i stabilita adherendu. Tato skutečnost vypovídá o nedostatečném přilnutí adhesiva k adherendu.

Současně s provedenými zkouškami byla také stanovena závislost doby potřebné k porušení zkušebních těles na rychlosti jejich deformace (Obrázek 22). Zatímco průměrná doba porušení zkušebních těles se standardizovanou délkou přeplátování 12,5 mm dosáhla přibližně exponenciálního průběhu, u těles s dvojnásobnou délkou přeplátování došlo k anomáliím při rychlosti deformace 114 mm/min. Tato nepravidelnost odpovídá výkyvu v pevnosti a v kohezním porušení zkušebních těles. Při této rychlosti došlo k plnému přenesení zatížení do lepené spáry, která reagovala viskoelastickou deformací.



**Obrázek 22** Závislost délky doby od iniciace k porušení zkušebních těles při různé délce přeplátování (Zdroj: vlastní zpracování)

<sup>65</sup> VON FRAUNHOFER, J. Anthony. Adhesion and Cohesion. *International Journal of Dentistry* [online]. 2012, **2012**, 1-8 [cit. 2016-03-07]. DOI: 10.1155/2012/951324. ISSN 1687-8728. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/ijd/2012/951324/>

### 6.3 Analýza rozptylu pevností

Vliv rychlosti deformace na pevnost lepeného spoje byl zkoumán také z hlediska statistické významnosti prostřednictvím F-testu. Nulovou hypotézou  $H_0$  byl stav, kdy rychlost deformace nemá významný vliv na pevnost lepeného spoje ( $P > 0,05$ ). V rámci testu byly vzájemně srovnány všechny výsledné hodnoty zkoušených vzorků jak s délkou přeplátování 12,5 mm u všech typů lepidel, tak u vzorků s přeplátováním 25 mm u lepidla CHS EPOXY 324.

Na hladině významnosti 0,05 potvrdilo hypotézu  $H_0$  srovnání výsledných pevností jednotlivých lepidel při délce přeplátování 12,5 mm pouze srovnání lepidla CHS EPOXY 324 a nestékavého lepidla GLUEPOX RAPID F, kde nebyl zaznamenán významný rozdíl ve střední hodnotě a rozptylu.

Statisticky významný byl však rozdíl mezi středními hodnotami a rozptyly obou málo viskózních lepidel i obou lepidel značky GLUEPOX RAPID. Tyto výsledky tedy vyvrací hypotézu, že rychlost deformace nemá signifikantní vliv na pevnost lepeného spoje.

Poslední testovanou dvojicí byla zkušební tělesa vyrobená z lepidla CHS EPOXY 324 při přeplátování 12,5 a 25 mm. F-test těchto dvou lepidel vrátil vysokou hodnotu pravděpodobnosti hypotézy  $H_0$ . Lze tedy konstatovat, že na pevnost spoje stejného typu lepidla při dvojnásobné hodnotě standardizovaného přeplátování rychlost deformace významný vliv nemá.

Stanovené hodnoty parametrů analýzy rozptylu jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 8).

**Tabulka 8** Vyhodnocení analýzy rozptylu stanovené nulové hypotézy (Zdroj: vlastní zpracování)

Typ lepidla	Rychlost zatěžování [mm/min]							Průměr	SD	F-test	Srovnání
	57	114	171	228	285	342	400				
A = CHS EPOXY 324 12,5 mm	12,54	12,17	13,86	13,44	12,87	12,50	12,14	12,79	0,649	0,00570	A a B
B = GLUEPOX RAPID 12,5 mm	10,33	10,25	14,63	14,16	9,35	8,99	9,12	10,98	2,396	0,01584	B a C
C = GLUEPOX RAPID F 12,5 mm	9,12	8,85	9,70	9,09	8,89	9,46	11,11	9,46	0,786	0,64970	A a C
A = CHS EPOXY 324 25 mm	9,07	8,23	9,59	9,00	9,73	9,08	8,59	9,04	0,521	0,61108	přeplátování 12,5 a 25 mm



## 7 Závěr

Výhody lepených spojů v porovnání se spoji šroubovými, jako jsou homogenita a eliminace nutnosti používat spojovací materiál s vůlí výrazně namáhaný na smyk předurčují tento typ spojování pro širokou škálu použití nejenom ve strojírenství, ale i v dalších důležitých průmyslových oblastech. Lepené spoje jsou charakterizovány svými specifickými vlastnostmi a chováním v závislosti na prostředí, v němž jsou užívány, typu zatěžování a v neposlední řadě také na materiálu, který spojují. V tomto ohledu je v souvislosti s navrhováním lepených spojů vždy dbát na výběr typu lepidla optimální požadované pevnosti spoje a třídě prostředí aplikace. Zkoušení lepených spojů je tedy nezbytnou součástí vývoje v oblasti moderních lepidel pro specifické použití.

Hodnocení lepených spojů probíhá vzhledem k jejich širokému využití na základě různých metodických postupů. Metodiky se obvykle dělí do dvou základních skupin – na metodiky stanovující aplikační vlastnosti, které ovlivňují technologie nanášení a vytvrzování, a metodiky zaměřené na stanovení odolnosti různě náročnému prostředí a namáhání. S ohledem na výstupy druhého typu metodik je každé lepidlo zařazeno do určité třídy použitelnosti.

Vliv rychlosti deformace lepeného spoje představuje jeden z velmi důležitých faktorů při rozhodování o uplatnění lepidla. Zejména v náročnějších nebo nepravidelných provozech vždy hrozí riziko náhlého namáhání vysokou šokovou silou. V rámci praktické části byla provedena smyková zkouška tří vybraných typů epoxidových lepidel dle normy ČSN EN 1465 s cílem stanovit vliv rychlosti deformace při této zkoušce na konečnou pevnost zkušebních těles a míru porušení. Z provedených testů byl u všech tří lepidel odvozen v první fázi obdobný průběh – maximální dosažená pevnost se zvyšující se hodnotou konstantní rychlosti deformace vykazuje nejdříve narůstající trend, ten se však při hodnotě rychlosti 171 nebo 228 mm/min mění a prudce klesá. Mezi těmito dvěma hodnotami lze tedy stanovit mezní stav pro deformační rychlost zatěžování. Obdobně porušení pouze u těchto rychlostí vykazuje také kohezní formu, u nižších pevností se vyskytuje převážně adhezní porušení.

V rámci praktické části byla provedena rovněž analýza středních hodnot a rozptylu pevností zkoušených lepidel s cílem ověřit, zda má rychlost deformace významný vliv na pevnost lepeného spoje. Na základě vyhodnocení analýzy bylo potvrzeno, že rychlost deformace má vliv na pevnost lepeného spoje, jsou-li srovnávána obdobná lepidla při stejné délce přeplátování. U lepidel s rozdílnou délkou přeplátování statisticky významný vliv tohoto faktoru na pevnost lepeného spoje potvrzen nebyl.

Kromě posouzení vlivu rychlosti deformace na různé typy epoxidových adhesiv (první bylo standardní, druhé rychletuhnoucí a třetí rychletuhnoucí nestékavé), byl posouzen také faktor stykové plochy lepené spáry. Zatímco u prvního testování byly zkoušky provedeny na standardním zkušebním tělese s přeplátováním délky 12,5 mm, u druhé série testů, bylo provedeno srovnání se zkušebními tělesy s dvojnásobnou plochou přeplátování (délka 25 mm). Přestože zkušební tělesa s větší plochou přeplátování vykázala podobné trendy v nárůstu a poklesu smykových pevností i míry adhezního porušení, konečná pevnost dosáhla pouze přibližně 75 % hodnot zkušebních těles s poloviční plochou přeplátování vlivem větší plochy, na niž zatížení musí působit.

U obou typových zkoušek bylo navíc provedeno posouzení doby potřebné k porušení zkušebních těles v závislosti na narůstající rychlosti deformace, které vykazovalo převážně exponenciální trend.

Z provedených zkoušek a analýz lze tedy odvodit několik klíčových závěrů týkajících se vlivu rychlosti deformace na chování lepeného spoje z epoxidového adhesiva a kovového adherendu, a sice že lepidlo s vyšší viskozitou a tedy i větší tloušťkou vrstvy lepené spáry dosáhne plynulejšího průběhu pevností při různých rychlostech deformace, jelikož při správném provedení spoje přenáší jeho pevnost zejména polymer adhesiva (jak bylo potvrzeno výsledky nestékavého lepidla GLUEPOX RAPID F, které dosáhlo průměrně nejvyšší míry kohezního porušení). Lepidla s nižší viskozitou, u nichž zkušební tělesa disponovala menší tloušťkou vrstvy lepené spáry, měla tendenci více křehnout a i přes vyšší celkovou pevnost neodolala vyšším rychlostem deformace a to i při zvětšené délce přeplátování.

Zlepšení chování lepených spojů zmíněných méně viskózních lepidel by tedy mohlo být dosaženo buď zlepšením vlastností na styku adhesiva adherendu (zvětšením vazebné vrstvy) účinnějším zdrsněním povrchu adherendu a použitím primeru, nebo zvětšením tloušťky lepené spáry buď samotným lepidlem, případně vnesením fáze zvyšující houževnatost polymeru.

## SEZNAM LITERATURY A ZDROJŮ

### Knižní odkazy

ADAMS, ROBERT D. a William C. WAKE. *Structural Adhesive Joints in Engineering*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1984. ISBN 9789401089777.

BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠÍŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 244 s. ISBN 80-7080-579-x.

BROCKMANN, W. *Adhesive bonding: materials, applications and technology*. Weinheim: Wiley-VCH, c2009. ISBN 3527318984

COGNARD, Philippe. *Adhesives and sealants: basic concepts and high tech bonding*. 1st ed. Oxford: Elsevier, 2005, xxii, 492 p. ISBN 9780080445540.

DILLARD, David A. *Advances in structural adhesive bonding*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010. ISBN 9781845694357.

DUNN, David J. *Adhesives and sealants: technology, applications and markets*. Shrewsbury: Rapra Technology Ltd, 2003, 164 p. ISBN 1859573657.

DUNN, David J. *Engineering and structural adhesives*. Shrewsbury, U.K.: Rapra Technology, 2004, 138 p. Report (Rapra Technology Limited), 169.

EBNESAJJAD, Sina. *Adhesives technologies handbook*. Boston, MA: Elsevier, 2014. ISBN 9780323355957.

FISHER, Lawrence W. *Selection of engineering materials and adhesives*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, c2005, xiv, 581 p. Mechanical engineering (Marcel Dekker, Inc.), 155. ISBN 0824740475.

KALPAKJIAN, Serope. *Manufacturing engineering and technology*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, c2006. ISBN 0131489658.

KACHLÍK, Petr. *Vady v lepených spojích, jejich simulace a počítačové modelování: Defects in adhesive joints, their simulation and fem modeling : zkrácená verze Ph.D. Thesis*. [V Brně: Vysoké učení technické], 2008, 28 s. ISBN 978-80-214-3728-9.

KINLOCH, A. J. *Adhesion and Adhesives Science and Technology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1987. ISBN 978-940-1577-649.

MOHAMMAD, Faiz. *Specialty polymers: materials and applications*. New Delhi: I.K. International Pub. House, c2007, xix, 588 p. ISBN 8188237655.

NARAYANAN, R. Ganesh a Uday Shanker DIXIT. *Advances in material joining and forming: 5th International and 26th all India Manufacturing, Technology, Design and Research Conference AIMTDR 2014*. 1. Londýn: Springer, 2015. ISBN 978-81-322-2355-9.

SILVA, Lucas Filipe Martins da. *Testing adhesive joints: best practices*. Weinheim: Wiley-VCH, c2012. ISBN 3527329048.

SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D ADAMS. *Handbook of adhesion technology*. Heidelberg: Springer, c2011, 2 v. ISBN 978-364-2011-702.

SMITH, Edward H. *Mechanical engineer's reference book*. 12. ed., reprinted. Oxford [u.a.]: Butterworth-Heinemann, 1995. ISBN 0750611952.

VINSON, Jack R. *The Behaviour of Shells Composed of Isotropic and Composite materials*. 1. Londýn: Springer, 1993. ISBN 978-90-481-4237-8.

### Odborné články a webové příspěvky

BANEA, M. D., L. F. M. DA SILVA a R. D. S. G. CAMPILHO. The Effect of Adhesive Thickness on the Mechanical Behavior of a Structural Polyurethane Adhesive. *The Journal of Adhesion* [online]. 2014, **91**(5), 331-346 [cit. 2016-03-07]. DOI: 10.1080/00218464.2014.903802. ISSN 0021-8464. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00218464.2014.903802>

MÜLLER, Miroslav. *Influence of loading speed on a change of parameters of adhesive bonds based on cyanoacrylates*. DOI: 10.17221/15/2015-RAE. ISBN 10.17221/15/2015-RAE. Dostupné také z: <http://www.agriculturejournals.cz/web/rae.htm?volume=61>

MÜLLER, Miroslav. Vliv druhu zatížení na pevnost lepeného spoje. *Www.mmspektrum.com* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/vliv-druhu-zatizeni-na-pevnost-lepeneho-spoje>

MÜLLER, Miroslav, Rostislav CHOTĚBORSKÝ, Petr HRABĚ a David HERÁK. Teplota a čas - vliv na pevnost lepených spojů. *Www.mmspektrum.com* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/teplota-a-cas-vliv-na-pevnost-lepenych-spoju.html>

MÜLLER, Miroslav, Petr HRABĚ, Milan BROŽEK a Rostislav CHOTĚBORSKÝ. Influence of lapped length on adhesive bond strength. In: *International Conference on Economic Engineering and Manufacturing Systems Brasov, 25 – 26 October 2007*. Brasov: Rom, 2007, s. 536-539. ISSN 1582 - 0246. Dostupné z: [http://www.recentonline.ro/021/Muller\\_M\\_02b-R21.pdf](http://www.recentonline.ro/021/Muller_M_02b-R21.pdf).

VÁLEK, V. *Vliv prostředí na pevnost lepeného spoje*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 5, pp. 137–148

VON FRAUNHOFER, J. Anthony. Adhesion and Cohesion. *International Journal of Dentistry* [online]. 2012, **2012**, 1-8 [cit. 2016-03-07]. DOI: 10.1155/2012/951324. ISSN 1687-8728. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/ijd/2012/951324/>

ZHAO, H., X. DUAN, M. MA, L. LU, Z. CAI, P. C. WANG a J. D. FICKES. Dynamic characteristics of adhesive bonded high strength steel joints. *Science and Technology of Welding and Joining* [online]. 2010, **15**(6), 486-490 [cit. 2016-02-28]. DOI: 10.1179/136217110X12714217309731. ISSN 1362-1718. Dostupné z: <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/136217110X12714217309731>

#### **Webové odkazy**

Joint Testing. *Www.adhesives.org* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing>

Základy teorie lepení. In: *ABClepidla.cz* [online]. FastCentrik (R): Lear a.s., 2016 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: [http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf)

#### **Technické normy:**

ČSN EN 1465. *Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.10.2009

ČSN EN ISO 291. *Plasty - Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.1.2009

ČSN ISO 10365. *Lepidla. Označení hlavních typů porušení lepeného spoje*. Praha : Český normalizační institut 1995, 1.9.1995.

ČSN EN 13887 *Konstrukční lepidla - Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením*. Praha : Český normalizační institut 2004, 1.3.2004.

#### **Technické a aplikační listy**

Technický a aplikační list lepidla CHS EPOXY 324

Technický list lepidla GLUEPOX RAPID

Technický list lepidla GLUEPOX RAPID F

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1</b> Schéma struktury lepené spáry ( <i>Zdroj: vlastní zpracování dle Silvy</i> ) .....	11
<b>Obrázek 2</b> Schéma struktury lepené spáry při použití primeru ( <i>Zdroj: vlastní zpracování dle Silvy</i> ) .....	12
<b>Obrázek 3</b> Kontaktní úhel (úhel smáčivosti) kapaliny na vodorovném a šikmém povrchu. Povrch adherendu a kapaliny spolu svírají úhel nižší než 90°, smáčivost povrchu je poměrně vysoká. Hystereze v případě naklonění adherendu vysvětluje chování kapaliny při stékání. ( <i>Zdroj: BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, s. 27</i> ) .....	25
<b>Obrázek 4</b> Jednoduše přeplátovaný spoj zkušebního tělesa ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	30
<b>Obrázek 5</b> Schéma provedení (vlevo) a zkušební tělesa (vpravo) pro klínovou zkoušku ( <i>Zdroj: Joint Testing. Www.adhesives.org [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <a href="http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing">http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing</a></i> ) .....	32
<b>Obrázek 6</b> Provedení zkušebního tělesa ro zkoušku odlupčivosti - peel test ( <i>Zdroj: Joint Testing. Www.adhesives.org [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <a href="http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing">http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing</a></i> ) .....	33
<b>Obrázek 7</b> Standardní zkušební těleso dle ČSN EN 1465 ( <i>Zdroj: ČSN EN 1465. Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.10.2009</i> ) .....	35
<b>Obrázek 8</b> Typy porušení lepeného spoje dle ČSN EN 10365 ( <i>Zdroj: ČSN EN 13887 Konstrukční lepidla - Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením. Praha : Český normalizační institut 2004, 1.3.2004.</i> ) .....	37
<b>Obrázek 9</b> Schéma metodiky prováděných zkoušek ( <i>zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	40



<b>Obrázek 10</b> Trhací zařízení LabTest 5,50 ST, vlevo – čelní pohled, vpravo – s upnutým zkušebním tělesem ( <i>Zdroj: vlastní snímky</i> ) .....	43
<b>Obrázek 11</b> Vzhled vzorků při úpravě: vlevo – před a po otryskání, vpravo – po odstranění zbytků abraziva před nanesením lepidla ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	44
<b>Obrázek 12</b> Vytvrzování zkušebních těles při zatížení lepené spáry ocelovým kvádrem ( <i>Zdroj: vlastní snímek</i> ).....	45
<b>Obrázek 13</b> Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla CHS EPOXY 324 při zvyšující se konstantní rychlosti defomace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ).....	47
<b>Obrázek 14</b> Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla GLUEPOX RAPID při zvyšující se konstantní rychlosti defomace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ).....	47
<b>Obrázek 15</b> Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla GLUEPOX RAPID F při zvyšující se konstantní rychlosti defomace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ).....	47
<b>Obrázek 16</b> Srovnání trendů dosažené pevnosti ve smyku při různé deformační rychlosti ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	48
<b>Obrázek 17</b> Srovnání trendů adhezního porušení u vybraných lepidel při dané rychlosti deformace ( <i>zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	50
<b>Obrázek 18</b> Graf znázorňující vliv rychlosti deformace na dobu trvání zkoušky ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	51
<b>Obrázek 19</b> Dosažená průměrná smyková pevnost u lepidla CHS EPOXY 324 při délce přeplátování 25 mm při zvyšující se konstantní rychlosti defomace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	53
<b>Obrázek 20</b> Srovnání trendů smykové pevnosti u lepidla CHS EPOXY 324 při délce přeplátování 12,5 mm a 25 mm při zvyšující se konstantní rychlosti defomace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	53
<b>Obrázek 21</b> Srovnání trendů adhezního porušení u lepidla CHS EPOXY 324 při délce přeplátování 12,5 mm a 25 mm při zvyšující se konstantní rychlosti defomace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	54
<b>Obrázek 22</b> Závislost délky doby od iniciace k porušení zkušebních těles při různé délce přeplátování ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	55

## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1</b> Podmínky standardního prostředí dle ČSN EN 291 ( <i>Zdroj: opraveno dle ČSN EN ISO 291. Plasty - Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009, 1.1.2009</i> ) ....	36
<b>Tabulka 2</b> Vlastnosti epoxidu CHS EPOXY 324 (EPOXY 1200), ( <i>Zdroj: Technický list lepidla</i> ) .....	41
<b>Tabulka 3</b> Pevnost ve smyku zkušebních těles s přeplátováním délky 12,5 mm. ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	46
<b>Tabulka 4</b> Míra adhezního a kohezního porušení u vybraných lepidel dosažená zkušebními tělesy s přeplátováním 12,5 mm při zvyšující se konstantní rychlosti deformace. ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ).....	50
<b>Tabulka 5</b> Závislost doby trvání zkoušky od její iniciace až do porušení zkušebního tělesa na rychlosti deformace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ).....	51
<b>Tabulka 6</b> Srovnání dosažených smykových pevností u lepidla CHS EPOXY 324 při přeplátování 12,5 mm a 25 mm při daných rychlostech deformace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	52
<b>Tabulka 7</b> Srovnání adhezního a kohezního porušení u lepidla CHS EPOXY 324 při přeplátování 12,5 mm a 25 mm při daných rychlostech deformace ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	52
<b>Tabulka 8</b> Vyhodnocení analýzy rozptylu stanovené nulové hypotézy ( <i>Zdroj: vlastní zpracování</i> ) .....	56

## SEZNAM ZKRATEK A JEDNOTEK

### Zkratky

ČSN, EN, ISO = Česká státní norma, Evropská normalizace, norma Mezinárodní organizace pro standardizaci

DGEBA = diglycidil éter bisfenolu A

DIN = Německá státní norma

hm. = hmotnostně

max. = maximálně

obj. = objemově

UV = ultrafialové (záření)

VOC = těkavé organické sloučeniny (Volatile Organic Compounds)

### Jednotky

stupně Celsia	°C
gram	g
gram na centimetr krychlový	g/cm <sup>3</sup>
gram na mol	g.mol <sup>-1</sup>
megapascal	MPa
mikrometry (mikrony)	μm
milimetr za minutu	mm/min
milimetr, milimetr čtvereční	mm, mm <sup>2</sup>
minuta	min
mol na kilogram	mol.kg <sup>-1</sup>
Newton	N

## POJMY

**Abraze** – mechanické rozrušování povrchu materiálu.

**Adherend** – dílec resp. jeho povrch, který je spojován s jiným dílcem (povrchem) prostřednictvím lepidla.

**Adheze** – přilnavost, schopnost jednoho materiálu (zpravidla kapalného) zcela ulpívat na jiném materiálu (zpravidla pevném). Je zapříčiněná přitažlivostí molekul v místě styku obou těchto materiálů.

**Adhezivum (Lepidlo)** – látka, která umožňuje spojování povrchů materiálu prostřednictvím jejich vzájemného přilnutí k mezivrstvě bez nutnosti použití spojovacích prvků.

**Detergent** – látka (chemikálie), jejíž primárním účelem je odstranění nežádoucích nečistot obvykle z předmětu nebo povrchu.

**Elastomer** – polymerní látka typická dobrou tvarovatelností už při malém zatížení a vysokou elasticitou (schopností vrátit se po odtížení do původního tvaru) a tvarovou pamětí.

**Koheze** – soudržnost, schopnost materiálu tvořit souvislou strukturu prostřednictvím vnitřních kohezních sil chemických vazeb.

**Kompozit** – materiál složený ze dvou nebo více materiálů (fází) na principu synergického účinku (spojením fází je dosaženo mnohem lepších vlastností výsledného materiálu, než by bylo dosaženo pouhým součtem vlastností jednotlivých fází). Základní složení kompozitu tvoří pojivo (matrice) a plnivo.

**Kompatibilizer** – přísada používaná pro lepší homogenizaci heterogenních směsí. Jedná se o látku schopnou reagovat se všemi složkami směsi (tvoří určitou mezifázi).

**Kondicionování** – proces, během něž dochází k ustálení vlastností materiálu ve stanovených podmínkách, umožňující eliminovat vliv prostředí na výsledky provedených zkoušek zejména v případě srovnávání vlastností.

**Kríp (deformace)** – tečení, pomalá trvalá deformace, již se těleso přizpůsobuje narůstajícímu zatížení.


**Matrice** – pojivová složka v kompozitních materiálech.

**Odlupčivost** – charakteristická vlastnost vrstvených materiálů. Jedná se o vyjádření síly potřebné k oddělení vrstvy.

- Polymer** – makromolekulární látka, organická sloučenina vznikající polymerací, jejíž struktura je tvořena dlouhými opakujícími se řetězci makromolekul.
- Primer** – vazebná mezivrstva, látka zlepšující adhezi adherendu zlepšením jeho povrchových vlastností, obvykle se jedná o látku reagující s adherendem i lepidlem, která však sama o sobě nemá dostatečné kohezní vlastnosti.
- Reologie** – nauka o chování materiálu při působení napětí. Způsob, jakým spojitá látka reaguje na působení vnějšího napětí, a vznikající deformace jsou popisovány prostřednictvím reologických modelů.
- Resin** – pryskyřice, látka složená z velmi reaktivních monomerů, které polymerují (sít'ují) buď přidáním žádoucí složky, nebo jiného (zpravidla fyzikálního) katalyzátoru.
- Sanace** – proces, při němž dochází k obnově poškozeného předmětu obvykle adekvátní kompenzací nebo výměnou poškozených částí.
- Skelný přechod** – způsobuje výrazné změny vlastností materiálu, je to fáze mezi skelným a kaučukovým stavem.
- Slepenec** – kompozit složený z adhezivní vrstvy a dvou adherendů.
- Smáčivost** – schopnost kapaliny pokrýt povrch pevné látky (rozprostřít se po něm). Je dána povrchovým napětím kapaliny a polaritou povrchu.
- Směrodatná odchylka** – určuje, jak jsou od sebe vzdáleny hodnoty statistického souboru.
- Synergie** – spolupůsobení dvou a více složek, jehož výsledkem je tzv. synergický účinek, tedy vlastnost nebo schopnost, jíž by tyto složky nedosáhl samostatně ani součtem jejich vlastností (schopností).
- Termoplast** – polymerní (makromolekulární) látka vyznačující se typickými vlastnostmi – zejména tvarováním za tepla, jehož je schopná i opakovaně po překročení teploty skelného přechodu.
- Tvrdidlo** – chemická látka, katalyzátor, jejímž přidáním do resinu dvousložkového lepidla dochází k polymeraci a následnému vytvrzování.
- Viskozita** – fyzikální veličin popisující vnitřní napětí v kapalině, čím je toto napětí vyšší, je vyšší i viskozita a snižuje se rychlost stékání kapaliny.
- Vytvrzení lepidla** – stav, při němž je ukončena polymerace lepidla. V této fázi již nenabývá lepená vrstva další pevnosti.

# PŘÍLOHA

## 1. PŘÍLOHA – Technický aplikační list lepidla CHS EPOXY 324

 TECHNICKO-APLIKAČNÍ LIST		PRYSKYŘICE	
<b>CHS-EPOXY 324</b> <b>EPOXY 1200</b>			
• <b>POPIS</b>	Středněmolekulární epoxidová pryskyřice připravená reakcí bisfenolu A s epichlorhydrinem modifikovaná bezřetáťovým změkčovadlem		
• <b>POUŽITÍ</b>	K přípravě lepicích kompozic pro lepení kovů, skla, keramiky, porcelánu, eternitu, výrobků z močovinoformaldehydových pryskyřic a jiných materiálů, dále k přípravě stěrkových hmot a tmelů. Použití kovového prášku jako plniva způsobuje vodivost vytvrzené kompozice. Pryskyřice ani natužená směs před aplikací nesmí být zředována přidávkem jakéhokoliv rozpouštědla či ředidla.		
• <b>VLASTNOSTI</b>	<i>Vzhled:</i> nažloutlá až žlutá čirá silně viskózní kapalina <i>Hustota (20 °C):</i> 1,15 g.cm <sup>-3</sup> <i>Viskozita (25 °C):</i> 20-60 Pa.s <i>Obsah epoxidových skupin (mol.kg<sup>-1</sup>):</i> 3,0-3,4 <i>Epoxidový hm. ekvivalent (g.mol<sup>-1</sup>):</i> 290-330 <i>Celkový obsah chloru (%):</i> max. 0,5 Neobsahuje VOC.		
• <b>PŘÍPRAVA POVRCHU</b>	Povrch musí být suchý, čistý, odmaštěný a zbavený mechanických nečistot (prach po broušení, atd.), nejlépe mírně zdrsňený. Teplota podkladu by měla dosahovat 15-25 °C při max. 80% relativní vlhkosti vzduchu. Nevytvrzenou kompozici lze z povrchu náradí umýt acetonem.		
• <b>TUŽENÍ</b>		poměr hmotností/ poměr objemový	
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdivlo P 11	100 : 7	100 : 8,5
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdivlo T 0492	100 : 16	100 : 19,5
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdivlo T 0503	100 : 30	100 : 34,5
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdivlo AN 2609	100 : 24	100 : 26
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdivlo AN 2712	100 : 30	100 : 34,5
• <b>ZPRACOVÁNÍ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tvrdivlo P 11</b> je rychlé tvrdidlo s kratší dobou zpracovatelnosti. Vyznačuje se <b>dolepem</b> na povrchu po vytvrzení. Dolep lze odstranit omytím vodou nebo 3% roztokem kyseliny citronové. Vytvrzená kompozice zůstává transparentní.  <i>Doba želatinace:</i> 30 – 50 min. při 23 °C (dle připraveného množství)  <i>Nejnižší doporučená teplota zpracování:</i> 15 °C  <i>Vytvrzení:</i> 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C  <i>Plné vytvrzení:</i> 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C                              1-2 dny při 23 ± 5 °C a dotvrzení 3 dny při 50-60 °C (infražáření)                              uzavřené nádoby: po 7 dnech vytvrzování se dotvrzuje při teplotě 23 ± 5 °C naplněním nádoby vlažnou vodou, jejíž teplota se postupně zvýší až na 60 °C a udržuje se 2-3 dny.</li> <li>• <b>Tvrdivlo T 0492</b> snižuje vývin tepla při reakci, proto je vhodné použití tohoto tvrdidla za účelem prodloužení doby želatinace. Vytvrzená kompozice je transparentní a bez dolepu.  <i>Doba želatinace:</i> 1 – 2 hodiny, při 23 °C (dle připraveného množství)  <i>Vytvrzení:</i> 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C  <i>Plné vytvrzení:</i> 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C</li> <li>• <b>Tvrdivlo T 0503</b> snižuje vývin tepla při reakci, proto je vhodné použití tohoto tvrdidla za účelem prodloužení doby želatinace. Použití tvrdidla T 0503 umožňuje natužení a zpracování většího množství pryskyřice najednou.</li> </ul>		

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)

Plzeň: ČS.č.ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)  
 K. Vary: ČSOB.č.ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)

1 / 3

## CHS-EPOXY 324 EPOXY 1200

Vytvrzená kompozice je zabarvená do žluta a bez dolepu.

*Doba želatinace:* 45 - 70 min. při 23 °C (dle připraveného množství)

*Vytvrzení:* 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C

*Plné vytvrzení:* 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **Tvrdidlo AN 2609** je rychlé tvrdidlo vhodné k vytvrzování za snížené teploty (do 5 °C). Vzhledem ke své zvýšené reaktivitě není vhodné pro vytvrzování čistých pryskyřic ve větším množství. Pryskyřici je potřeba vrstvit. Vytvrzená kompozice je transparentní a bez dolepu.

*Doba želatinace:* 25 – 40 minut. při 23 °C (dle připraveného množství)

*Vytvrzení:* 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C

*Plné vytvrzení:* 5 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **Tvrdidlo AN 2712** je rychlé tvrdidlo vhodné k vytvrzování za snížené teploty (do 5 °C). Vzhledem ke své zvýšené reaktivitě není vhodné pro vytvrzování čistých pryskyřic ve větším množství. Pryskyřici je potřeba vrstvit. Vytvrzená kompozice je nažloutlá, čirá a bez dolepu.

*Doba želatinace:* 25 – 40 minut. při 23 °C (dle připraveného množství)

*Vytvrzení:* 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C

*Plné vytvrzení:* 5 dní při teplotě 23 ± 5 °C

### • UPOZORNĚNÍ

**POZOR!** Při aplikaci je třeba zajistit takové teplotní podmínky, aby nedošlo k vysrážení vlhkosti na povrchu natíraného předmětu (rosný bod). Větráním je nutné omezit případný výskyt kyselých plynů a par (např: CO<sub>2</sub>), které reagují s tužidlem a znemožňují dokonalé vytvrzení materiálu.

**POZOR!** Natužením velkého množství pryskyřice dochází k vývinu tepla a tím ke zkrácení doby zpracovatelnosti!

### • UŽITNÉ VLASTNOSTI

<i>Vytvrzený spoj dobře odolává:</i>	30% kyselině sírové a chlorovodíkové 5–10% hydroxidu sodnému 30% hydroxidu amonnému (čpavku) benzinu, oleji
<i>Vytvrzený spoj částečně poškozuji:</i>	voda, alkoholy, aromatické uhlovodíky
<i>Vytvrzený spoj narušují:</i>	aceton, chlorové uhlovodíky
<i>Lineární smrštění (dle ČSN EN 12617-3):</i>	po 24 h /23 °C max. 0,5 % po 120 h /23 °C max. 0,5 %
<i>Přídržnost k podkladu (dle ČSN EN ISO 4624):</i>	6,25 MPa
<i>Vodotěsnost (dle ČSN EN 12390-8):</i>	0 l.m <sup>-2</sup> za 30 minut

### • BALENÍ

Set 110g, set 268 g, set 535 g, set 1,07 kg a set 10,7 kg (v setu s Tvrdidlem P11). Obaly 10 kg, 50 kg, 200 kg. Jiné obaly je možno dohodnout s výrobcem.

### • SKLADOVÁNÍ

24 měsíců od data výroby při skladování v původních uzavřených obalech za teploty 15–25 °C. Nevystavovat přímému slunečnímu záření.

### • BEZPEČNOST

Podrobné údaje týkající se bezpečného zacházení a ochrany zdraví jsou uvedeny v bezpečnostním listu výrobku.

### • DOKUMENTACE

Bezpečnostní list	Stavební-technické osvědčení
Protokol o ověření shody typu výrobku	Prohlášení o shodě

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)

Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodce@dch-sincolor.cz](mailto:prodce@dch-sincolor.cz)

K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)



**CHS-EPOXY 324**  
**EPOXY 1200**

• **ODVOLÁNÍ**

Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktické zkušenostmi. Nicméně, vzhledem k tomu, že výrobek je často používán mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Neručíme za chyby vzniklé špatnou aplikací, použitím jiných ředidel než doporučených, použitím po době skladovatelnosti

---

• **DATUM VYDÁNÍ** 26.10.2006

---

• **DATUM REVIZE** 1.9.2013

---

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)


Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)

K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)

3 / 3



## 2. PŘÍLOHA – Technický aplikační list lepidla GLUEPOX RAPID

 TECHNICKO-APLIKAČNÍ LIST		SPECIÁLNÍ MATERIÁLY						
<b>GLUEPOX RAPID</b> <b>Rychlé univerzální epoxidové lepidlo.</b>								
<b>POPIS</b>	Složka A je nízkomolekulární epoxidová pryskyřice s přidavkem aditiv. Složka B je speciální polyamidické tvrdidlo.							
<b>POUŽITÍ</b>	<p>Dvousložkové epoxidové lepidlo vyznačující se vysokou tekutostí a zvýšenou rychlostí vytvrzování.</p> <p>Kompozici lze použít jako lepidlo nebo jako zalévací hmotu.</p> <p>Používá se pro lepení a zalévání široké škály substrátů, např. kovů, dřeva, betonu, přírodního a umělého kamene a keramiky. Je vhodné pro aplikace ve stavebnictví, například pro lepení a zalévání keramických obkladových materiálů nebo konglomerovaného kamene.</p> <p>Oproti polyesterovým lepidlům vykazuje minimální smrštění. Po vytvrzení se lepený spoj vyznačuje vysokou tužností a houževnatostí.</p>							
<b>VLASTNOSTI</b>	<p><b>Složka A:</b>  <i>Vzhled:</i> nažloutlá viskózní kapalina  <i>Hustota:</i> 1,14 - 1,16 g/cm<sup>3</sup></p> <p><b>Složka B:</b>  <i>Vzhled:</i> světle žlutá kapalina s typickým zápachem po aminech.  <i>Hustota (25 °C):</i> 1,06 g/cm<sup>3</sup>            Neobsahuje VOC.</p>							
<b>PŘÍPRAVA POVRCHU</b>	Povrch musí být suchý, čistý, odmaštěný a zbavený mechanických nečistot (prach po broušení, atd.), nejlépe mírně zdrsňený. Teplota podkladu by měla dosahovat 10–30 °C při max. 50% relativní vlhkosti vzduchu. Nevytvrzenou kompozici lze z povrchu nářadí umýt acetonem.							
<b>TUŽENÍ</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th colspan="2" style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">poměr hmotnostní / poměr objemový</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Gluepox Rapid složka A : složka B</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">100 : 45</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">100 : 50</td> </tr> </tbody> </table>			poměr hmotnostní / poměr objemový		Gluepox Rapid složka A : složka B	100 : 45	100 : 50
	poměr hmotnostní / poměr objemový							
Gluepox Rapid složka A : složka B	100 : 45	100 : 50						
<b>SPOTŘEBA</b>	• 1 kg/m <sup>2</sup> při výšce vrstvy 1 mm							
<b>ZPRACOVÁNÍ</b>	<p>• <b>Příprava směsi:</b>            Složku A dokonale promíchejte se složkou B v předepsaném hmotnostním nebo objemovém poměru. Při míchání pokud možno omezte vmíchávání vzduchu do hmoty.  <b>Nedoporučujeme připravovat větší množství, než které stihnete zpracovat během 6 - 8 minut.</b>  <i>Zpracovatelnost:</i> 6-10 min. při 20 °C (200-50 g)  <i>Nejnižší doporučená teplota zpracování:</i> 10 °C  <i>Vytvrzení:</i> 24 hodin při teplotě 20 °C  <b>Vytvrzený spoj je možno vystavit teplotnímu zatížení do 60 °C.</b>  <b>Pro vyšší rychlost vytvrzování je možno zvýšit tužící poměr složky A a B až 30 °C.</b></p> <p>• <b>Aplikace jako lepidlo:</b>            Lepidlo se aplikuje v tloušťce vrstvy 0,1 – 0,5 mm (tu lze zaručit např. vložení distančních drátků do lepeného spoje). Lepený spoj je vhodné po několika desítkách minut fixovat a zajistit proti posunutí.</p> <p>• <b>Aplikace jako zalévací hmota:</b>            V případě použití výrobku jako zalévací hmoty je třeba brát v úvahu silnou exotermní reakci (vývin tepla) při vytvrzování většího objemu. Při navázce 50 g dosahuje směs po cca 11 minutách maxima s teplotou cca 130 °C.</p>							

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sinicolor.cz](http://www.sinicolor.cz)Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sinicolor.cz](mailto:prodej@dch-sinicolor.cz)K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sinicolor.cz](mailto:info@dch-sinicolor.cz)

1 / 2




## GLUEPOX RAPID

### Rychlé univerzální epoxidové lepidlo.

• <b>UPOZORNĚNÍ</b>	<b>POZOR!</b> Natužením velkého množství tmelu dochází k vývinu tepla a tím ke zkrácení doby zpracovatelnosti!	
• <b>UŽITNÉ VLASTNOSTI</b>	<i>Pevnost ve smyku na hliníku, 23 °C (dle ČSN EN 1465)</i> <i>Smyková pevnost v tahu tuhých adherentů (dle ČSN EN 1465)</i> <i>Přidrženost k podkladu (dle ČSN 73 2577)</i> <i>Mrazuvzdornost – přidrženost k podkladu (dle ČSN 73 2579)</i> <i>Teplota skelného přechodu (dle ISO 11357-5)</i>	6,0 MPa 12,9 MPa ≥ 3,0MPa ≥ 3,0MPa 56 °C
• <b>BALENÍ</b>	Set 1,45 kg. Jiné obaly je možno dohodnout s výrobcem.	
• <b>SKLADOVÁNÍ</b>	12 měsíců od data výroby při skladování v původních uzavřených obalech v krytých suchých skladech za teploty 15 - 25 °C,.	
• <b>BEZPEČNOST</b>	Podrobné údaje týkající se bezpečného zacházení a ochrany zdraví jsou uvedeny v bezpečnostním listu výrobku.	
• <b>DOKUMENTACE</b>	Bezpečnostní list Protokol o zkouškách vydaný Akreditovanou zkušební laboratoří – Mechanická zkušebna, Škoda Výzkum, s.r.o.	
• <b>ODVOLÁNÍ</b>	Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktické zkušenostmi. Nicméně, vzhledem k tomu, že výrobek je často používán mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Neručíme za chyby vzniklé špatnou aplikací, použitím jiných ředidel než doporučených, použitím po době skladovatelnosti	
• <b>DATUM VYDÁNÍ</b>	1.4.2006	
• <b>DATUM REVIZE</b>	4.12.2013	

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)

### 3. PŘÍLOHA – Technický aplikační list lepidla GLUEPOX RAPID F


 TECHNICKO-APLIKAČNÍ LIST		SPECIÁLNÍ MATERIÁLY									
<b>GLUEPOX RAPID F</b> <b>Rychlé nestékové univerzální epoxidové lepidlo.</b>											
• <b>POPIS</b>	Složka A je nízkomolekulární epoxidová pryskyřice s přidavkem aditiv. Složka B je speciální polyamidické tvrdidlo.										
• <b>POUŽITÍ</b>	<p>Dvousložkové epoxidové lepidlo vyznačující se vysokou tekutostí a zvýšenou rychlostí vytvrzování. Konzistence lepidla je speciálně upravena tak, aby byla snížena jeho stékovost ze svislých ploch. Kompozici lze použít jako lepidlo nebo jako tmel.</p> <p>Používá se pro lepení a tmelení široké škály substrátů, např. kovů, dřeva, betonu, přírodního a umělého kamene a keramiky. Je vhodné pro aplikace ve stavebnictví, například pro lepení keramických obkladových materiálů nebo konglomerovaného kamene. Oproti polyesterovým lepidlům vykazuje minimální smrštění. Po vytvrzení se lepený spoj vyznačuje vysokou tažností a houževnatostí.</p> <p>Lepidlo Gluepox Rapid F lze probarvovat pigmentovými pastami Eprotint.</p>										
• <b>VLASTNOSTI</b>	<p><b>Složka A:</b>  <i>Vzhled:</i> bílá tixotropní pasta  <i>Hustota:</i> 1,04 - 1,06 g/cm<sup>3</sup></p> <p><b>Složka B:</b>  <i>Vzhled:</i> žlutá tixotropní pasta s typickým zápachem po aminech.  <i>Hustota (25 °C):</i> 0,92 – 0,94 g/cm<sup>3</sup>            Neobsahuje VOC.</p>										
• <b>PŘÍPRAVA POVRCHU</b>	<p>Povrch musí být suchý, čistý, odmaštěný a zbavený mechanických nečistot (prach po broušení, atd.), nejlépe mírně zdrsňený. Teplota podkladu by měla dosahovat 10–30 °C při max. 50% relativní vlhkosti vzduchu.</p> <p>Nevytvrzenou kompozici lze z povrchu náradí umýt acetonem.</p>										
• <b>TUŽENÍ</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2" style="text-align: center;">poměr hmotnostní / poměr objemový</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">Gluepox Rapid F složka A : složka B</td> <td style="text-align: center;">100 : 45</td> <td style="text-align: center;">100 : 50</td> </tr> </tbody> </table>				poměr hmotnostní / poměr objemový		Gluepox Rapid F složka A : složka B	100 : 45	100 : 50		
	poměr hmotnostní / poměr objemový										
Gluepox Rapid F složka A : složka B	100 : 45	100 : 50									
• <b>SPOTŘEBA</b>	• 1 kg/m <sup>2</sup> při výšce vrstvy 1 mm										
• <b>ZPRACOVÁNÍ</b>	<p>• <b>Příprava směsi:</b>            Složku A dokonale promíchejte se složkou B v předepsaném hmotnostním nebo objemovém poměru. Při míchání pokud možno omezte vmíchávání vzduchu do hmoty.</p> <p><b>Nedoporučujeme připravovat větší množství, než které stihnete zpracovat během 6 - 8 minut.</b></p> <p><i>Zpracovatelnost:</i> 9-10 min. při 20 °C (pro 50 g směsi)  <i>Nejnižší doporučená teplota zpracování:</i> 10 °C  <i>Výtvzení:</i> 24 hodin při teplotě 20 °C</p> <p><b>Vytvrzený spoj je možno vystavit teplotnímu zatížení do 60 °C.</b></p> <p>• <b>Aplikace:</b>            Lepidlo se aplikuje v tloušťce vrstvy 0,5 – 2 mm. Lepený spoj je vhodné po několik desítek minut fixovat a zajistit proti posunutí.</p>										
• <b>UPOZORNĚNÍ</b>	<b>POZOR!</b> Natužením velkého množství tmelu dochází k vývinu tepla a tím ke zkrácení doby zpracovatelnosti!										
• <b>UŽITNÉ VLASTNOSTI</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 70%;"><i>Pevnost ve smyku na duralu, 23 °C (ČSN EN 1465):</i></td> <td style="text-align: right;">16,5 MPa</td> </tr> <tr> <td><i>Pevnost ve smyku na duralu, 60 °C (ČSN EN 1465):</i></td> <td style="text-align: right;">5,3 MPa</td> </tr> <tr> <td><i>Střední odolnost proti odlupování, 23 °C (DIN 53 281):</i></td> <td style="text-align: right;">0,52 N/mm</td> </tr> <tr> <td><i>Střední odolnost proti odlupování, 60 °C (DIN 53 281):</i></td> <td style="text-align: right;">0,67 N/mm</td> </tr> </tbody> </table>			<i>Pevnost ve smyku na duralu, 23 °C (ČSN EN 1465):</i>	16,5 MPa	<i>Pevnost ve smyku na duralu, 60 °C (ČSN EN 1465):</i>	5,3 MPa	<i>Střední odolnost proti odlupování, 23 °C (DIN 53 281):</i>	0,52 N/mm	<i>Střední odolnost proti odlupování, 60 °C (DIN 53 281):</i>	0,67 N/mm
<i>Pevnost ve smyku na duralu, 23 °C (ČSN EN 1465):</i>	16,5 MPa										
<i>Pevnost ve smyku na duralu, 60 °C (ČSN EN 1465):</i>	5,3 MPa										
<i>Střední odolnost proti odlupování, 23 °C (DIN 53 281):</i>	0,52 N/mm										
<i>Střední odolnost proti odlupování, 60 °C (DIN 53 281):</i>	0,67 N/mm										

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)Plzeň: ČS.ř.ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)K. Vary: ČSOB.ř.ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)

**GLUEPOX RAPID F****Rychlé nestékavé univerzální epoxidové lepidlo.**

	<i>Odolnost proti natržení, 23 °C:</i>	2,15 N/mm
	<i>Odolnost proti natržení, 60 °C:</i>	1,94 N/mm
	<i>Teplota skelného přechodu:</i>	59 °C
	<i>Přidržnost k podkladu (ČSN 73 2577):</i>	3,81 MPa *
	<i>Mrazuvzdornost - přidržnost k podkladu po 15 zmrazovacích cyklech (ČSN 73 2579):</i>	3,46 MPa *
	<i>Odolnost náhlým teplotním změnám - přidržnost po 25 cyklech (ČSN 73 2581):</i>	3,84 MPa *
	<i>Zdravotní a hygienická nezávadnost:</i>	kladné hodnocení
	* došlo k porušení podkladu během zkoušky	
<b>• BALENÍ</b>	Set 1,45 kg a set 10 kg. Jiné obaly je možno dohodnout s výrobcem.	
<b>• SKLADOVÁNÍ</b>	12 měsíců od data výroby při skladování v původních uzavřených obalech v krytých suchých skladech za teploty 15 - 25 °C.	
<b>• BEZPEČNOST</b>	Podrobné údaje týkající se bezpečného zacházení a ochrany zdraví jsou uvedeny v bezpečnostním listu výrobku.	
<b>• DOKUMENTACE</b>	Bezpečnostní list Prohlášení o vlastnostech	Protokol o ověření typu výrobku
<b>• ODVOLÁNÍ</b>	Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktické zkušenostmi. Nicméně, vzhledem k tomu, že výrobek je často používán mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Neručíme za chyby vzniklé špatnou aplikací, použitím jiných ředidel než doporučených, použitím po době skladovatelnosti	
<b>• DATUM VYDÁNÍ</b>	1.4.2006	
<b>• DATUM REVIZE</b>	4.12.2013	

Vlastnosti vytvrzeného rychlého nestékavého epoxidového lepidla dle ČSN EN 12004:

 Rok: 2008	Referenční norma: ČSN EN 12004	
	Typ malty nebo lepidla: Zlepšené lepidlo z tvrditelné pryskyřice, typ R 2	
Použití v praxi: Vnitřní a venkovní úprava podlah a stěn		
<b>Seznam charakteristik</b>	<b>Deklarované hodnoty</b>	<b>Zkušební metody</b>
Reakce na oheň	Třída F	ČSN EN ISO 11925-2
Počáteční smyková přidržnost	8,09 MPa (min. 2,0 MPa)	ČSN EN 12003
Smyková přidržnost po ponoření do vody	6,13 MPa (min. 2,0 MPa)	
Smyková přidržnost po tepelném šoku	5,89 MPa (min. 2,0 MPa)	
Doba zavadnutí: tahová přidržnost	3,76 MPa po 30 minutách (min. 0,5 MPa po ne méně než 20 minutách)	ČSN EN 1346

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)