

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
TECHNICKÁ FAKULTA

**Výzkum vlivu úpravy lepeného povrchu na pevnost  
lepeného spoje**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Autor práce: Bc. Karel Císař

PRAHA 2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Karel Císař

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Výzkum vlivu úpravy lepeného povrchu na pevnost lepeného spoje**

Název anglicky

**Research on influence of treatment of adhesive bonded surface on adhesive bond strength**

---

### Cíle práce

Student zpracuje informace o problematice technologie lepení a vyvodí možnosti a limity při současném přihlídnutí ke všem aspektům spojeným s úpravou lepeného povrchu v praxi. Těchto poznatků využije při plánování a následném provedení laboratorních experimentů s důrazem na přínos pro technickou praxi v oblasti aplikace technologie lepení. Na základě vlastních poznatků vysloví tvrzení o mezním stavu v oblasti úpravy lepeného povrchu.

### 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**

Adherent, ekologie, kontaminanty, parametry drsnosti povrchu, úprava povrchu

---

## **Doporučené zdroje informací**

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

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

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

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

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.

Vědecká literatura: 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.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

## **Vedoucí práce**

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

---

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2016

**doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 20. 1. 2016

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2017

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Výzkum vlivu úpravy lepeného povrchu na pevnost lepeného spoje“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 3. 4. 2017

Bc. Karel Císař

## Poděkování

Děkuji doc. Ing. Miroslavovi Müllerovi, Ph.D. za věcné rady a odbornou pomoc při tvorbě diplomové práce.

Děle také děkuji mé rodině za motivaci a podporu nejenom při psaní této práce, ale i během celého studia.

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá vlivem úpravy lepeného povrchu na pevnost lepeného spoje. V teoretické části jsou shrnuty základní pojmy lepení a princip vzniku lepeného spoje. Dále jsou v práci uvedeny mechanické a chemické úpravy povrchu lepeného spoje včetně jejich vlivu na pevnost spoje. Také jsou zmíněny faktory působící na pevnost lepeného spoje, jako jsou konstrukce spoje, drsnost povrchu, vliv prostředí atd.

Praktická část je zaměřena na vliv úpravy povrchu na pevnost spoje, konkrétně úpravu povrchu technologií tryskání. Bylo použito pět druhů tryskacích médií a pro porovnání i mechanicky neupraveného povrchu. Jednoduše přeplátované spoje byly zkoušeny na pevnost ve smyku. Naměřené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny a byl vysloven závěr o vlivu úpravy povrchu lepeného spoje.

**Klíčová slova:** adherent, parametry drsnosti povrchu, úprava povrchu, technologie tryskání

### **Research on influence of treatment of adhesive bonded surface on adhesive bond strength**

**Summary:** The thesis describes the influence of modification on the bonding surface of joint strength. The theoretical part summarizes the basic concepts of bonding and the principle of the glued joints. There are the mechanical and chemical treatment of the surface of the adhesive joint, including their influence on the joint strength. There are also mentioned factors affecting the strength of bonded joints such as joint design, roughness of surface, environmental influence ect.

The practical part is focused on the influence of surface adjustment on joint strength, particularly surface adjustment of blasting. There were used five kinds of blast media for comparing mechanically does not adjust surface. Simple lap joints were tested for shear strength. The measured values were statistically analyzed and it was concluded on the influenced of surface adjustment of the glued joint.

**Key words:** adherent, roughness surface, adjustment of surface, technology of blasting

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl práce a metodika .....	3
2.1	Cíle práce .....	3
2.2	Metodika .....	3
3	Technologie lepení .....	4
3.1	Základní pojmy .....	4
3.1.1	Adheze .....	4
3.1.2	Koheze .....	6
3.1.3	Smáčivost .....	6
3.2	Výhody a nevýhody lepení .....	7
3.3	Úprava povrchu lepeného materiálu .....	8
3.3.1	Mechanické úpravy .....	9
3.3.1.1	Broušení .....	9
3.3.1.2	Tryskání .....	9
3.3.1.3	Kartáčování .....	10
3.3.2	Chemické úpravy povrchu .....	11
3.3.2.1	Odmašťování .....	11
3.3.2.2	Moření .....	12
3.4	Faktory působící na pevnost lepeného spoje .....	13
3.4.1	Konstrukce spoje .....	14
3.4.2	Vliv tloušťky lepené vrstvy .....	15
3.4.3	Vliv teploty .....	16
3.4.4	Vliv prostředí .....	18
3.4.5	Vliv drsnosti .....	20
4	Výzkum vlivu úpravy lepeného povrchu na pevnost lepeného spoje .....	23
4.1	Použité přístroje .....	23
4.1.1	Tabulové nůžky NTC 2500/4 .....	23
4.1.2	Tryskací kabina ITB - 65 .....	24
4.1.3	Univerzální zkušební stroj LabTest 5.50ST .....	25
4.1.4	Elektronový mikroskop Tescan MIRA 3 GMU .....	26
4.2	Použitá lepidla .....	27
4.2.1	2-K-Epoxid-kleber .....	28
4.2.2	UHU PLUS schnellfest .....	29

4.2.3	ALTECO 3-TON Quick epoxy .....	30
4.2.4	CHS-EPOXY 324 (EPOXY 1200) .....	31
4.3	Použité normy .....	32
4.3.1	Norma ČSN EN 1465 .....	32
4.3.2	Norma ČSN ISO 10365 .....	34
4.4	Výroba vzorků .....	36
4.5	Mechanická úprava vzorků .....	36
4.5.1	Granát M80 .....	37
4.5.2	Korund F60 .....	39
4.5.3	Korund F120 .....	40
4.5.4	Karbid křemíku F220 .....	41
4.5.5	Balotina B134 .....	43
4.5.6	Bez mechanické úpravy .....	44
4.6	Chemická úprava vzorků .....	45
4.7	Lepení vzorků .....	46
4.8	Zkouška meze pevnosti ve smyku lepeného spoje .....	47
4.9	Zpracování výsledků .....	49
4.10	Vyhodnocení experimentu .....	51
4.10.1	Lepidlo 2-K-Epoxid-kleber .....	51
4.10.2	Lepidlo UHU PLUS schnellfest .....	52
4.10.3	Lepidlo ALTECO 3-TON Quick epoxy .....	54
4.10.4	Lepidlo CHS-EPOXY 324 (EPOXY 1200) .....	55
4.10.5	Celkové vyhodnocení .....	56
4.10.6	Statistické vyhodnocení .....	58
5	Závěr .....	59
6	Seznam literatury .....	61
7	Seznam obrázků .....	64
8	Seznam tabulek .....	65
9	Seznam grafů .....	65
10	Přílohy	



# 1 Úvod

Technologie lepení stále zaznamenává velký rozmach. Bylo by možné ji tedy považovat za novou techniku spojování. Lepení je ale starší, než kam sahá dokumentovaná historie. Proto počátky lepení můžeme doložit pouze ve formě výrobků. Počátky lepení je třeba hledat již v době kamenné, když pračlověk objevil lepivost některých látek. Březová smola se používala k výrobě věder z březové kůry, k lepení hrotů šípů a harpun apod. [1, 2]

Již v čase faraonů ve starém Egyptě znali výrobu lepidel živočišného původu, stejně jako lepení za tepla. Využívali lepení na spojování papyru, na dýhování nábytku, ale i na balení mumií. Dřevěné rakve zdobily pigmenty, které pojila směs křídly a klišu [1, 2].

Velkým mezníkem ve vývoji technologie lepení byl objev fenolformaldehydové pryskyřice, modifikované polyvinylformalem. Ta umožnila v Británii roku 1943 sériovou výrobu letounu typu DH – 103 Hornet. Jednalo se o letoun z konstrukce dřeva a kovu. Ke snížení množství dřeva bylo použito lepení duralu na překližku. Lepení mělo takový úspěch, že bylo použito i u nástupce tohoto letadla, které již bylo celokovové konstrukce [1, 9].

Lepení v současnosti nalezneme téměř ve všech odvětvích průmyslu, např. automobilovém průmyslu, v kosmické technice, při výrobě lodí, vagonů, v měřicí technice, ve stavebnictví a také ve zdravotnictví. Lepení je třeba považovat za důležitý doplněk tradičních způsobů spojování, ne za jejich výlučnou náhradu. Svařování nenahradí lepení, ale často je vhodné jejich společné použití. např. při svařování karoserie automobilu se lepení používá pro utěsnění místa svaru, aby bylo zabráněno vzniku koroze [9].

Samotná práce je zaměřena na vliv úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje. V teoretické části pojedná o technologii lepení, úpravě povrchu a vlivech působících na lepený spoj. Jsou zde stručně vysvětleny základní principy adheze, koheze a smáčivosti včetně její zkoušky. Mechanické úpravy povrchu spoje jsou popsány stručněji v části broušení a kartáčování. Tryskání povrchu je věnováno více prostoru vzhledem k jeho aplikaci v praktické části práce. Pevnost lepeného spoje ovlivňuje mnoho různých vlivů, od konstrukce a drsnosti povrchu až po teplotu a složení prostředí. Nejčastější z nich jsou zde popsány.

Praktická část byla zaměřena na vliv úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje. Jako úprava povrchu byla vybrána technologie tryskání. Byl zjišťován vliv několika druhů tryskacích médií. Otryskané povrchy byly podrobeny měření drsnosti a zkoumání pod elektronovým mikroskopem, aby mohla být zjištěna co nejpřesnější představa o struktuře povrchu. Vzorky byly podrobeny zkoušce pevnosti ve smyku podle ČSN ISO 10365. Ve vyhodnocení experimentu byly shrnuty všechny poznatky a naměřená data z předchozích kapitol.

## **2 Cíl práce a metodika**

V následujících kapitolách budou stanoveny cíle práce a metodika dosažení těchto cílů řešené práce.

### **2.1 Cíle práce**

Diplomová práce si klade za cíl zpracovat informace o problematice lepení a vyvodit možnosti a limity při současném přihlédnutí ke všem aspektům spojených s úpravou lepeného povrchu v praxi. Těchto poznatků chce využít při plánování a následném provedení laboratorního experimentu s důrazem na přínos pro technickou praxi v oblasti aplikace lepení. Na základě zjištěných poznatků vyvodit tvrzení o mezním stavu v oblasti úpravy lepeného povrchu.

### **2.2 Metodika**

První částí práce je literární rešerše založena na teorii lepení, úpravě povrchu lepeného spoje a vlivech působících na pevnost lepeného spoje. Je zaměřena především na úpravu povrchu tryskáním a vlivy působící na pevnost lepeného spoje, především vliv drsnosti.

Praktická část je zaměřena na experiment, při kterém byl zjišťován vliv úpravy povrchu tryskáním pěti druhů médií na pevnost lepeného spoje. Bylo použito čtyř dvousložkových epoxidových pryskyřic běžně dostupných na našem trhu. Jednoduše přeplátované spoje byly podrobeny zkoušce pevnosti ve smyku při tahovém namáhání. Naměřená data byla uvedena v přílohách a vyhodnocení v závěru této práce.

## **3 Technologie lepení**

Jednou z progresivních technologií spojování materiálu je lepení. Aby lepený spoj plnil svůj účel, je potřeba znát nejen vlastnosti lepidel a jimi lepených materiálů, ale i způsoby jakými bude spoj namáhaný. I přesto, že některými typy lepidel lze lepit širokou škálu materiálů, nelze je proto považovat za univerzální. Pouze použitím vhodného lepidla společně s dodržáním optimální technologie lepení dosáhneme požadovaných vlastností lepeného spoje [4].

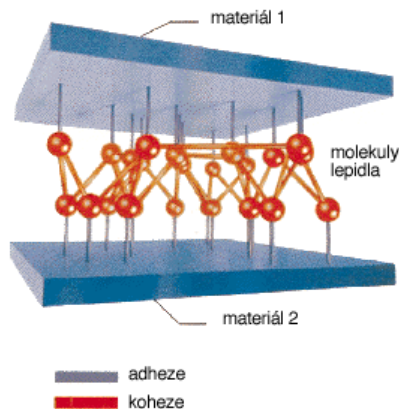
### **3.1 Základní pojmy**

V oblasti lepení se setkáváme s mnoha termíny. Základní a zároveň nejdůležitější z nich budou v této kapitole popsány a vysvětleny.

#### **3.1.1 Adheze**

Českým ekvivalentem adheze je přilnavost. Lze ji definovat jako sílu mezi dvěma kontaktními povrchy lepeného spoje. Nejdůležitější jsou síly Van der Waalsovy, které zahrnují fyzikální síly přitažlivosti a adsorpce. Jestliže se lepidlo nedostane do přímého kontaktu s povrchem lepeného materiálu, je značně omezen vliv těchto mezimolekulárních sil. Proto musí lepidlo dokonale smáčet celý povrch a pronikat do povrchových nerovností. Adheze je znázorněna na Obr. 1 [6, 19].

Obr. 1 Znázornění adheze a koheze



Zdroj: [6]

Na vznik adhezivních sil existují dva teoretické modely vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem:

- mechanická,
- chemická.

Při lepení porézních a členitých povrchů lepidlo zatéká do pórů a prohlubní, kde po jeho zatuhnutí vznikne mechanická vazba mezi povrchem a lepidlem. Mechanická vazba se velmi uplatňuje u lepení savých a porézních materiálů jako jsou papír, dřevo, keramika nebo pěnové plasty. Naopak při lepení hladkých nebo leštěných ploch je mechanická vazba téměř zanedbatelná [5].

Teorie chemické vazby je založena na působení slabých elektrických přitažlivých Van der Waalsových sil mezi molekulami lepidla a lepeného materiálu a přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Z těchto důvodů lze dobře lepit materiály, které mají povrch chemicky upravený nebo reaktivní, aby mohla vzniknout kovalentní vazba za působení chemické reakce mezi lepidlem a povrchem [5].

### 3.1.2 Koheze

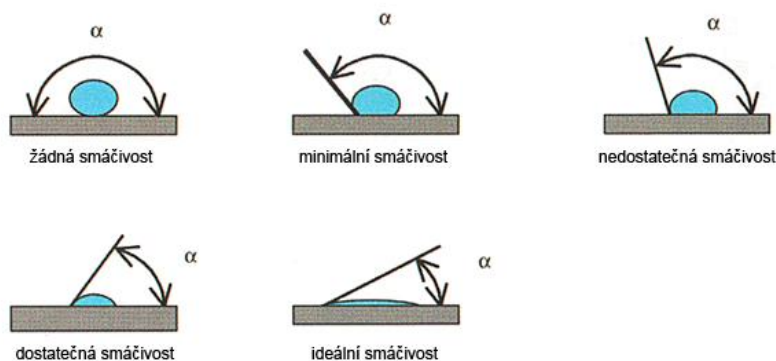
Koheze je pevnost lepidla, neboli souhrn sil, které spojují jeho vlastní částice (viz Obr. 1). Kohezní pevnost se liší dle typu lepidla a tepelného namáhání. Jestliže dojde k poruše lepeného spoje ve vrstvě lepidla, znamená to, že koheze je nižší než samotná adheze nebo soudržnost lepeného materiálu [4, 5].

### 3.1.3 Smáčivost

Jedním z předpokladů adheze je, že má kapalina pevnou látku smáčet, což znamená, že její povrchové napětí musí být menší než povrchové napětí smáčeného povrchu. Ze všech kapalin má nejvyšší povrchové napětí voda, proto z jejího chování na povrchu pevné hmoty lze usuzovat, jak bude povrch smáčen jinými kapalinami a lepidly [7].

Existuje několik způsobů pro určení smáčivosti. Nejběžnější je způsob kapkový, při kterém na zkoušený povrch nanese kapku vody nebo lepidla o určitém průměru. Pomocí optických přístrojů měříme dotkový úhel, který kapka svírá s podložkou (viz Obr. 2). Kapku rovněž lze vyfotografovat a ze zvětšené fotografie úhel odečíst [7].

Obr. 2 Test smáčivosti



Zdroj: [8]

Ani kapková metoda nám nemůže zaručit, že lepený spoj bude ideální. Lepidlo sice může s povrchem adherendu svírat dostatečný úhel, ale během vytvrzování může dojít ke změně struktury a vytvrzený film lepidla ztratí adhezi. Také může dojít k chemické

degradaci adherendu působením lepidla v místě spoje a nastane materiálové porušení v těsné blízkosti spoje [7].

### **3.2 Výhody a nevýhody lepení**

Každá technologie nabízí své výhody, ale současně i nevýhody a limitující faktory, stejně je tomu i u lepení. Při výběru typu spoje je třeba zvážit nejen jeho ekonomické hledisko, ale také technické přednosti a nedostatky lepení v porovnání s tradičními způsoby spojování, jako je např. svařování, pájení, nýtování atd. [9]

#### **Výhody lepení:**

- Lze spojovat stejné (např. ocel – ocel, pryž – pryž) nebo různé (např. ocel – pryž, ocel – sklo) materiály bez ohledu na jejich tloušťku.
- Není narušena celistvost, profil ani vzhled lepeného souboru.
- Možnost připravit spoje vodotěsné, plynotěsné, s elektrickou, zvukovou nebo tepelnou izolací, případně s dobrou elektrickou vodivostí.
- Spoj tlumí vibrace a zvyšuje tuhost.
- Lze uspořit náklady na výrobu lícovaných spojů.
- Lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů.
- Lepení téměř nezvyšuje hmotnost souboru.
- Spoje mohou být průhledné, případně barevně přizpůsobené.
- Dosahuje vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázu.
- Možnost spojovat velké plochy atd. [1, 9]

### **Nevýhody lepení:**

- Vysoké požadavky na čistotu a rovinnost povrchu lepených dílů.
- U adherendů s nevyhovujícími adhezivními vlastnostmi je vyžadována speciální úprava povrchu např. aktivátorem.
- Některá lepidla musí být použita s vytvrzovacími přípravky, nebo u vícesložkových lepidel připravena směs.
- Lepené spoje jsou nerozebíratelné.
- Většina spojů je náchylná na namáhání v odlupování.
- Některá lepidla jsou omezena životností.
- maximální pevnosti spoj dosáhne až po určité době.
- V průmyslovém měřítku je lepení náročnější na vybavení pracoviště (přípravky, nanášecí zařízení, lisy apod.) atd. [1, 9]

### **3.3 Úprava povrchu lepeného materiálu**

Povrchová úprava lepeného povrchu je jednou z rozhodujících operací při lepení. Je-li na povrchu adherendu vrstva, která není pevně spojena s jádrem, nebo je-li na povrchu mastnota, musí se povrch mechanicky nebo chemicky ošetřit. Jinak ani nejlepšími lepidly nedosáhneme kvalitního spoje [1].

Současná lepidla dosahují stále vyšší kohezni pevnosti, což klade vyšší nároky na kvalitu povrchové úpravy před lepením. Cílem povrchové úpravy je dosáhnouti co nejvyšší smáčivosti povrchu vybraným lepidlem. Tím utváříme co nejlepší podmínky pro dotyk lepidla s povrchem adherendu a dosahujeme předpokladů pro vznik adhezivních vazeb. Čím více těchto vazeb vznikne a čím je větší plocha, která se na nich podílí, tím vyšší pevnosti dosáhneme [1, 2].



### **3.3.1 Mechanické úpravy**

Volba způsobu mechanické úpravy povrchu adherendu záleží na vlastnostech lepených částí, např. na tloušťce stěn, tepelné odolnosti a tuhosti materiálu, také na konstrukci spoje a dostupných prostředcích [7].

Mezi základní mechanické úpravy povrchu adherendu patří:

- broušení,
- tryskání,
- kartáčování,
- obrábění,
- ultrazvukové čištění.

#### **3.3.1.1 Broušení**

Při broušení dochází k postupnému úběru materiálu a tím dosáhneme odstranění hrubých nerovností a znečištění na povrchu. Pro broušení se používají brusné pilníky, kotouče, brusné lamelové kotouče, plátna nebo pásy. Brusné nekonečné pásy mají výhodu vyššího ochlazování, než například kotouče a nedochází tolik k přehřívání materiálu [17, 18].

Při broušení povrchu adherendu musíme dodržet určité zásady. Brusné prostředky nesmí adherend hrubě rozedírat, protože hluboké rýhy brání dobré smáčivosti mikropovrchu [7].

#### **3.3.1.2 Tryskání**

Účelem tryskání je očištění povrchu od korozních produktů a vytvoření vhodné drsnosti. Při tryskání jsou na předmět vrhány částice různých materiálů, kterým dodáváme kinetickou energii metacím kolem, stlačeným vzduchem tlakovou vodou nebo kombinací tlaku vzduchu a vody. Podle tvrdosti, tvaru, velikosti, a kinetické energie částice vykoná na daném materiálu odpovídající práci. Ostrá tvrdá zrna dle úhlu dopadu erozivně

opotřebovávají povrch předmětu a odstraňují z něj nečistoty, oxidaci a výsledný povrch je příslušně zdrsněn. Naproti tomu tvrdé a tupé částice povrch neopotřebovávají, ale otloukáním ho očistí a zpevní a výsledný povrch je pokryt malými důlky. Mezi nejpoužívanější materiály patří mletý korund, ocelová drť nebo kuličky a sekaný drát [3, 16].

Podobně jako pro broušení i pro tryskání platí pravidlo o správné volbě zrnitosti, aby nedošlo k tvorbě hlubokých rýh, které brání dobré smáčivosti. Brusné prostředky určené k otryskávání musí být voleny tak, aby velikost frakce byla maximálně 0,5 až 1 mm. Při volbě hrubšího materiálu, např. ocelových broků, dochází spíše k roztloukání povrchu, než k jeho broušení a je porušena jeho soudržnost. Pro otryskávání a ofukování zaprášených povrchů je třeba použít čistý vzduch zbavený oleje. K otryskání ploch určených k lepení jsou vhodné např. přístroje se zpětným odsáváním (viz Obr. 3), které z tryskaného místa automaticky odsávají zbytky abraziva a tryskaného povrchu [7].

Obr. 3 Tryskací pistole s odsáváním prachu



Zdroj: [http://www.dovavanik.cz/eshop/foto/621/621519\\_o\\_0.jpg](http://www.dovavanik.cz/eshop/foto/621/621519_o_0.jpg)

### 3.3.1.3 Kartáčování

Kartáčování je metoda, kterou odstraňujeme z povrchu předmětu rez a jiné ulpělé nečistoty. K čištění a matování ocelových povrchů se používají kartáče z ocelového rovného

nebo vlnitého drátu. Při úpravě neželezných kovů je vhodnější použít kartáče s dráty z jiných materiálů např. mosazi, fosforového bronzu apod. Při kartáčování nedochází téměř k úběru materiálu, dráty kartáče pronikají do prohlubní v povrchu a odstraňují hrubé nečistoty. Obvykle nelze odstranit všechny nečistoty např. korozní zbytky v pórech. Průměr rotačních kartáčů volíme tak, aby obvodová rychlost byla okolo  $14 \text{ ms}^{-1}$ . Při vyšších rychlostech a zejména větším přtlaku se dráty kartáče ohýbají a dochází tak k leštění povrchu [17, 18].

### 3.3.2 Chemické úpravy povrchu

Chemické, případně elektrochemické úpravy slouží k odstranění nečistot z povrchu materiálu. Do těchto úprav patří především:

- odmašťování,
- moření,
- odrezování.

Během různých výrobních a manipulačních procesů mohou ulpět na povrchu materiálu nečistoty, které lze zhruba rozdělit do dvou skupin:

- **Ulpělé nečistoty**, které jsou k povrchu vázány adhezními silami. Mezi ně patří zbytky mastných látek (zbytky olejů, past, emulzí), kovové nečistoty (prach, třísky) a nerozpustné anorganické nečistoty (brusiva, prach z ovzduší). Mezi tyto nečistoty patří převážně mastné látky, proto proces jejich odstraňování nazýváme odmašťování.
- **Vlastní nečistoty**, které jsou vázané ke kovu chemisorpcí a jsou s kovem tedy spojeny určitou chemickou vazbou. Jedná se o tzv. korozní zplodiny (např. okuje, rez apod.). Chemický proces, kterým tyto nečistoty odstraňujeme, nazýváme moření. [17]

#### 3.3.2.1 Odmašťování

Odmašťováním nazýváme odstraňování všech druhů nečistot z povrchu, které jsou k němu vázány fyzikální adsorpcí (látky tukového charakteru) nebo adhezními silami

(anorganické nečistoty, kovové třísky, prach apod.). Cílem odmašťování je uvolnění nečistot z povrchu, převedení do roztoku nebo emulze a následné zabránění jejich zpětnému ulpění na odmašťovaném povrchu [17].

Podle druhu probíhajících postupů a použitých prostředků můžeme odmašťování rozdělit zhruba na tři základní postupy:

- odmašťování v organických rozpouštědlech,
- odmašťování ve vodných alkalických roztocích,
- odmašťování emulzí.

Podle způsobu aplikace nebo styku s rozpouštědly rozlišujeme:

- omašťování ponorem,
- omašťování postřikem,
- omašťování v parách,
- omašťování elektrolytické,
- omašťování ultrazvukem,
- omašťování mechanické a tepelné [17].

### **3.3.2.2 Moření**

Odstraňování korozních produktů z povrchu chemickým nebo elektrochemickým způsobem nazýváme moření. Nejčastěji jsou k tomuto účelu používány kyseliny a kyselé soli, méně často alkalická činidla. Moření se převážně využívá k odstranění okují vzniklých tepelným zpracováním, nebo rzi vzniklé působením atmosféry za běžných podmínek na oceli a litinách [17].

K odstranění okují z ploch po tepelném zpracování se nejčastěji používá moření v kyselině sírové  $H_2SO_4$ . Výhodou kyseliny sírové je její nízká cena, malá spotřeba i nízké exhalace do okolí. Kyselina sírová vniká trhlinami a póry do vrstvy okují a rozpouští převážně oxid železnatý  $FeO$  a kovový povrch. Rozpouštěním spodní vrstvy okují a vznikem vodíku vrchní vrstvy odprýskávají a klesají ke dnu. Nejčastěji se používají lázně

s koncentrací 10 až 20 % kyseliny sírové při teplotách 40 až 70 °C. Dle struktury a tloušťky okují se doba moření pohybuje mezi 10 až 30 minutami. Během provozu ztrácí lázeň svoji účinnost, klesá koncentrace kyseliny sírové a zvyšuje se obsah železa [17].

Další používaná kyselina při moření je kyselina chlorovodíková HCl, která rozpouští oxid železa na chlorid železnatý FeCl<sub>2</sub>. Kyselina chlorovodíková méně napadá kovový povrch než kyselina sírová. Spotřeba kyseliny chlorovodíkové je také mnohem větší. Je to způsobeno tím, že kyselina chlorovodíková rozpouští oxidy železa převážně chemicky, zatímco v kyselině chlorovodíkové zůstává většina nerozpuštěna jako kal. I přesto má však moření kyselinou chlorovodíkovou své výhody, což je jednak vyšší rychlost moření, také ocel je na povrchu méně napadána a je tedy čistší. Nejpoužívanější koncentrace kyseliny chlorovodíkové jsou v rozmezí 10 až 20 %. Horní hranice by neměla být překročena, protože při vyšších koncentracích prudce stoupá exhalace chlorovodíku [17].

### **3.4 Faktory působící na pevnost lepeného spoje**

Pevnost spoje lze definovat jako soubor dílčích pevností nebo složek pevnosti, jako jsou například pevnosti stanovené krátkodobými zkouškami, pevnosti spoje při dlouhodobém statickém nebo dynamickém zatěžování, pevnosti při zvýšené či snížené teplotě, pevnost při vlivu různých prostředí [1].

Nejnámější charakteristika používaná u většiny materiálů je mez pevnosti v tahu. U lepeného spoje tomu tak není. Pevnost kovů je ve srovnání s pevností lepidla několikanásobně vyšší. Abychom dosáhly co nejvyššího využití kovového adherendu, musí být lepená plocha dostatečně velká a zatížení musí působit co nejvíce v rovině lepené plochy, aby byl spoj zatížen převážně smykovým napětím. Z mnoha konstrukčních uspořádání smykově zatížených lepených spojů je nejvíce využíváno jednoduché přeplátování. Z těchto důvodů se jako pevnostní charakteristika u lepeného spoje používá pevnost ve smyku na jednoduše přeplátovaných vzorcích [1].

Na výslednou pevnost lepeného spoje působí mnoho faktorů. Je třeba při výpočtu zohlednit nejen způsob zatížení silou nebo momentem, ale také další vlivy, kterými se běžně při výpočtu jiných typů spojení nezabýváme. Například drsnost lepeného povrchu, tloušťka

vrstvy lepidla nebo pečlivost přípravy povrchu více či méně ovlivňují výslednou pevnost lepeného spoje. Nejenom tvar, ale také velikost lepené plochy ovlivní její pevnost. Již ve fázi návrhu lepeného spoje je důležitým požadavkem správně zvolit konstrukci spoje a optimální lepidlo [11].

### **3.4.1 Konstrukce spoje**

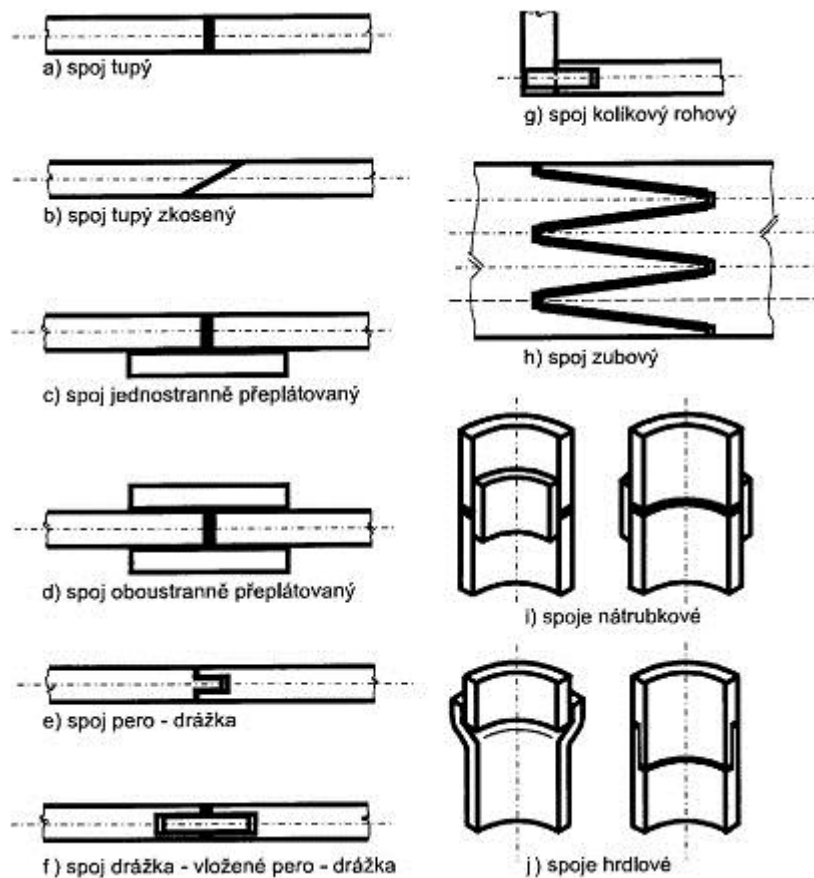
Aby bylo dosaženo požadované pevnosti a spolehlivosti lepeného spoje, je třeba tomu uzpůsobit celou konstrukci spoje. Lepené spoje nejlépe snášejí namáhání ve smyku, případně v tahu nebo tlaku. Většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování, proto konstrukci spoje je třeba věnovat patřičnou pozornost [4].

Základní předpoklady pro konstrukci lepeného spoje jsou:

- Mechanické namáhání musí být rozloženo rovnoměrně v ploše spoje a nesmí docházet k jeho koncentraci v místě spoje.
- Spoj musí být zatěžován převážně namáháním ve smyku a tahu, namáhání v odlupování musí být co nejnižší.
- Lepená plocha musí být dostatečně velká a rovinná, aby napětí ve spoji bylo rovnoměrně rozloženo.
- Teplotní roztažnost lepených materiálů by v místě spoje měla být podobná, ideálně stejná [4].

Při dodržení výše uvedených předpokladů pro návrh lepeného spoje je z hlediska konstrukce velké množství vhodných variant, základní typy jsou uvedeny na Obr. 4. [4]

Obr. 4 Základní typy konstrukčního provedení lepených spojů



Zdroj: [4]

### 3.4.2 Vliv tloušťky lepené vrstvy

Jedním z předpokladů pro vznik požadovaného lepeného spoje je i přiměřeně tlustá a rovnoměrná lepená vrstva. Té dosáhneme optimálním nánosem lepidla dané jakosti a vhodnou technologií nanášení lepidla, fixace lepeného spoje a způsobu vytvrzování. Nános lepidla by měl být v takovém množství, aby tloušťka výsledného ztuhlého filmu byla v rozmezí 0,05 až 0,25 mm. Pro zajištění rovnoměrné vrstvy požadované tloušťky vkládáme do spoje distanční drátky o průměru 0,05 až 0,2 mm. Stejného efektu dosáhneme přimísením 1 až 3 % tříděných korundových zrn do směsi lepidla [7].

Brožek se ve svém experimentu zabýval stanovením vlivu tloušťky lepidla na pevnost lepených spojů namáhaných tahem. Zkoušky byly provedeny podle normy DIN

53288 s použitím sedmi lepidel od sedmi výrobců. Plochy vzorků byly před lepením obroušeny, odmaštěny perchlorylenem a osušeny. Pro zajištění konstantní tloušťky lepidla byly použity distanční drátky o různých průměrech (0,04; 0,10; 0,15; 0,20; a 0,25 mm) vložených do lepeného spoje. Z výsledků experimentu lze sledovat u většiny lepidel růst pevnosti až do jejího maxima při optimální tloušťce vrstvy a poté její pokles. Jedno z lepidel vykazovalo již při nejmenší zkoušené tloušťce (0,04 mm) nejvyšší pevnost a se zvyšující se tloušťkou její klesající tendenci. Z výsledku experimentu je patrné, že nelze obecně stanovit optimální tloušťku lepené vrstvy pro sekundová lepidla. Lze ale stanovit, že při tloušťce vrstvy v rozmezí 0,05 až 0,15 mm bylo dosaženo nejvyšší pevnosti pro většinu z nich. Také se nepotvrdilo, že použití dražších lepidel zaručí vyšší pevnost. Naměřená pevnost lepených spojů namáhaných tahem se pohybovala v rozmezí cca 14 až 28 MPa [11].

Také Naito, Onta a Kogo se ve svých experimentech zabývali vlivem tloušťky lepené vrstvy na pevnost v tahu a ve smyku. Pro experiment použili jednoduše přeplátované a tupé spoje. Autoři nezpozorovali žádné mikropóry v lepidle ani u jednoho ze dvou typů spojů. V závěru své práce konstatovali, že pevnost v tahu tupých spojů klesá s rostoucí tloušťkou lepené vrstvy. U spojů jednoduše přeplátovaných došli k závěru, že pevnost ve smyku je téměř konstantní bez ohledu na tloušťku lepidla [12].

### **3.4.3 Vliv teploty**

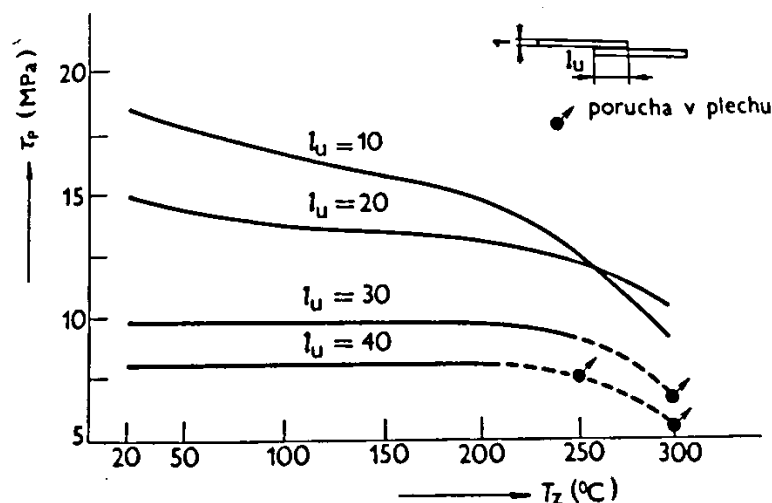
Rozdílné podmínky působící na lepené spoje mohou způsobovat chemické nebo fyzické mechanismy jeho destrukce. Již při krátkodobém zahřátí na 700 až 900 °C podléhá většina lepidel tepelnému rozkladu. Při dlouhodobém působení nižších teplot (100 až 300 °C) probíhá zejména termooxidační destrukce. Při změně teploty může nastat v lepidle fázová přeměna a může se tak měnit jeho struktura. Kromě toho je třeba brát v úvahu tepelné namáhání ve spoji, které vzniká rozdílnými koeficienty tepelné roztažnosti lepeného materiálu a lepidla. Tento faktor může působit na spolehlivost lepených konstrukcí při teplotách pod bodem mrazu, převážně při rychlé změně teploty [13].



Obecné zhodnocení vlivu teploty na lepené spoje nelze provést. Zde budou uvedena aspoň přibližně platná pravidla pro běžná lepidla, která nejsou určena pro spoje do vysokých teplot.

- Od teploty 20 °C do teploty 40 až 50 °C pevnost ve smyku u některých lepidel nejprve stoupá, teprve poté začíná klesat. Většina lepidel má obvykle kritický pokles pevnosti v rozmezí teplot 60 až 110 °C.
- Obvykle zpočátku se stoupající teplotou roste pevnost v odlupování. Naopak pod teplotou 20 °C můžeme zaznamenat její pokles.
- Epoxidová a formaldehydová lepidla mají maximální rázovou pevnost obvykle v rozmezí 20 až 40 °C, lepidla metakrylátová pak při teplotě 80 °C. V rozmezí 20 až – 10 °C dochází u všech lepidel k významnému poklesu rázové pevnosti.
- Rychlost creepu lepených spojů se za zvýšených teplot u nižších hladin zatížení po určité době snižuje.
- Za zvýšených teplot má závislost pevnosti ve smyku na délce přeplátování jiný průběh než za teploty laboratorní. Zatímco pevnost ve smyku u malých délek přeplátování s teplotou klesá, u větších přeplátování tomu tak být nemusí, což naznačuje Obr. 5. [1]

Obr. 5 Vliv zkušební teploty na pevnost spojů při různé délce přeplátování



Zdroj: [1]

Müller a kolektiv se zabývali vlivem teploty a času na pevnost lepených spojů. Experiment prováděli dle normy ČSN 1465 na vzorcích z oceli 11 321 otryskáním umělým korundem. Výsledná drsnost  $R_a$  otryskaných vzorků byla naměřena 3,6  $\mu\text{m}$ . Byla použita dvě epoxidová lepidla, kterými byly vzorky slepeny a vytvrzeny při laboratorní teplotě (23 – 25 °C). Při téže teplotě byla také první série vzorků podrobena zkoušce na trhacím stroji ZDM 5. Tato série vzorků sloužila jako etanol ke stanovení výchozí pevnosti, se kterou byly ostatní série porovnány. Zbylé série byly ponechány po různý časový úsek při zvýšené teplotě 60 °C. Po uplynutí stanoveného času byly vzorky také podrobeny zkoušce dle ČSN EN 1465. Pevnost lepených spojů zjištěná bezprostředně po vytvrzení se značně odlišuje od hodnot, které byly naměřeny na spojích vystavených určitému časovému intervalu působení zvýšené teploty. U obou lepidel byl při zvýšené teplotě patrný pokles pevnosti. Pokles se také lišil mezi lepidly. Zatímco u prvního lepidla došlo k mírnému poklesu pevnosti spoje, u druhého lepidla byl tento pokles velmi značný. Variační koeficient se zvyšující teplotou nabýval vyšších hodnot, od 1,6 do 8,86 % [14].

Z výsledků experimentu lze usuzovat, že zvyšující se teplota prostředí může způsobovat značné rozdíly v pevnosti lepených spojů. Také může ovlivňovat každé lepidlo a každý spoj odlišně. Výsledky ukazují důležitost zjištění konkrétních hodnot u lepidel před jejich využitím za zvýšené teploty. Experiment také ukázal stoupající trend variačního koeficientu, což ukazuje značné odchylky od průměrných hodnot. Takový jev může zapříčinit vznik náhlého poklesu pevnosti spoje, u kterého to neočekáváme. Konstruktor při navrhování spoje, který je vystaven vyšším teplotám, by měl znát tuto klesající tendenci, neboť jak bylo experimentem zjištěno, již po padesáti dnech tepelné expozice dochází k poklesu pevnosti až o 50 % [14].

#### **3.4.4 Vliv prostředí**

Vlivy vlhkosti a jiných médií z okolí můžeme zařadit do skupiny, jejíž hlavní vlastnost je schopnost pronikat do spoje, nejčastěji vrstvou lepidla, a tak rozrušovat vazby ve spoji. Při průniku agresivních látek do spoje nastává zpravidla koroze adherendu, přičemž korozní produkty také negativně působí na adhezivní vazby [2].

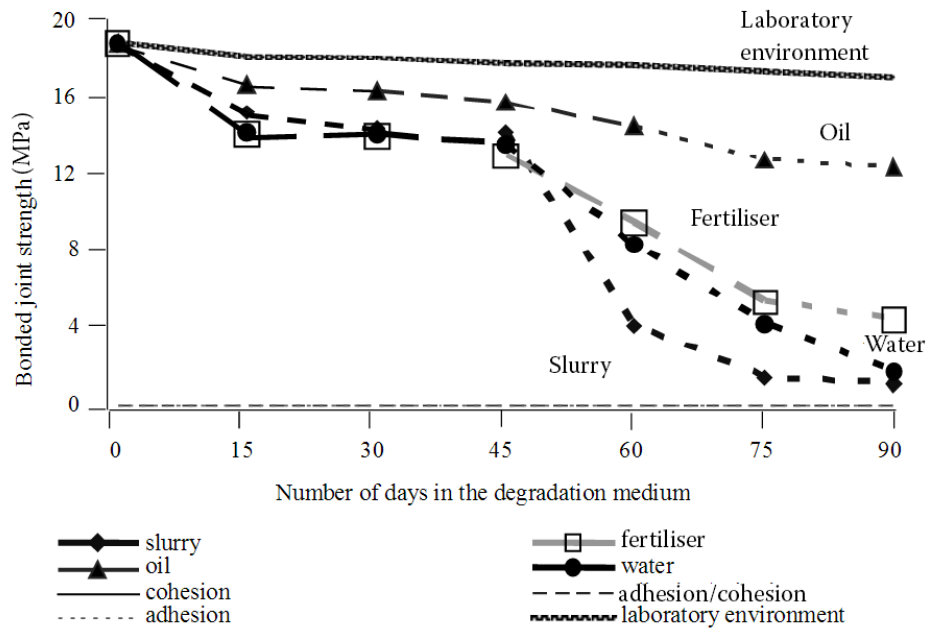
Ponoříme-li lepený spoj do vody, lze považovat její vliv za difuzní proces. Po určité době dojde v lepidle k maximálnímu nasycení a ustavení rovnováhy. Doba, než k tomuto stavu dojde, záleží na poměru plochy a délky obnažené hrany [1].

Působení vody na lepidlo může vést k jeho hydrolýze anebo rozpouštění. Vsakování vody nebo jiných látek do lepidla, nebo jejich vysychání způsobuje vznik napětí. Na druhé straně plastifikace lepidla při navlhnutí způsobuje, že v lepeném spoji začínají probíhat relaxační procesy. Deformace lepených materiálů při změně vlhkosti prostředí se projevuje také na straně lepené vrstvy. Proto napětí vznikající ve spoji při jeho vlhnutí nebo vysušování neustále působí jako dlouhodobé zatížení a způsobuje únavu spoje [13].

Ještě nebezpečnější může být působení proměnlivého navlhování, které většinou probíhá v atmosférických podmínkách. Zbytkové napětí přitom nabývá cyklický charakter, což výrazně urychluje proces destrukce. Na tomto jevu jsou založeny metody zrychleného stárnutí lepených spojů [13].

Vlivem degradace na pevnost lepených spojů u epoxidových pryskyřic se zabývali Müller a kolektiv. Experiment prováděli s několika médii: voda, olej, hnojivo, a kejda. Vzorky byly ponechány 24 hodin k vytvrzení a poté ponořeny do roztoku vody a média. První série vzorků byla podrobena zkoušce pevnosti ve smyku po vytvrzení, další probíhaly v intervalu 15dní. Poslední zkouška byla provedena po devadesáti dnech vzorků v lázni. Jak je patrné z Obr. 6, již po 15dnech došlo k poklesu pevnosti u vzorků ve všech médiích. Další strmý pokles pevnosti byl zaznamenán po 45dnech, po kterých pevnost poklesla u některých vzorků až na nulu. Z výsledku experimentu je zřejmé, že okolní prostředí má na degradaci lepeného spoje značný vliv, a že i krátkodobá expozice spoje nepříznivým vlivům může mít ve výsledku fatální vliv na jeho pevnost. Proto je třeba lepené spoje konstruovat tak, aby těmto vlivům nebyly vystaveny [15].

Obr. 6 Vliv degradačního média na pevnost lepeného spoje



Zdroj: [15]

slurry – kejda, oil – olej, fertiliser – hnojivo, water – voda, laboratory environment – laboratorní prostředí

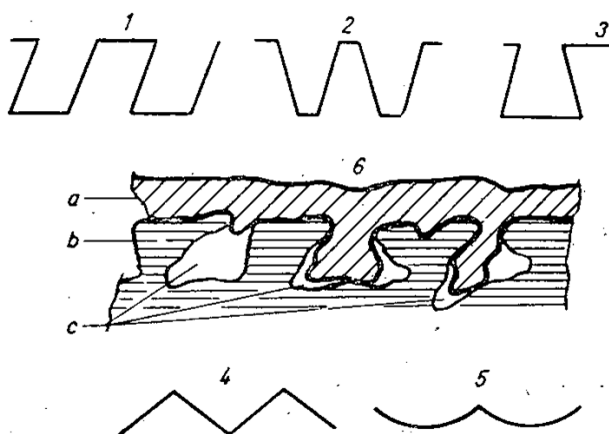
### 3.4.5 Vliv drsnosti

Při dosažení molekulární rovinnosti povrchu dochází k adhezi i bez použití lepidla. Například při přiložení Johansonových měrek k sobě je potřeba k jejich oddálení použití určité síly, i přesto že nebylo použito lepidlo. Z těchto důvodů by se mohlo zdát, že pro lepení není potřeba povrch zdršňovat. Z praktických zkušeností ale tomu tak není, neboť lepené plochy nikdy nedosahují dokonalé hladkosti. I u leštěných ploch jsou stále nerovnosti  $10^{-8}$  až  $10^{-7}$  m. Obecně výhodou zdrsnění lepeného povrchu je jeho zvětšení a z toho odvozená vyšší pevnost. Zároveň ale platí, že ne každé zdrsnění povrchu zvýší pevnost spoje. Rozhodujícím faktorem je zvýšení účinného povrchu, který je smáčen lepidlem, nikoliv mikropovrchu, který tvoří plochu všech nerovností [1].

Míra pokrytí mikropovrchu adherendu záleží na konzistenci lepidla, čistotě povrchu, a tvaru povrchových nerovností. De Bruyne uvádí pět různých typů nerovností (viz .

Obr. 7) jejich tvar a velikost záleží především na přirozené struktuře povrchu (póry), způsobu jeho výroby (válcování, vytlačování) anebo dodatečné povrchové úpravě (broušení, moření, tryskání apod.) [7].

Obr. 7 Tvar nerovností mikropovrchu



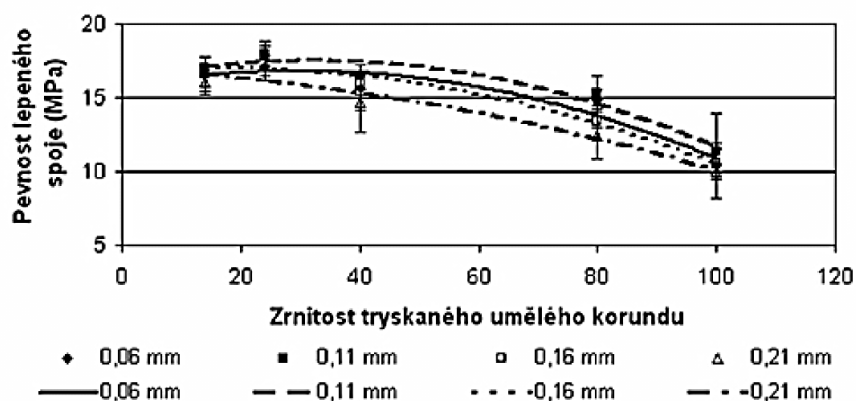
1 – válcová nerovnost, 2 – kónická otevřená nerovnost, 3 – kónická uzavřená nerovnost, 4 – kónická plochá nerovnost, 5 – plochá miskovitá nerovnost, 6 – pronikání lepidla do mikropovrchu, a – lepidlo, b – adherend, c – lepidlem nevyplněné prostory.

Zdroj: [7]

Pro hrubě zdrsňované povrchy je například typická nerovnost typu 1 a 3, které jsou z hlediska smáčení povrchu nevhodné, protože neumožňují, aby byl plyn z nerovnosti vytlačen. Vzduch obsahující vlhkost zůstává v těchto prostorách trvale uzavřen a způsobuje vznik koroze. Plochá kónická nerovnost typu 4 je naopak typická pro piklovaný povrch hliníku. Tento tvar nerovnosti umožňuje při správné viskozitě lepidla vzduch vytlačit, a proto je považován při lepení za vhodný. U leštěných ploch najdeme především plochou miskovitou nerovnost typu 5. Z této nerovnosti se obtížně vymývají zbytky leštících past, a i proto je obtížné u takového povrchu dosáhnout dobré smáčivosti. Pro vznik pevného lepeného spoje jsou tedy nejvhodnější nerovnosti typu 2 a 4, které nalezneme u ploch hladce a ostře opracovaných (frézované, hoblované nebo tryskané) [7].

Müller, Jirka a Chotěborský posuzovali vliv rozdílné velikosti tryskaného korundového zrna na drsnost povrchu vzorků z oceli S235JO a jeho působení na pevnost lepených spojů. Povrch zkušebních vzorků byl upraven otryskáním umělým korundem ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o zrnitostech 14, 24, 40, 80 a 100. Pro vyhodnocení povrchové úpravy byly změřeny dva parametry drsnosti Ra a Rz a vypočten jejich vzájemný poměr (Ra/Rz). Lepené spoje byly podrobeny tahové zkoušce pevnosti ve smyku dle ČSN EN 1465 na univerzálním trhacím stroji. Z výsledků zkoušky na Obr. 8 je patrný vliv nejen odlišné mechanické úpravy povrchu, ale také odlišné tloušťky lepené vrstvy [10].

Obr. 8 Vliv zrnitosti tryskaného umělého korundu na změnu pevnosti lepeného spoje



Zdroj: [10]

Z výsledků experimentu vyšla nejvhodnější úprava umělým korundem o zrnitosti 24, u které bylo dosaženo drsnosti  $Ra\ 4,92 \pm 0,39\ \mu\text{m}$ ,  $Rz\ 29,96 \pm 2,18\ \mu\text{m}$  a  $Ra/Rz\ 0,17 \pm 0,01$ . Zjištěná optimální tloušťka lepené vrstvy byla 0,11 mm. Autoři dále uvádějí, že nelze pouze stanovit nutnost mechanické úpravy lepeného materiálu, ale je důležité definovat její konkrétní podobu [10].

## 4 Výzkum vlivu úpravy lepeného povrchu na pevnost lepeného spoje

Praktická část diplomové práce vychází z teoretické části a poznatků v ní uvedených. Jejím cílem je vyslovení tvrzení o mezním stavu v oblasti úpravy povrchu lepeného spoje s přínosem pro technickou praxi v oblasti aplikace technologie lepení.

### 4.1 Použité přístroje

Při provádění experimentu bylo použito několik přístrojů. Nejvýznamnější z nich jsou zde popsány, aby byly lépe definovány parametry, při kterých bylo dosaženo naměřených výsledků.

#### 4.1.1 Tabulové nůžky NTC 2500/4

Tabulové nůžky (Obr. 9) jsou poháněny motorem o výkonu 5,5 kW. Umožňují stříhání plechů o maximální šířce 2500 mm. Tloušťka plechu může být v rozmezí 0,4 až 4 mm. Maximální počet stříhů je 60 za minutu.

Obr. 9 Tabulové nůžky



Zdroj: autor

#### 4.1.2 Tryskací kabina ITB - 65

Tryskací kabina ITB – 65 (Obr. 10) má vnitřní prostor pro tryskání o rozměrech 650 x 500 x 500 mm, který je osvětlen dvěma zářivkami. Stěny jsou z vnitřní části pogumované pro snížení hlučnosti a prodloužení životnosti. Ke vstupu do kabiny slouží dvojice křídlových dveří na bocích kabiny. Okno kabiny je dvojité. Vnější sklo je pevně zaskleno do gumového těsnění. Vnitřní sklo chrání vnější před abrazivem a je snadno vyměnitelné po otočení čtyř úchytek. K manipulaci uvnitř kabiny slouží dvojice gumových rukavic připojených na průchod pro ruce [20].

Obr. 10 Tryskací kabina ITB - 65



Zdroj: autor

Proces pískování spíná nožní pedál. Tryskací kabina používá injektorový systém, který je vhodný především pro povrchové zušlechťování, matování skla apod. Výkon lze snadno regulovat množstvím přísávaného abraziva. Spektrum použitelných abraziv je velmi široké. Ejektorickým efektem je ze směšovače umístěného na dně kabiny přísáván tryskací prostředek. V pracovní trysce je proudem vzduchu směs urychlována. Po dopadu na otryskávaný předmět se abrazivum odrazí a dopadá na dno kabiny, odkud je opět přísáváno do pistole. Pracovní tryska je zhotovena z karbidu wolframu, aby bylo dosaženo dlouhé



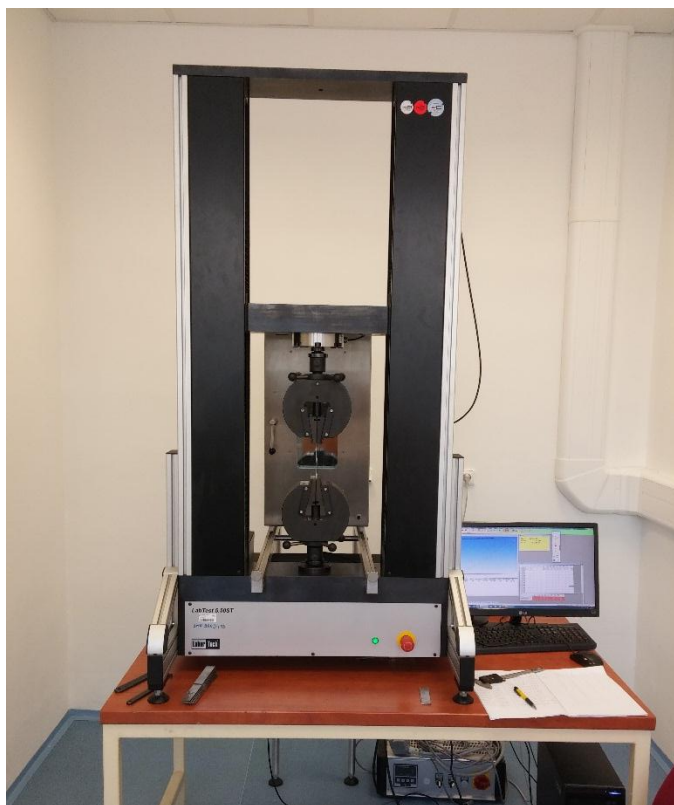
životnosti. Ke kabině je připojen odsavač, který pohlcuje vzniklý prach při tryskání. Před odsavačem je zařazen cyklón, který odlučuje hrubé nečistoty [20].

#### 4.1.3 Univerzální zkušební stroj LabTest 5.50ST

Univerzální zkušební stroj (Obr. 11) je vybaven dvěma pracovními prostory a je určen pro mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu, pro statická a dynamická namáhání. Lze zkoušet jak vzorky, tak celé výrobky. Pro upnutí vzorků pro zkoušku v tahu slouží klínové samosvorné čelisti s maximálním rozevřením 30 mm. Základní technické parametry zkušebního stroje jsou umístěny v

Tab. 1 [21].

Obr. 11 Univerzální zkušební stroj LabTest 5.50ST



Zdroj: autor

Tab. 1 Základní technické parametry LabTest 5.50ST

Maximální zkušební síla	50 kN
Výška pracovního prostoru	1181 mm
Šířka pracovního prostoru	400 mm
Minimální zkušební testovací rychlost	0,001 mm/min
Maximální zkušební testovací rychlost	600 mm/min
Rozlišení polohy příčnicku	1 $\mu\text{m}$
Opakovatelnost změny polohy	2 $\mu\text{m}$
Přesnost řízení rychlosti	+ 0,5 %
Barevná úprava	RAL 9005, elox.
Teplota pracovního prostředí	10–35 °C
Vlhkost pracovního prostředí	20–70 %
Hmotnost zkušebního zařízení	368 kg
Tuhost příčnicku	2,3x10 <sup>-6</sup> N/mm
Možnost řízení stroje v silové a poziční smyčce (FULL STEP)	
Rozměry stroje výška x šířka x hloubka	1683 x 860 x 760 mm

Zdroj: [21]

Zkušební stroj je osazen silovým snímačem KAF – 50 Kn – AST. Zatížení měří v tlaku i tahu v rozsahu 200 až 50 000 N s přesností 0,5 %. Signál je ze snímače přenášen do počítače a zpracováván v programu Test&Motion. Software umožňuje provádět základní zkoušky tahem a tlakem. Z měření vyhodnotí maximální sílu, pevnost v tahu, celkové prodloužení, sílu přerušeni napětí v lomu atd. Vykresluje graf síly v reálném čase. Naměřená data lze statisticky vyhodnotit a exportovat do programů ASCII nebo Microsoft Excel [21].

#### 4.1.4 Elektronový mikroskop Tescan MIRA 3 GMU

Rastrovací elektronový mikroskop MIRA 3 je opatřen Schottkyho autoemisní katodou a je určen pro práci s vysokým i nízkým vakuem. V komoře mikroskopu o šířce 340

mm a výšce 315 mm lze snímat vodivé i nevodivé preparáty ve vysokém rozlišení. Nabízí vynikající elektronově-optické vlastnosti, neblikavý obraz s vysokým jasnem a brilancí. Software pro plné ovládání mikroskopu pracuje v prostředí Windows a mikroskop lze ovládat i dálkově po síti. Nasnímané obrázky lze ukládat do standardních formátů nebo je dále zpracovávat a vyhodnocovat [22].

Obr. 12 Elektronový mikroskop MIRA 3



Zdroj: autor

## 4.2 Použitá lepidla

Experimentu probíhal s použitím čtyř dvousložkových epoxidových lepidel:

- 2-K-Epoxid-kleber,

- UHU PLUS schnellfest,
- ALTECO 3-TON Quick epoxy,
- CHS-EPOXY 324 (EPOXY 1200).

#### 4.2.1 2-K-Epoxid-kleber

Lepidlo 2-K-Epoxid-kleber na Obr. 13 je dvousložkové lepidlo na epoxidové bázi s mísícím poměrem 1:1. Díky své viskozitě snadno zateče do trhlin, prasklin a děr v materiálu. Lze s ním lepit všechny kovy, hliník, nerez oceli, keramiku, beton, sklo, kámen, dřevo a tvrdé plasty. Lepidlo odolává olejům, chemickým látkám, benzínu, naftě, a povětrnostním vlivům. Lepidlo je rychletvrdnoucí a průhledné. Vhodné k lepení nesusoudných materiálů. Nabízí pružnost, výbornou mechanickou pevnost a odolnost proti rázům [23].

Obr. 13 Lepidlo 2-K-Epoxid-kleber



Zdroj: <http://www.tech-lit.cz/admin/upload/ModuleItem/2/168.jpg>

Technické vlastnosti:

- Doba zpracování: 1 – 3 minuty
- Doba vytvrzení: 10 – 15 minut
- 100% pevnost: za 8 hodin
- Pevnost spoje: 0,85 – 110 N/mm<sup>2</sup>
- Teplotní odolnost: -25 až +100 °C [23]

#### 4.2.2 UHU PLUS schnellfest

UHU PLUS schnellfest (Obr. 14) je rychleschnoucí dvousložkové epoxidové lepidlo s mísicím poměrem 1:1. Zajišťuje rychlé, průzračné a pevné spojení. Lepidlo je odolné proti vlhkosti, olejům, rozpouštědlům, ředěným kyselinám a louhům. Nabízí vysokou tepelnou odolnost. Je vhodné pro lepení kovů, dřeva, dřevotřísky, termosetů, tvrdého PVC, laminátů, keramiky, porcelánu, skla, betonu, kamene, gumy, pěnového polystyrenu aj. Umožňuje lepení stejným materiálem, tak i jejich kombinací. Není vhodné pro lepení PP, PE, teflonu a silikonu [24].

Obr. 14 UHU PLUS schnellfest



Zdroj: [24]

Technické vlastnosti:

- Doba zpracování: 5 minut
- Doba vytvrzení: 20 minut
- 100% pevnost: za 72 hodin
- Pevnost spoje: 180 kg/cm<sup>2</sup>
- Teplotní odolnost: -40 až +100 °C [24]

### 4.2.3 ALTECO 3-TON Quick epoxy

Jedná se o takzvaný tekutý kov, což je lepidlo s kovovým plnidlem. Lepidlo je dvousložkové s mísícím poměrem 1:1 objemově. Lepidlo je šedé barvy, obsahuje ocelový prášek, je elektricky nevodivé. Je vhodné pro lepení kovů, dřeva, dřevotřísky, tvrdých plastů, laminátů, keramiky, porcelánu, skla, betonu, kamene, gumy, pěnového polystyrenu aj. a to jak stejných materiálů, tak i jejich kombinací. Není vhodné pro lepení polypropylenu, polyethylenu, teflonu a silikonu [25].

Obr. 15 ALTECO 3-TON Quick epoxy



Zdroj: <https://im9.cz/iR/importprodukt-orig/5af/5af15b422949288875472de2aac9fd60.jpg>

Technické vlastnosti:

- Doba zpracování: 4 minuty
- Doba vytvrzení: 20 minut
- 100% pevnost: za 24 hodin
- Pevnost spoje: 130 kg/cm<sup>2</sup>
- Teplotní odolnost: -20 až +120 °C [25]

#### 4.2.4 CHS-EPOXY 324 (EPOXY 1200)

CHS-EPOXY 324 (Obr. 16) je středněmolekulární epoxidová pryskyřice připravená reakcí bisfenolu A s epichlorhydrinem modifikovaná bezftalátovým změkčovadlem. Slouží k přípravě lepicích kompozic pro lepení kovů, skla, keramiky, porcelánu eternitu, výrobků z močovinoformaldehydových pryskyřic a jiných materiálů, také slouží k přípravě stěrkových hmot a tmelů. Přidáním kovového prášku jako plniva dosáhneme vodivosti vytvrzené kompozice [26].

Obr. 16 Epoxy 324 a tvrdilo P11



Zdroj: [http://www.sincolor.cz/out/pictures/z2/epoxy324\\_1200\\_souprava.jpg](http://www.sincolor.cz/out/pictures/z2/epoxy324_1200_souprava.jpg)

Tvrdidlo P11, se kterým se pryskyřice mísí v hmotnostním poměru 100:7, je rychlé tvrdidlo s kratší dobou zpracovatelnosti. Vyznačuje se dolepem, který způsobuje na povrchu po vytvrzení. Dolep lze odstranit následným omytím vodou nebo 3% roztokem kyseliny citronové [26].

Technické vlastnosti natužené směsi:

- Doba zpracování: 30 - 50 minut
- Doba vytvrzení: 24 hodin
- 100% pevnost: za 7 dní

- Přídržnost k podkladu: 6,25 MPa [26]

### **4.3 Použité normy**

Aby výsledky experimentů mohly být porovnávány mezi sebou, je třeba je vykonávat za určitých podmínek. Tyto podmínky stanovují normy. Dvě hlavní normy použité v této práci jsou:

- ČSN EN 1465 – Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav
- ČSN ISO 10365 – Označení hlavních typů porušení lepeného spoje.

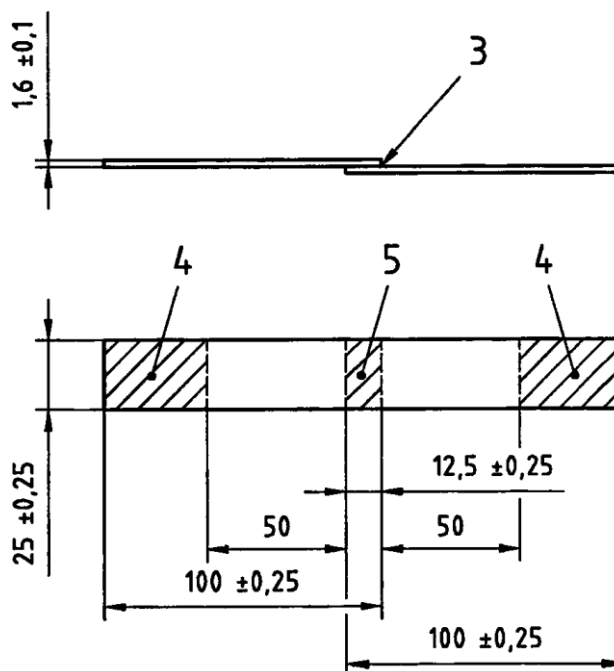
#### **4.3.1 Norma ČSN EN 1465**

Tato norma specifikuje metodu stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav. Zkouška podle této normy se provádí na standardních zkušebních tělesech za stanovených podmínek přípravy a průběhu zkoušení. Pevnost přeplátovaného lepeného spoje ve smyku se určí smykovým namáháním jednoduchého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy. Na ně působí rovnoběžně s plochou spoje a s osou hlavní zkušebního tělesa tahová síla. Napětí nebo síla zjištěná při poruše spoje je výsledkem zkoušky [27].

Zkušební zařízení musí odpovídat zkušebnímu trhacímu stroji třídy 1. Přesnost měření nesmí ovlivnit odezva stroje, proto musí být co nejkratší. Zařízení musí být schopno vyvíjet konstantní rychlost zatěžování. Musí být vybaveno dvojicí samovyrovnávacích čelistí, aby nedošlo ke vzniku ohybového momentu [27].



Obr. 17 Tvar a rozměry zkušebních těles



3 – vrstva lepidla, 4 – plocha pro čelisti zkušebního spoje, 5 – plocha smyku

Zdroj: [27]

Zkušební tělesa, pokud není uvedeno jinak, musí vyhovovat tvarem a rozměry, které jsou uvedeny na Obr. 17. Doporučená délka překlátování je  $12,5 \pm 0,25$  mm. Povrch adherendů musí být řádně upraven podle pokynů výrobce, aby bylo dosaženo optimálního lepeného spoje. Lepidlo se musí nanášet a vytvrzovat podle pokynů výrobce lepidla. Pokud toto není stanoveno, postupuje se tak, aby bylo dosaženo optimálního lepeného spoje s minimálními rozdíly [27].

Postup zkoušky začíná symetrickým umístěním zkušebního tělesa do čelistí. Vzdálenost každé čelisti je  $50 \pm 1$  mm od bližšího konce překlátování. Zkušební stroj se uvede do chodu tak, aby spoj byl zatěžován konstantní rychlostí. K poruše průměrného spoje by mělo dojít za  $65 \pm 20$  s, podle toho zvolíme zatěžovací rychlost. V průběhu zkoušky se zaznamená nejvyšší dosažená síla, která se uvede jako síla potřebná k přetržení příslušného zkušebního tělesa [27].

Výsledky zkoušek všech platných zkušebních těles se vyjádří jako aritmetický průměr a variační koeficient síly při přetržení v newtonech nebo jako napětí při přetržení v megapascalch. Pevnost ve smyku lepeného spoje, v megapascalch, se vypočte jako podíl síly při přetržení, v newtonech, a smykové plochy, v milimetrech čtverečních [27].







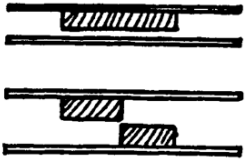
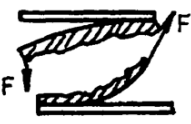
Kritéria v této normě jsou stanovena pro informaci. Nedodržení některého z těchto kritérií neznamená, že není dodržena tato norma [27].

#### **4.3.2 Norma ČSN ISO 10365**

Tato norma stanovuje označení hlavních typů porušení lepeného spoje a ilustruje typy porušení pomocí obrázků. Lze podle ní hodnotit všechny mechanické zkoušky lepených spojů, bez ohledu na vlastnosti adherendu a lepidla tvořících lepený spoj [28].

Označení typu porušení lepeného spoje pomocí této normy se používá pro lepší posouzení výsledku mechanické zkoušky adheze lepeného spoje. Typy porušení se označují v souladu s obrázky uvedenými na Obr. 18. Při objevení více než jednoho typu porušení se za každým typem porušení uvede jeho procentuální vyjádření [28].

Obr. 18 Typy porušení lepeného spoje

	Typy porušení	Označení
Substrát	 Porušení jednoho nebo obou adherendů	SF
	 Porušení jednoho adherendu	CSF
	 Porušení delaminační	DF
Lepidlo	Typy kohezního porušení	
	 Kohezní porušení	CF
	 Speciální kohezní porušení	SCF
		
Lepidlo	 Adhezní porušení	AF
	 Adhezní a kohezní porušení	ACFP

Zdroj: [28]

#### 4.4 Výroba vzorků

Vzorky byly zhotoveny z tabule plechu o rozměrech 1500 x 2000 x 1,5 mm z konstrukční oceli S235J0. Rozměry vzorku byly dodrženy podle normy ČSN EN 1465, která stanovuje šířku vzorku  $25 \pm 0,25$  mm a délku  $100 \pm 0,25$  mm. Pouze tloušťka vzorků byla změněna na 1,5 mm. Stříhání probíhalo pomocí tabulových nůžek NTC 2500/4 charakterizovaných v kapitole 4.1.1, na kterých byl nejdříve nastaven rozměr 25 mm. Po odstříhnutí prvního pásu byla přeměřena šířka a nastavení nůžek bylo upraveno, aby byla dodržena předepsaná tolerance. Po nastříhání několika pásů došlo znova k přeměření a případné kalibraci nastavení šířky. Pásky plechu byly dále stříhány na délku  $100 \pm 0,25$  mm stejným způsobem. Již nastříhané vzorky byly zachytávány v připravené krabici.

#### 4.5 Mechanická úprava vzorků

V teoretické části již byla zmíněna důležitost povrchové úpravy lepeného spoje a vzhledem i k tématu této práce byla úpravě povrchu věnována náležitá pozornost. Existuje několik způsobů úprav povrchu, které jsou vhodné k úpravě povrchu lepeného spoje. Pro praktickou část této práce byla u vzorků zvolena úprava povrchu tryskáním. Bylo zvoleno pět druhů tryskacích médií dle skladových možností a možností tryskací kabiny. Dvě série vzorků byly pro porovnání výsledků ponechány bez mechanické úpravy.

Zvolená tryskací abraziva:

- Granát M80
- Korund F60
- Korund F120
- Karbid křemíku F220
- Balotina B134

Tryskání vzorků probíhalo v tryskací komoře ITB - 65 charakterizované v kapitole 4.1.2. Před každým tryskáním byla kabina důkladně vyčištěna od předchozího abraziva. Tím bylo zajištěno, že nedošlo ke kontaminaci náplně a bylo zaručeno tryskání pouze zvoleným abrazivem. Vzorky byly tryskány ze vzdálenosti 100 mm pod úhlem  $90^\circ$ . Tryskaná byla

pouze jedna strana vzorku do vzdálenosti přibližně 20 mm, aby bylo docíleno, že lepená plocha bude celá otryskaná. Doba potřebná k úpravě jednoho plechu byla přibližně 10 s.

Po mechanické úpravě povrchu vzorků byly měřeny parametry drsnosti povrchu dotykovým profilometrem SurfTest 301. Hodnoty drsnosti povrchu byly měřeny ve dvanácti bodech na každém vzorku. Měřený bod byl dále měřen v pěti dílčích úsecích v celkové dráze 4 mm. Mezní vlnová délka (cut – off) byla nastavena 0,8 mm. Byly hodnoceny dva parametry drsnosti povrchu určené profilovou metodou uvedené v normě ČSN EN ISO 4287:

- Ra – Průměrná aritmetická úchylka měřeného profilu [ $\mu\text{m}$ ].
- Rz – Maximální výška profilu [ $\mu\text{m}$ ].

Struktura povrchu byla také analyzována pomocí elektronového mikroskopu TESCAN MIRA 3 popsaného v kapitole 4.1.4 s cílem zjistit co nejpřesnější představu o vytvořené struktuře mikropovrchu. Mikroskop byl nastaven během všech snímků na urychlovací napětí (HV) 5,0 kV.

#### 4.5.1 Granát M80

Obr. 19 Granát M80

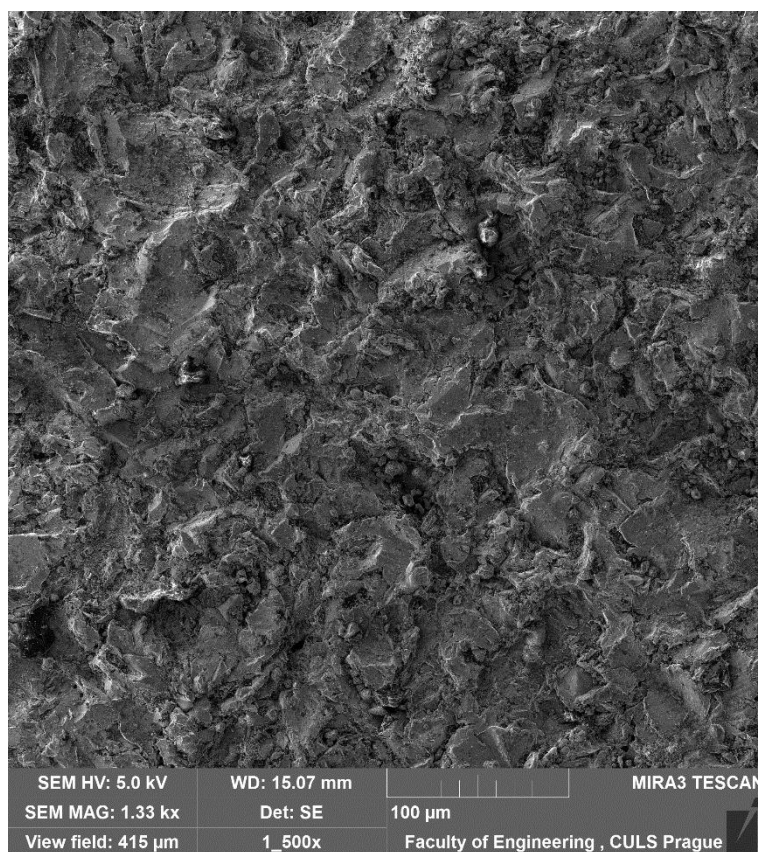


Zdroj: autor

Přírodní granát (Obr. 19) je charakteristický svou tvrdostí (7,5 – 8 Mohsovy stupnice tvrdosti) a pevností, velmi nízkou drobivostí a vysokou relativní hmotností. Částečně ostrohranná struktura krystalů a zmíněné vlastnosti zajišťují relativně bezprašný proces tryskání. Díky vysoké pevnosti a nízké drobivosti lze granát několikrát opakovaně použít [29].

Povrch vzorku tryskaný granátem M80 zvětšený 500x je vidět na Obr. 20. Označení M80 odpovídá frakci o velikosti 150 – 255  $\mu\text{m}$ . Ze struktury povrchu je patrné erozivní působení zrn abraziva na povrch. Naměřené parametry drsnosti jsou  $R_a = 2,54 \pm 0,20 \mu\text{m}$  a  $R_z = 15,86 \pm 1,39 \mu\text{m}$ .

Obr. 20 Povrch tryskaný granátem M80



Zdroj: autor

#### 4.5.2 Korund F60

Umělý hnědý korund na Obr. 21 je vyráběn z kusoviny, získané z blokových pecí, při kontrolované tavbě bauxitu o teplotě cca 1800 °C a pomalém ochlazování. Dobře rostlé krystaly dávají tomuto materiálu houževnatost a pevnost. Umělý korund je velice tvrdé (9 stupňů Mohsovy stupnice tvrdosti) ostrohranné abrazivo, vhodné pro tryskání nebo broušení [30].

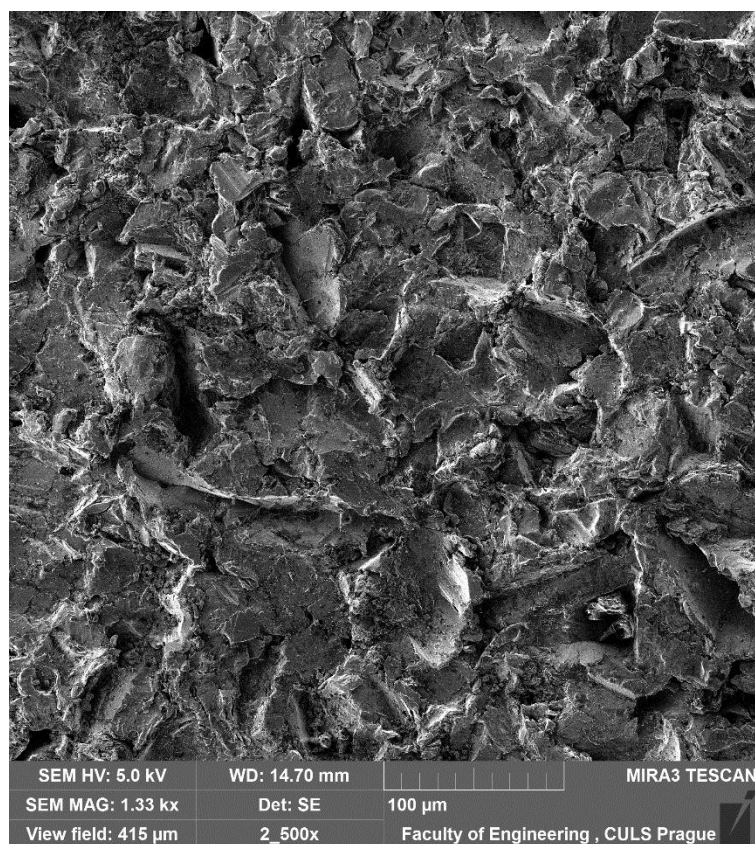
Obr. 21 Korund F60



Zdroj: autor

Z Obr. 21 je patrné, že Korund F60 má výrazně ostřejší zrna než granát. Velikost zrn korundu F60 je 250 – 300 µm. Výsledek působení ostřejších zrn je znát na Obr. 22, kde struktura povrchu je výrazně rozrušenější, než tomu bylo při tryskání granátem. Také výsledné drsnosti povrchu jsou vyšší ( $R_a = 3,22 \pm 0,24 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 20,11 \pm 1,69 \mu\text{m}$ ).

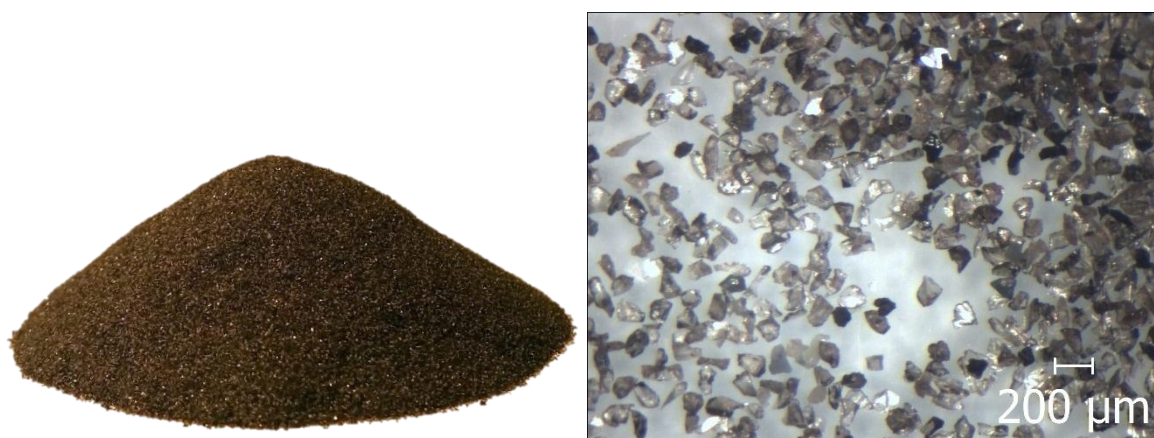
Obr. 22 Povrch tryskaný korundem F60



Zdroj: autor

### 4.5.3 Korund F120

Obr. 23 Korund F120

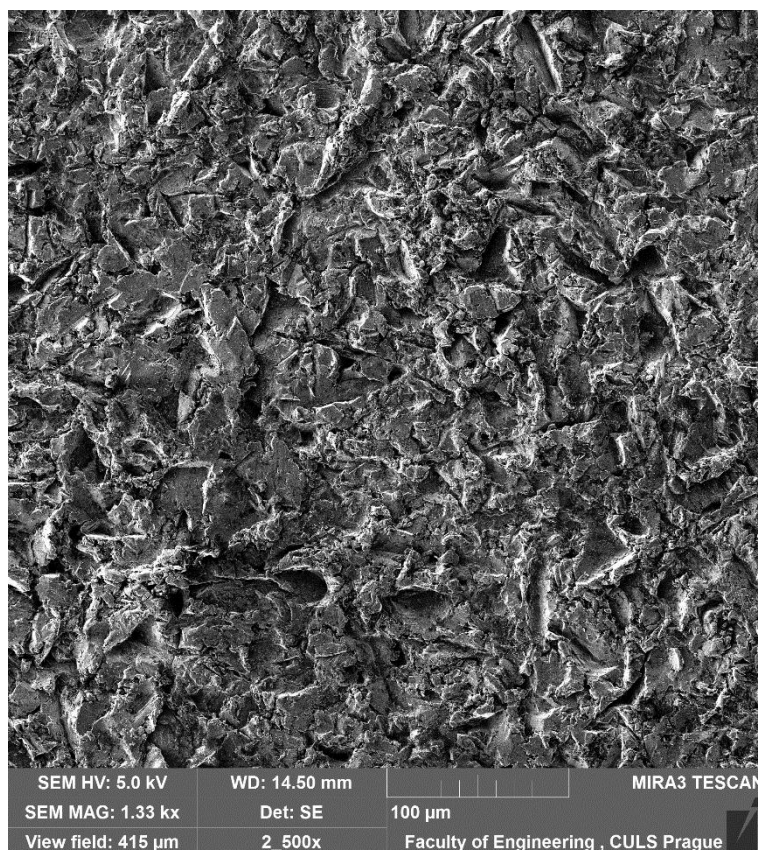


Zdroj: autor



Umělý korun F120 na Obr. 23 se liší od předchozího pouze ve velikosti frakce (103 – 125  $\mu\text{m}$ ). Struktura povrchu na Obr. 24 je také podobná povrchu po tryskání korundem F60. Nejvíce patrné jsou menší prohlubně, které jsou způsobeny jemnější frakcí. Větší rovinnost potvrdilo také měření drsnosti ( $R_a = 1,61 \pm 0,16 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 10,44 \pm 1,13 \mu\text{m}$ ).

Obr. 24 Povrch tryskaný korundem F120

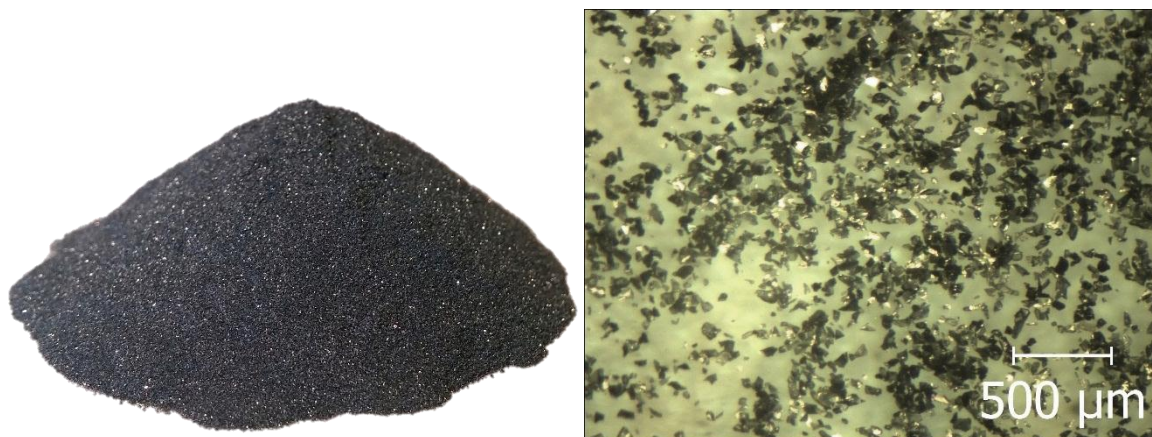


Zdroj: autor

#### 4.5.4 Karbid křemíku F220

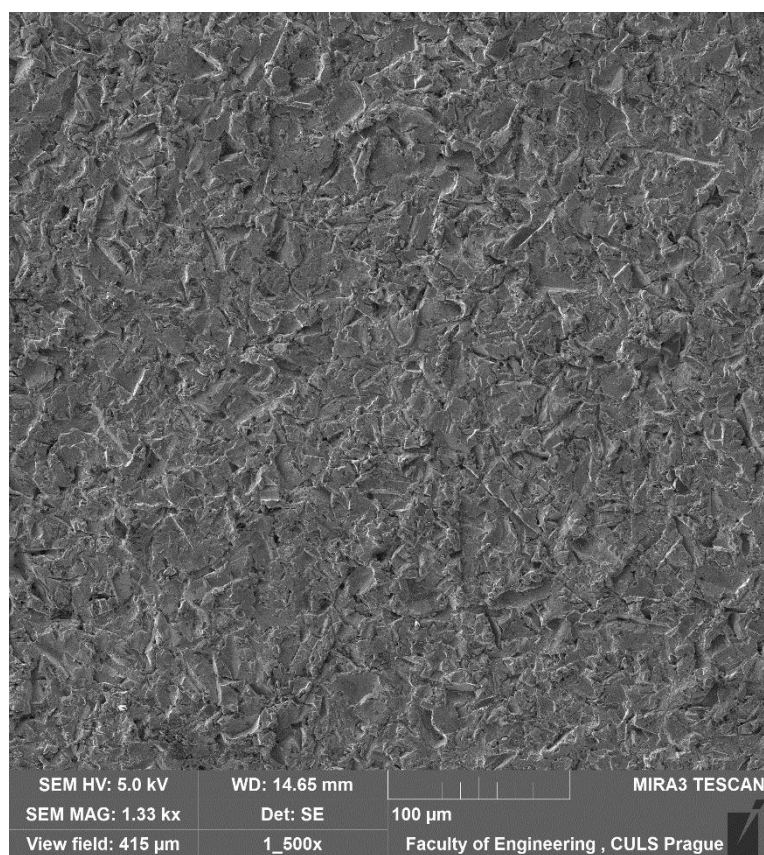
Výroba karbidu křemíku (Obr. 25) probíhá tavbou křemičitého písku a petrolejového koksu při teplotě na 2400  $^{\circ}\text{C}$  za přítomnosti vybraných přísad. V hrubém stavu se poté vyjímá z pece ve velkých kusech, které se nejprve drtí, poté čistí a nakonec třídí podle velikosti zrna. Karbid křemíku je abrazivní materiál vysoké kvality o tvrdosti přibližně 9,4 stupňů Mohsovy stupnice tvrdosti [31].

Obr. 25 Karbid křemíku F220



Zdroj: autor

Obr. 26 Povrch tryskaný karbidem křemíku F220

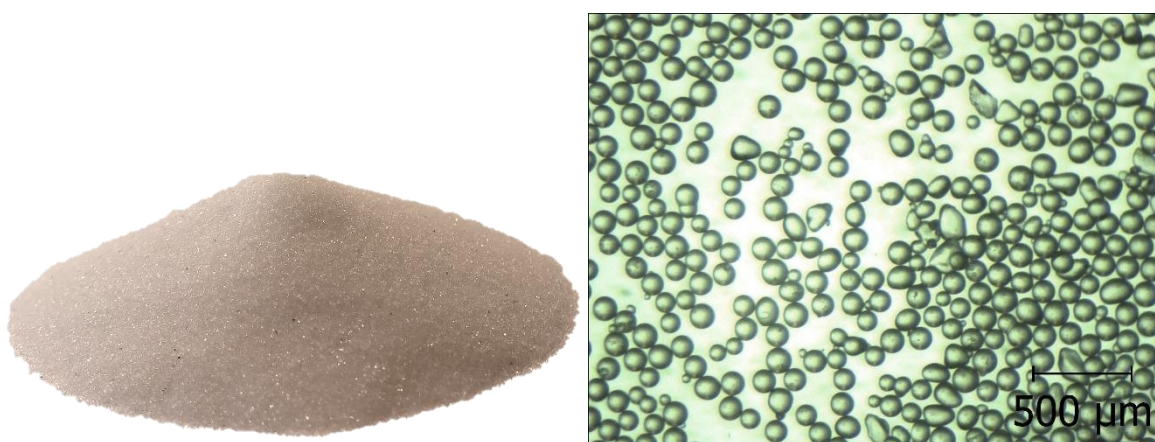


Zdroj: autor

Karbid křemíku F220 má velikost frakce pouze 63 – 75  $\mu\text{m}$ . Proto také na tryskaném povrchu není na pohled znát zdrsnění, pouze tryskané místo vypadá matnější. Až pod mikroskopem při 500násobném zvětšení na Obr. 26 je viditelná vytvořená struktura. Drsnost byla naměřena  $R_a = 1,25 \pm 0,13 \mu\text{m}$  a  $R_z = 7,62 \pm 0,84 \mu\text{m}$ .

#### 4.5.5 Balotina B134

Obr. 27 Balotina B134

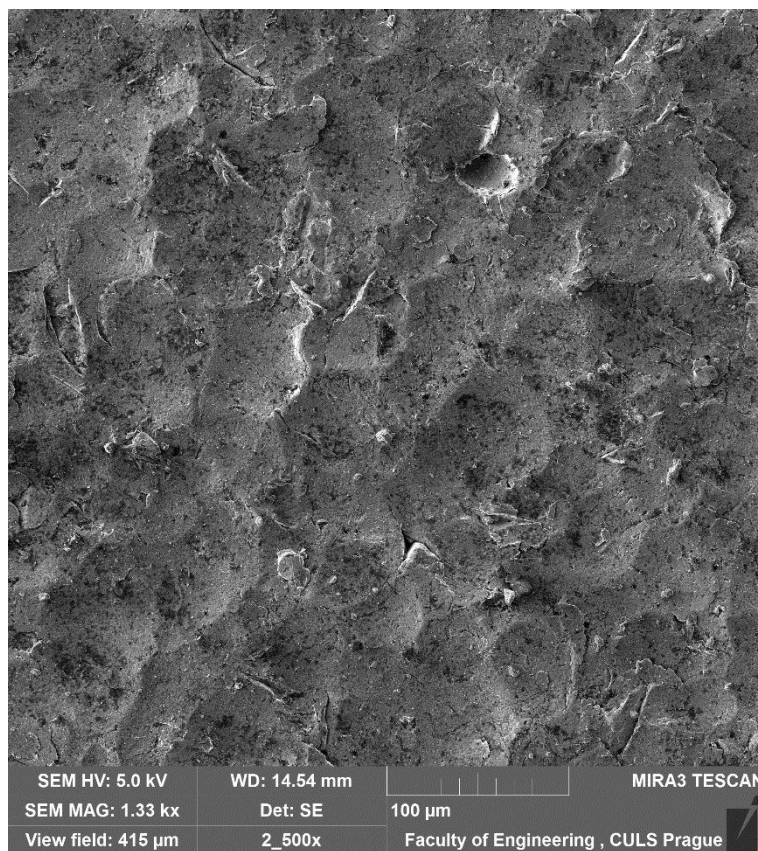


Zdroj: autor

Jedná se o skleněné mikrokuličky (Obr. 27), které jsou vhodné zejména pro tryskání v uzavřených systémech s možností zpětné recyklace abraziva. Používají se především pro jemné tryskání a leštění. Z hlediska toxikologie a ekologie se jedná o chemicky stálý, inertní nezávadný materiál [32].

Při tryskání balotinou nedochází k erozivnímu opotřebení povrchu, jako tomu je u většiny tryskacích médií. Dopadající kuličky balotiny B134 o velikosti 100 – 200  $\mu\text{m}$  pouze mírně deformují povrch tryskaného materiálu, tím dochází ke sjednocení jeho struktury a částečnému zpevnění. Na Obr. 28 jsou patrné deformace po dopadu skleněných kuliček. Takto tryskaný povrch dosahoval drsnosti  $R_a = 1,54 \pm 0,12 \mu\text{m}$  a  $R_z = 8,88 \pm 0,69 \mu\text{m}$ .

Obr. 28 Povrch tryskaný balotinou B134

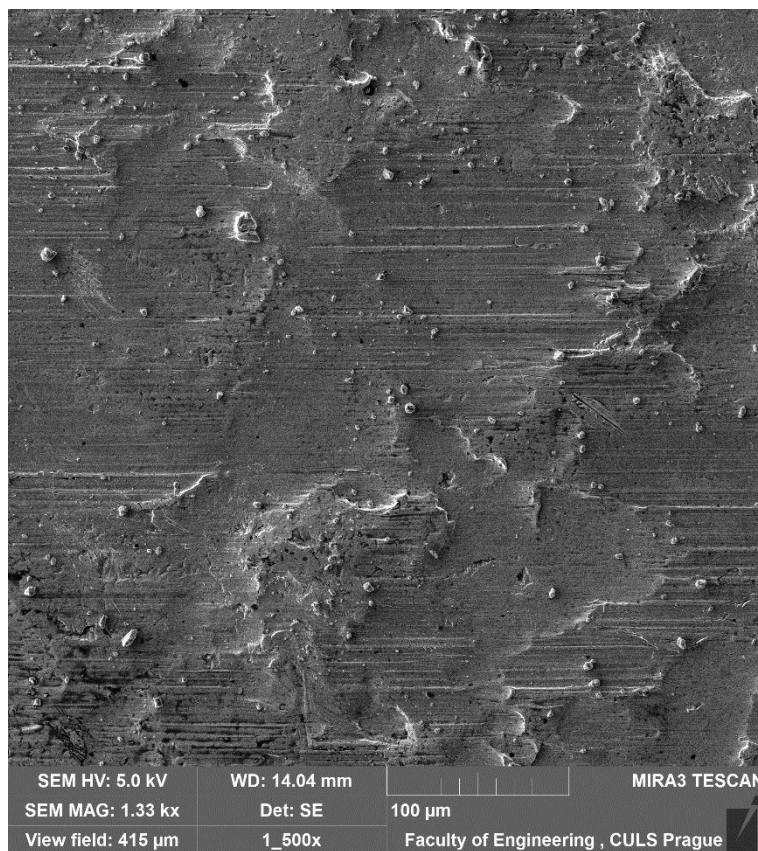


Zdroj: autor

#### 4.5.6 Bez mechanické úpravy

Dvě série vzorků byly ponechány bez mechanické úpravy. Vzhled válcovaného plechu je velmi lesklý a hladký. Při zvětšení na Obr. 29 jsou patrné drobné nerovnosti povrchu a rovnoběžné stopy způsobené válcováním plechu při jeho výrobě. U neupraveného plechu byly naměřeny drsnosti  $R_a = 1,19 \pm 0,17 \mu\text{m}$  a  $R_z = 6,55 \pm 0,90 \mu\text{m}$ .

Obr. 29 Povrch plechu bez mechanické úpravy



Zdroj: autor

#### 4.6 Chemická úprava vzorků

Všechny tryskané vzorky a jedna série vzorků bez mechanické úpravy byly ošetřeny chemicky. K této úpravě byl použit Aceton P6401. Během jeho aplikace byly použity ochranné rukavice a probíhala v dobře větrané místnosti, aby byl zajištěn odvod par, které se při práci s acetonem uvolňují. Odmašťování se provádělo pomocí části látky namočené v acetonu, kterou se otíraly lepené plochy.

## 4.7 Lepení vzorků

Před samotným lepením byly vzorky popsány, aby nedošlo k jejich záměně. Značení vzorků bylo ve formátu X.Y, kde X značí povrchovou úpravu a Y použité lepidlo dle Tab. 2. Z každé kombinace povrchu a lepidla bylo připraveno 10 spojů, celkem tedy 280 spojů.

Tab. 2 Značení vzorků

<b>X</b>	<b>Povrchová úprava</b>	<b>Y</b>	<b>Použité lepidlo</b>
1	Granát M80	1	2-K-Epoxid-kleber
2	Korund F60	2	UHU PLUS schnellfest
3	Korund F120	3	ALTECO 3-TON Quick epoxy
4	Karbid křemíku F220	4	CHS-EPOXY 324 (EPOXY 1200)
5	Balotina B134		
6	Pouze odmaštěno		
7	Neupraveno		

Zdroj: autor

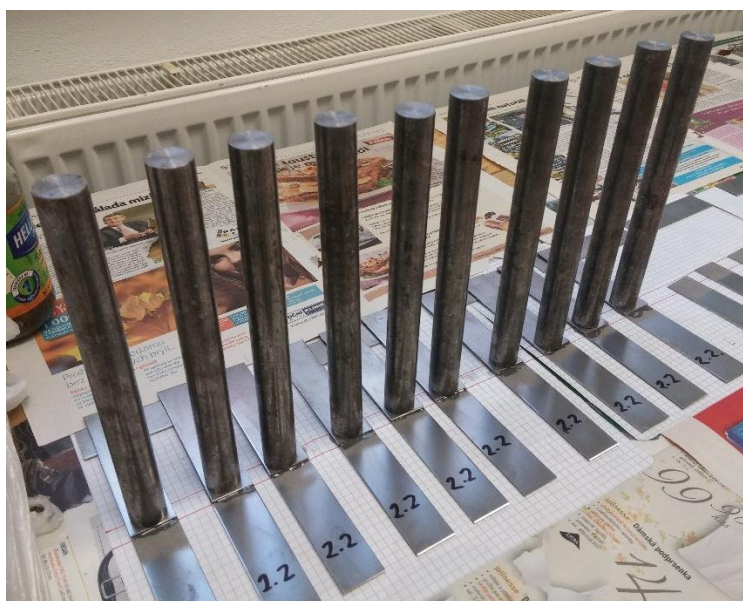
Každé lepidlo má omezenou dobu zpracovatelnosti, proto je důležitá samotná příprava před zahájením lepení. Vzorky s připraveným povrchem k lepení byly kladeny na čtverečkový papír s narýsovanými ryskami 12,5 mm, které značily plochu přelepu. Rovinnost spoje zajišťoval plech položený pod konce vrchní části lepeného spoje.

Všechna použitá lepidla byla dvousložková, proto bylo nutné je nejdříve namíchat v předepsaném poměru. Nejsnazší byla příprava lepidel 2-K-Epoxid-kleber a UHU PLUS schnellfest, která se mísila v poměru 1:1, k čemuž bylo uzpůsobené jejich balení. Propojené tuby zajišťovaly vytlačení stejných dílů obou složek. U lepidla ALTECO byl poměr zpracování také 1:1 objemově. Složky lepidla ale byly baleny v tubách a z každé bylo nutné vytlačit stejně dlouhý proužek, čímž nebylo dosaženo tak přesného dodržení mísičího poměru. Epoxidová pryskyřice CHS-EPOXY 324 se s tvrdidlem P11 mísila v hmotnostním poměru 100:7 pomocí váhy s přesností 0,1 g. Každé lepidlo se mísilo těsně před lepením v plastovém kelímku.

Lepení probíhalo v laboratoři polymerů při teplotě  $22 \pm 2$  °C. Důkladně promísené lepidlo se nanášelo dřevěnou špachtlí v přiměřeném množství na vrchní část lepeného spoje. Poté se část s naneseným lepidlem přiložila na druhou část spoje již připravenou na

podkladovém papíře. Spoj se srovnal pomocí rysek na podkladu a zatížil závažím o hmotnosti  $498,48 \pm 0,72$  g, které na spoj působilo tlakem 15,6 kPa (Obr. 30). Postup se opakoval až do slepení všech deseti spojů série, nebo do uplynutí doby zpracovatelnosti lepidla, kdy bylo potřeba namíchat další dávku lepidla.

Obr. 30 Zatížené spoje po slepení



Zdroj: autor

Slepené spoje zůstaly zatížené závažím po dobu minimálně 24 hodin, než došlo k vytvrzení lepidla. Poté byly pečlivě uloženy do kartonové krabice, ve které byly skladovány, než lepidlo dosáhlo své maximální pevnosti.

#### **4.8 Zkouška meze pevnosti ve smyku lepeného spoje**

Destruktivní zkouška byla prováděna podle normy ČSN EN 1465 na univerzálním zkušebním stroji LabTest 5.50ST charakterizovaném v kapitole 4.1.3. Měření probíhalo v laboratoři při teplotě  $22 \pm 2$  °C.

Před měřením bylo nutné v programu Test&Motion nastavit parametry zkoušky. Byla nastavena základní tahová zkouška bez předpětí s rychlostí zatěžování 2 mm/min. Dále

bylo nastaveno ukončení zkoušky při dosažení maximálního zatížení 45 000 N nebo poklesu síly o 50 %. Zaznamenávané parametry byly maximální síla, čas zkoušky a prodloužení.

Do samosvorných čelistí byl upnut vzorek tak, aby vzdálenost spoje od čelistí byla  $50 \pm 1$  mm a vzorek byl umístěn ve středu čelistí (Obr. 31). Nejdříve byl vzorek upnut do horních čelistí, poté po kontrole správného upnutí i do spodních čelistí.

Obr. 31 Vzorek upnutý do čelistí zkušebního stroje

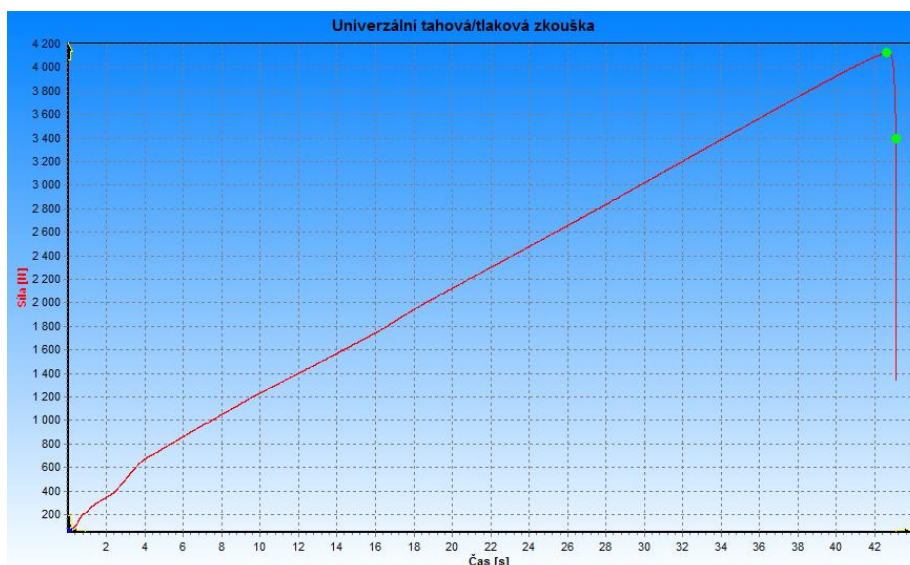


Zdroj: autor

V ovládacím programu byla zpuštěna zkouška a zkušební stroj zatěžoval lepený spoj až do jeho destrukce. Naměřená data byla automaticky zaznamenávána v programu a pro případ selhání techniky také ručně zapisována na papír. Během zatěžování spoje program vykresloval graf průběhu tahové zkoušky, který po jejím ukončení mohl být zaznamenán (Obr. 32).



Obr. 32 Průběh tahové zkoušky lepeného spoje



Zdroj: autor

Po uvolnění čelistí byl porušený spoj vyjmut a čelisti posunuty do původní pozice. Na přetrženém spoji byla změřena délka přeplátování posuvným měřítkem s přesností 0,01 mm, a také zapsán typ porušení lepeného spoje dle normy ČSN ISO 10365. Po tomto kroku byl upnut další vzorek a zkouška se opakovala. Po naměření série deseti vzorků byla data exportována do programu Microsoft Excel pro další zpracování.

## 4.9 Zpracování výsledků

Síla potřebná k porušení lepeného spoje je závislá na pevnosti spoje a na jeho ploše. Při manuálním lepení nelze dodržet stálou šířku přeplepu, proto je vhodné naměřenou sílu (FH) přepočítat na pevnost ve smyku ( $\tau$ ). Z naměřených hodnot byl dále spočten aritmetický průměr ( $\bar{x}$ ), směrodatná odchylka ( $\sigma$ ) a variační koeficient ( $v$ ).

Smyková pevnost v tahu:

$$\tau = \frac{FH}{b \cdot s} \quad (1)$$

kde:  $\tau$  - smyková pevnost v tahu [MPa], FH – maximální síla [N], b – šířka přeplátování lepeného spoje [mm], s – délka přeplátování lepeného spoje [mm].

Aritmetický průměr:

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

kde:  $\bar{x}$  – aritmetického průměru,  $x_n$  – hodnoty naměřených prvků, n – počet prvků.

Směrodatná odchylka:

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

kde:  $\sigma$  - hodnota směrodatné odchylky,  $x_i$  - hodnoty jednotlivých prvků,  $\bar{x}$  - hodnota aritmetického průměru, n – počet prvků.

Variační koeficient:

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

kde:  $v$  – variační koeficient [%],  $\sigma$  - hodnota směrodatné odchylky,  $\bar{x}$  - hodnota aritmetického průměru.

## 4.10 Vyhodnocení experimentu

Naměřená data byla zpracována v programu Microsoft Excel, ve kterém byly spočteny další údaje a vypracovány grafy pro přehlednější interpretaci výsledků této práce. Vyhodnocení je rozděleno do kapitol dle použitého lepidla, protože jak bylo zjištěno, úprava povrchu lepeného spoje má na každé lepidlo mírně odlišný vliv.

### 4.10.1 Lepidlo 2-K-Epoxid-kleber

Na Graf 1 je vidět, že u lepidla 2-K-Epoxid-kleber bylo nejvyšší pevnosti dosaženo při úpravě povrchu tryskáním granátem M80 a Korundem F60. Z Tab. 3 je zřejmé, že rozdíl mezi těmito úpravami je zanedbatelný. O 0,04 MPa bylo nejvyšší pevnosti dosaženo úpravou povrchu tryskáním granátem M80. Zjištěná průměrná pevnost spojů s touto úpravou byla 14,36 MPa. O 30 % nižší, než maximální pevnosti dosahovaly spoje tryskané karbidem křemíku F220, podobně jako spoje tryskané korundem F120.

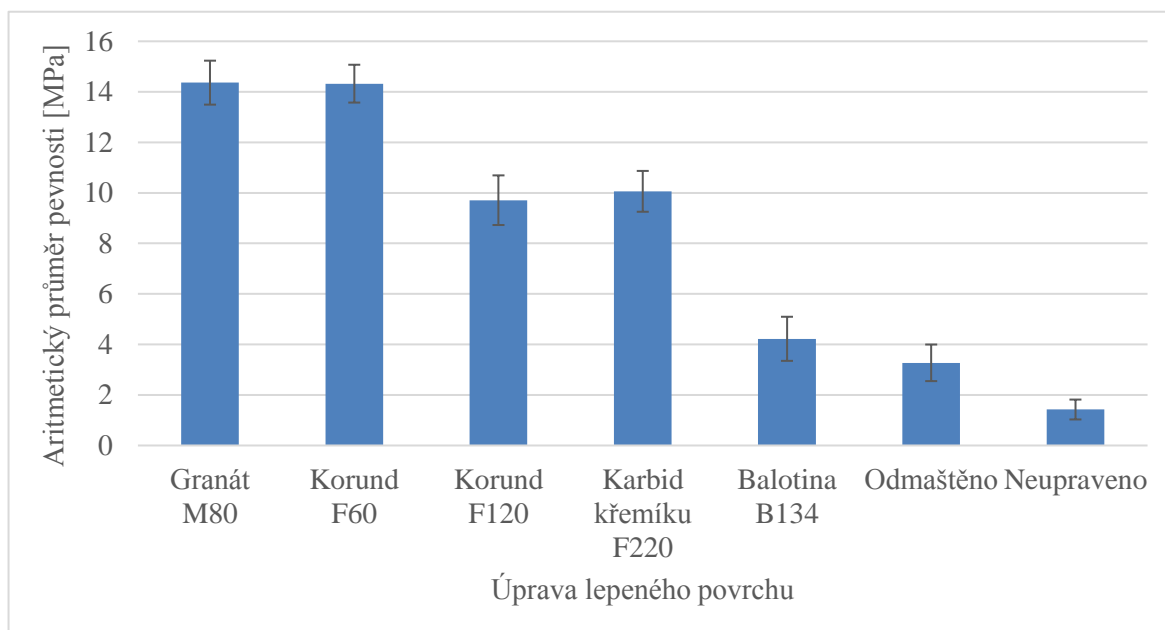
Jako nedostatečnou úpravu povrchu lepeného spoje lze označit tryskání balotinou, kde bylo dosaženo pevnosti 4,22 MPa, což je o 70 % méně než nejvyšší dosažená pevnost. Vzorky bez mechanické úpravy povrchu vykazují nejnižší pevnost. U neupraveného povrchu pouze 1,42 MPa. Odmaštěné vzorky jsou o 230 % pevnější, ale v porovnání se vzorky tryskanými korundem F60 nebo granátem M80 je jejich pevnost stále několikanásobně menší.

Tab. 3 Výsledné hodnoty pro lepidlo 2-K-Epoxid-kleber

	<b>Granát M80</b>	<b>Korund F60</b>	<b>Korund F120</b>	<b>Karbid křemíku F220</b>	<b>Balotina B134</b>	<b>Odmaštěno</b>	<b>Neupraveno</b>
<b>Aritmetický průměr pevnosti [MPa]</b>	14,36	14,32	9,71	10,06	4,22	3,27	1,42
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,87	0,75	0,98	0,81	0,87	0,72	0,39
<b>Variační koeficient [%]</b>	6,06	5,23	10,12	8,03	20,67	22,14	27,63

Zdroj: autor

Graf 1 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla 2-K-Epoxid-kleber

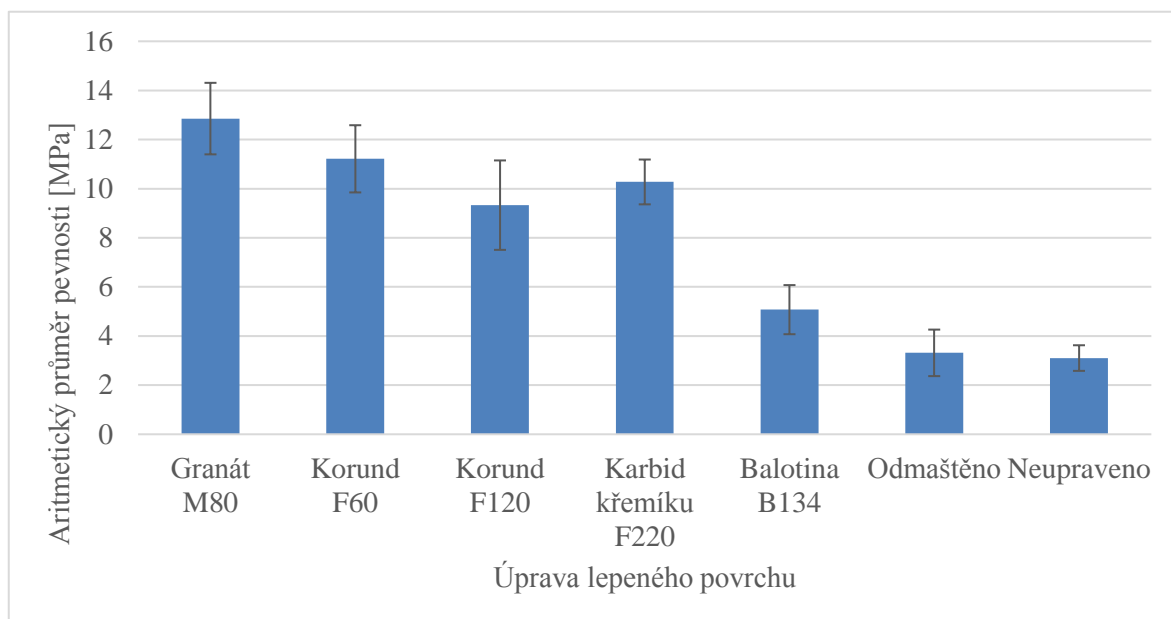


Zdroj: autor

#### 4.10.2 Lepidlo UHU PLUS schnellfest

Spoje lepidlem UHU PLUS schnellfest (Graf 2) dosáhly nejvyšší pevnosti 12,85 MPa při úpravě povrchu tryskáním granátem M80. O 13 % nižší pevnosti dosáhly spoje tryskané korundem F60, tedy 11,22 MPa. Stále dobré pevnosti bylo dosaženo i po tryskání karbidem křemíku F200 a korundem F60 viz Tab. 4. Jako nedostatečná úprava povrchu se jeví tryskání balotinou, u kterého bylo dosaženo o 60 % nižší pevnosti, než byla maximální.

Graf 2 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla UHU PLUS schnellfest



Zdroj: autor

Tab. 4 Výsledné hodnoty pro lepidlo UHU PLUS schnellfest

	<b>Granát M80</b>	<b>Korund F60</b>	<b>Korund F120</b>	<b>Karbid křemíku F220</b>	<b>Balotina B134</b>	<b>Odmaštěno</b>	<b>Neupraveno</b>
<b>Aritmetický průměr pevnosti [MPa]</b>	12,85	11,22	9,33	10,27	5,07	3,31	3,10
<b>Směrodatná odchylka</b>	1,46	1,37	1,82	0,91	1,00	0,95	0,52
<b>Variační koeficient [%]</b>	11,33	12,20	19,52	8,88	19,70	28,58	16,80

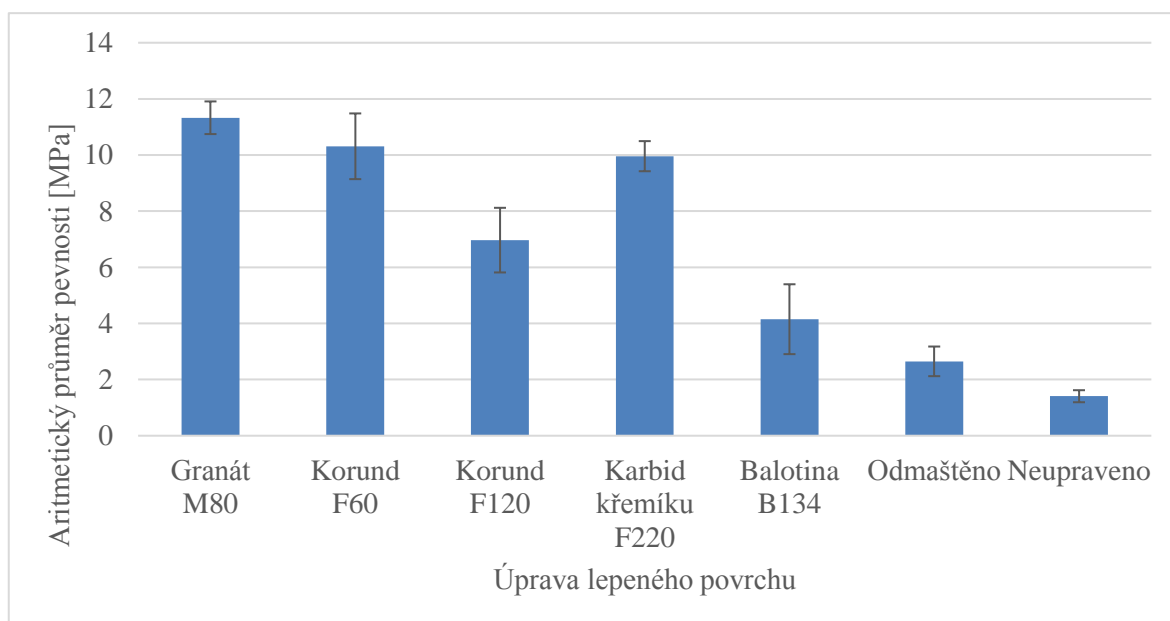
Zdroj: autor

Neobvyklé je, že u lepidla UHU PLUS schnellfest bylo u odmaštěných vzorků dosaženo pouze o 7 % vyšší pevnosti než u vzorků bez odmaštění. Lze z toho usuzovat, že toto lepidlo není tak náchylné na znečištění povrchu. Také to mohlo být způsobeno tím, že plech použitý na výrobu vzorků není znečištěn rovnoměrně, a proto se u neupraveného povrchu u jiných lepidel vyskytují vyšší variační koeficienty, což není tento případ. Z tohoto důvodu je pravděpodobnější první varianta.

### 4.10.3 Lepidlo ALTECO 3-TON Quick epoxy

Ze spojů slepených lepidlem ALTECO 3-TON Quick epoxy (Graf 3) dosahovaly nejvyšší pevnosti (11,33 MPa) spoje s povrchem tryskaným granátem M80. O 9 % nižší pevnost byla naměřena u spojů s povrchem tryskaným korundem F60. Podobné hodnoty dosahovaly také spoje tryskané karbidem křemíku F220.

Graf 3 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla ALTECO 3-TON Quick epoxy



Zdroj: autor

Z Tab. 5. lze zjistit, že tryskání povrchu balotinou B134, odmaštění bez mechanické úpravy nebo ponechání povrchu lepeného spoje bez úpravy je pro lepení nevhodné. U úpravy povrchu balotinou B134 je také patrný vysoký variační koeficient, který značí velký rozptyl naměřených hodnot. Což může mít za následek selhání lepeného spoje při nižším zatížení, než bylo očekáváno.

Tab. 5 Výsledné hodnoty pro lepidlo ALTECO 3-TON Quick epoxy

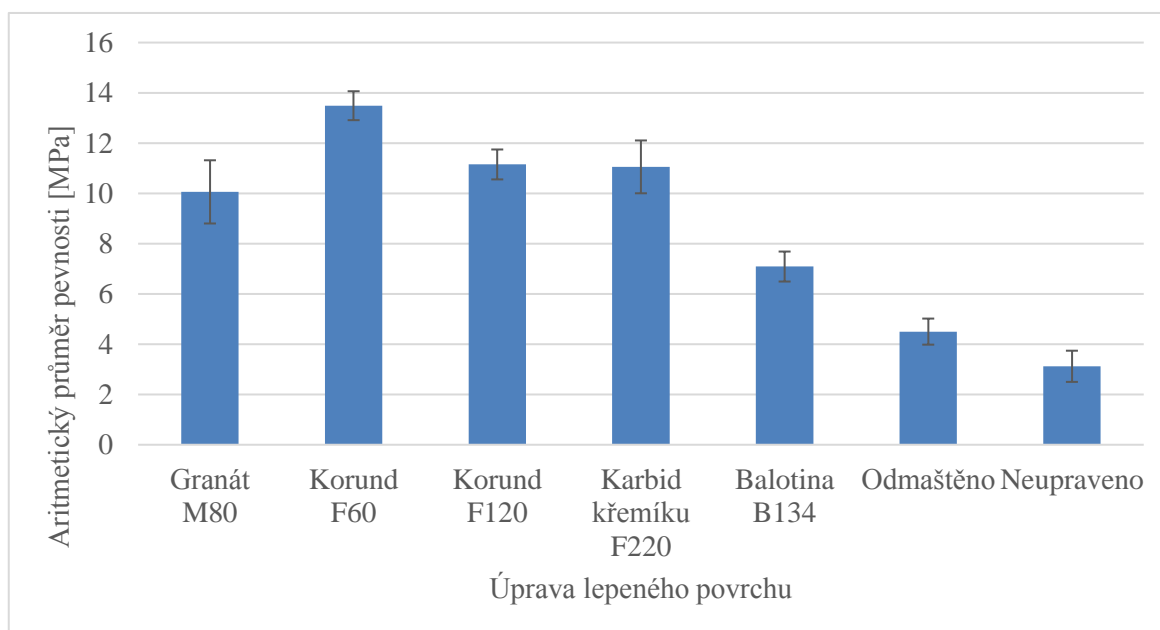
	Granát M80	Korund F60	Korund F120	Karbid křemíku F220	Balotina B134	Odmaštěno	Neupraveno
<b>Aritmetický průměr pevnosti [MPa]</b>	11,33	10,31	6,97	9,96	4,15	2,65	1,41
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,58	1,17	1,15	0,54	1,24	0,53	0,21
<b>Variační koeficient [%]</b>	5,13	11,35	16,53	5,39	29,98	19,92	15,24

Zdroj: autor

#### 4.10.4 Lepidlo CHS-EPOXY 324 (EPOXY 1200)

Z Graf 4 z je patrné, že nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u spojů vzorků s povrchem tryskaným korundem F60 a to 13,49 MPa. O 17 % nižší pevnost byla zjištěna po tryskání povrchu korundem F120 nebo karbidem křemíku F220. Poměrně dobré pevnosti dosáhly také spoje s povrchem tryskaným granátem M80 a to 10,06 MPa.

Graf 4 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla CHS-EPOXY 324



Zdroj: autor

Vzorky tryskané balotinou B134 dosáhly pevnosti 7,09 MPa (viz Tab. 6), což je méně než polovina maximální naměřené pevnosti. Také u lepidla CHS-EPOXY 324 nejnižší pevnosti dosahovaly vzorky bez mechanické úpravy povrchu. Vzorky upravené pouze odmaštěním dosáhly pevnosti 4,5 MPa, což je nejvíce z použitých lepidel u této úpravy povrchu.

Tab. 6 Výsledné hodnoty pro lepidlo CHS-EPOXY 324

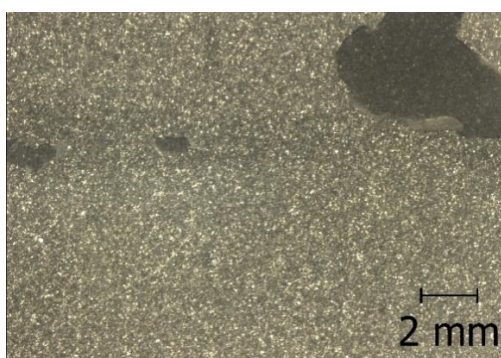
	<b>Granát M80</b>	<b>Korund F60</b>	<b>Korund F120</b>	<b>Karbid křemíku F220</b>	<b>Balotina B134</b>	<b>Odmaštěno</b>	<b>Neupraveno</b>
<b>Aritmetický průměr pevnosti [MPa]</b>	10,06	13,49	11,15	11,05	7,09	4,50	3,12
<b>Směrodatná odchylka</b>	1,26	0,58	0,60	1,05	0,60	0,52	0,62
<b>Variační koeficient [%]</b>	12,49	4,27	5,34	9,50	8,41	11,52	19,87

Zdroj: autor

#### 4.10.5 Celkové vyhodnocení

Při porovnání zjištěných hodnot pevností, uvedených v kapitolách výše a v přílohách, zjistíme, že nejvyšší pevnosti bylo nejčastěji dosaženo u povrchů tryskaným granátem M80 a to u třech ze čtyř lepidel. Pouze u lepidla CHS-EPOXY 324 dosáhly nejvyšší pevnosti spoje s povrchem tryskaným korundem F60. Nejvyšší dosažená pevnost byla 14,36 MPa a byla naměřena u spojů s povrchem tryskaným granátem M80 s použitím lepidla 2-K-Epoxid-kleber. Povrch tohoto spoje po přetržení je vidět na Obr. 33.

Obr. 33 Speciální kohezní porušení spoje 1.1



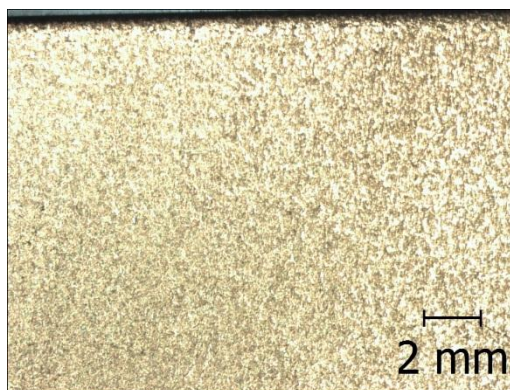
Zdroj: autor



Spoje s povrchem tryskaným korundem F60 také dosahovaly velmi dobré pevnosti v porovnání s ostatními použitými úpravami. Úpravy povrchu korundem F120 a karbidem křemíku F220 dosahovaly většinou velmi podobné hodnoty. Ze všech tryskaných povrchů nejnižší pevnosti byly zjištěny po tryskání balotinou B134.

Vzorky bez mechanické úpravy povrchu lepeného spoje potvrdily důležitost mechanické úpravy. Pevnost u nich byla ve všech sériích naměřena vždy nižší než u ostatních s povrchem po tryskání. Porucha lepeného spoje těchto vzorků byla převážně adhezní (Obr. 34). Odmaštění povrchu potvrdilo u všech lepidel zvýšení pevnosti, i když rozdíl vlivu neodmaštěného povrchu je mezi lepidly velmi rozdílný.

Obr. 34 Adhezní porušení spoje 6.1



Zdroj: autor

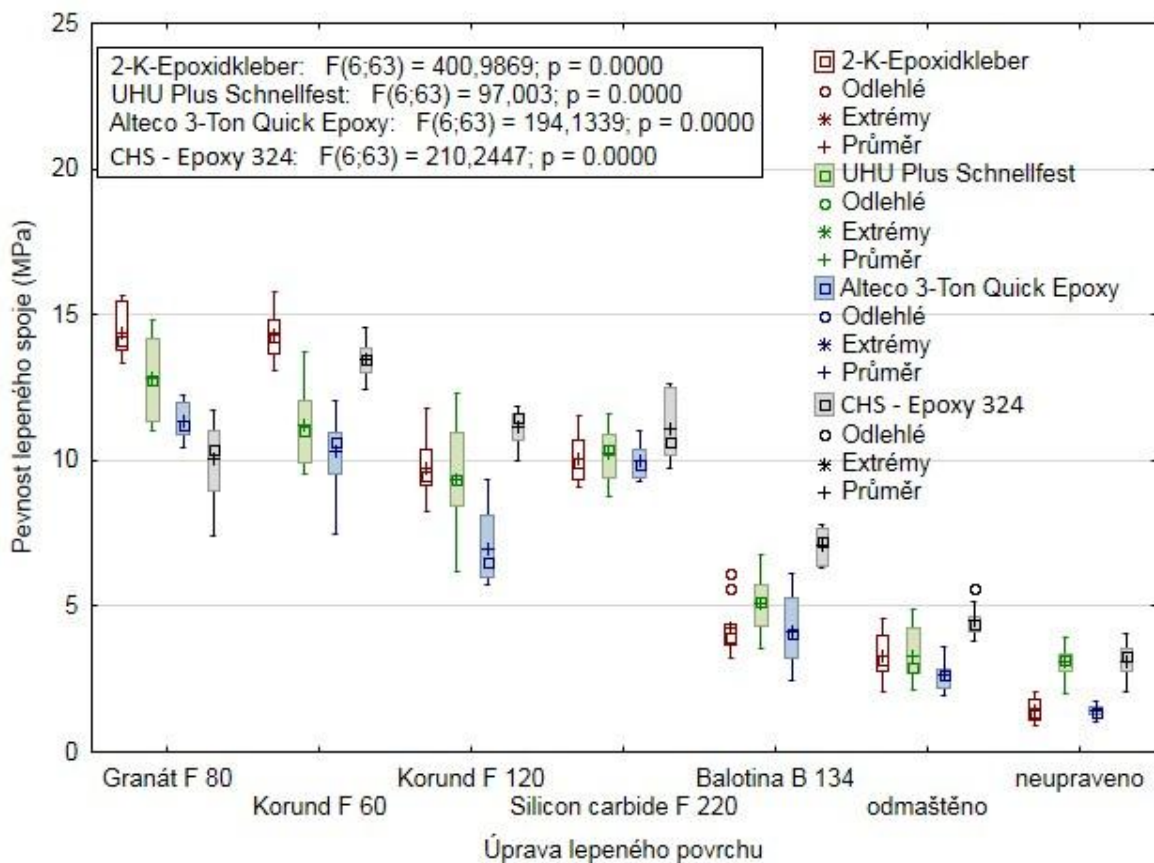
Při porovnání drsností povrchu a dosažených pevností by se mohlo jevit, že vyšší drsnosti povrchu dosáhneme vyšší pevnosti. Z testovaných úprav nejlépe vycházelo tryskání granátem M80 ( $R_a = 2,54 \pm 0,20 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 15,86 \pm 1,39 \mu\text{m}$ ) nebo korundem F60 ( $R_a = 3,22 \pm 0,24 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 20,11 \pm 1,69 \mu\text{m}$ ), u kterých byly naměřené nejvyšší drsnosti. Což by mohlo potvrzovat zmíněnou teorii, ale po porovnání i ostatních úprav tomu tak není. Např. povrch tryskaný karbidem křemíku dosahoval drsností  $R_a = 1,25 \pm 0,13 \mu\text{m}$  a  $R_z = 7,62 \pm 0,84 \mu\text{m}$  a u všech použitých lepidel vykazoval vyšší pevnost než povrch tryskaný balotinou, který má drsnost vyšší ( $R_a = 1,54 \pm 0,12 \mu\text{m}$  a  $R_z = 8,88 \pm 0,69 \mu\text{m}$ ). Podobný případ nastal u vzorků lepidlem CHS-EPOXY 324, kde povrch upravený korundem F120 ( $R_a = 1,61 \pm 0,16 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 10,44 \pm 1,13 \mu\text{m}$ ) nebo karbidem křemíku dosahoval vyšší pevnosti ve smyku než povrch tryskaný granátem M80, který měl vyšší drsnost.

#### 4.10.6 Statistické vyhodnocení

Ke statistickému porovnání naměřených dat byl použit *Anova F-test*. Za nulovou hypotézu  $H_0$  byl označen stav, kdy mezi jednotlivými porovnávanými soubory dat není z hlediska jejich středních hodnot statisticky významný rozdíl:  $p > 0.05$ .

Z hlediska statistického testování vlivu různé úpravy lepeného povrchu je možné konstatovat, že se jedná o statisticky nehomogenní skupiny, tzn. je rozdíl mezi variantami experimentu. Hypotéza  $H_0$  nebyla potvrzena, tj. je rozdíl v hladině významnosti 0,05 mezi jednotlivými testovanými variantami experimentu ( $p = 0,000$  pro všechny varianty). Statisticky byl prokázán rozdíl mezi různým abrazivem, odmaštěným a zcela neupraveným povrchem. Z hlediska vlivu různých lepidel je možno konstatovat obdobné chování, které je patrné z Graf 5.

Graf 5 Statistické vyhodnocení vlivu úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje



Zdroj: autor

## 5 Závěr

Diplomová práce zaměřená na výzkum vlivu úpravy lepeného povrchu na pevnost lepeného spoje měla za cíl v první části zpracovat literární rešerši o problematice lepení. Byly zde vysvětleny základní pojmy a principy, se kterými se setkáváme v oblasti technologie lepení. Byly uvedeny výhody použití lepených spojů a jejich nevýhody, na které je třeba brát ohled. Byly popsány základní mechanické a chemické úpravy povrchu se zaměřením převážně na tryskání, které bylo použito při výzkumu. Také byly popsány vlivy působící na pevnost lepeného spoje, jako je např. drsnost povrchu, teplota nebo okolní prostředí.

Praktická část vycházela z poznatků uvedených v první části práce. Jejím cílem bylo stanovit vliv úpravy povrchu na výslednou pevnost spoje ve smyku. Nejdříve byly definovány použité přístroje, aby bylo přesně známo, jak bylo výsledků dosaženo. Byly zmíněny ČSN EN 1465 a ČSN ISO 10365, použité při experimentu. Vzorky byly vyrobeny dle uvedené normy. Jejich povrch byl tryskán pěti abrazivy: granát M80, korund F60, korund F120, karbid křemíku F220 a balotina B134.

Otryskané povrchy vzorků byly odmaštěny acetonem. Povrch po tryskání byl podroben měření drsnosti a prozkoumán na řádkovacím elektronovém mikroskopu. K lepení byly použity čtyři dvousložkové epoxidové pryskyřice 2-K-Epoxid-kleber, UHU PLUS schnellfest, ALTECO 3-TON Quick epoxy a CHS-EPOXY 324 (EPOXY 1200). Vzorky po dostatečném vytvrzení byly podrobeny tahové zkoušce pro stanovení smykové pevnosti jednoduše přeplátovaných spojů. Naměřená data byla v kapitole 4.10 pomocí grafů vyhodnocena.

Spoje s povrchem tryskaným granátem M80 vytvořené lepidlem 2-K-Epoxid-kleber dosáhly nejvyšší pevnosti a to 14,36 MPa. Také u lepidel UHU PLUS schnellfest a ALTECO 3-TON Quick epoxy bylo dosaženo nejvyšší pevnosti granátem M80. Pouze spojem s lepidlem CHS-EPOXY 324 dosáhly nejvyšší pevnosti spoje s povrchem tryskaným korundem F60.

Nejnižší pevnost lepeného spoje ve smyku se projevovala u spojů bez mechanické úpravy, což potvrzuje důležitost mechanické úpravy. Ze spojů bez mechanické úpravy

dosahovaly lepších výsledků spoje odmaštěné, ale stále několikanásobně méně než spoje s vhodnou povrchovou úpravou.

Z naměřených dat vyplývá, že nelze stanovit metodu úpravy povrchu nejvhodnější pro všechny lepené spoje. Vždy je potřeba brát v potaz jak parametry, tak výrobce lepidla, protože jak se ukázalo, každé lepidlo vykazuje rozdílnou změnu pevnosti při změně povrchu.

Nelze ani stanovit vhodnou drsnost, jak je patrné například u spojů lepidlem 2-K-Epoxid-kleber. Povrch vzorku bez mechanické úpravy dosahoval drsnosti pouze o 5 % nižší než povrch tryskaný karbidem křemíku, ale pevnost vzorků netryskaných byla o 73 % nižší ve srovnání s karbidem křemíku F220. Proto nelze stanovit pouze drsnost, ale je nutné stanovit konkrétní metodu a postup mechanické úpravy povrchu lepeného spoje.

## 6 Seznam literatury

- [1] PETERKA, J. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1980.
- [2] KOVAČIČ, Ľ. *Lepenie kovov a plastov*. 2. oprav. vyd. Bratislava: Alfa, 1984.
- [3] KREIBICH, V. a České vysoké učení technické v Praze. Strojní fakulta. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Dotisk 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-01472-X.
- [4] POKORNÝ, J. *Lepení a tmelení v dílně i domácnosti*. Praha: Grada, 2000. Profi & hobby. ISBN 8071698571
- [5] LEAR, A. S. *ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ* [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: [http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf)
- [6] LOCTITE EUROPEAN GROUP. *Worldwide design handbook*. 2., oprav.vyd. Mnichov: Loctite European Group, 1998.
- [7] OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1982.
- [8] Ksp.tul. *Doplňkové technologie pro zpracování plastů* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm)
- [9] BROŽEK, M. *Strojírenská technologie I: (návody ke cvičením)*. Vyd. 2., přeprac., rozš. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie, 2008. ISBN 9788021317802.
- [10] MÜLLER, M., JIRKA, M. a CHOTĚBORSKÝ, R. Aspekty mechanické úpravy lepených povrchů tryskáním. *Jemná mechanika a optika*. 2009, (3), 63 – 66.
- [11] BROŽEK, M. Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje. *MM Průmyslové spektrum*. 2003, (1), 72.

- [12] NAITO, K., ONTA M., KOGO Y. The effect of adhesive thickness on tensile and shear strength of polyimide adhesive. *International Journal Of Adhesion & Adhesives*, 2012, (36), 77 - 85
- [13] FREJDIN, A. *Pevnost' a životnost' lepených spojov*. Bratislava: Alfa, 1988.
- [14] MÜLLER, M., ROSTISLAV, Ch., HRABĚ, P. a HERÁK, D. Teplota a čas – vliv na pevnost lepených spojů. MM Průmyslové spektrum [online]. 2005 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/teplota-a-cas-vliv-na-pevnost-lepenych-spoju.html>
- [15] MÜLLER, M., CHOTĚBORSKÝ, R., HRABĚ, P. Degradation processes influencing bonded joints. *Research in Agricultural Engineering*, 2009, **55**(1), 29-34.
- [16] BREZINOVÁ, J., GUZANOVÁ, A. a DRAGANOVSKÁ, D. *Abrasive blast cleaning and its application*. Pfaffikon: Trans Tech Publications, 2015. Materials science foundations. ISBN 9783038359951.
- [17] KRAUS, V. POVRCHY A JEJICH ÚPRAVY. *Západočeská univerzita* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [18] ZRŮNEK, M. *Úprava povrchu kovových konstrukcí*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1981.
- [19] HABENICHT, G. *Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendung*. 4., erweiterte Auflage. Berlin: Springer, 2002. ISBN 3540433406.
- [20] Návod k použití tryskacích kabin. *GlassDekorService* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: [http://tryskani-piskovani.gds.cz/public/default/userfiles/file/gds\\_profiboxy\\_navod.pdf](http://tryskani-piskovani.gds.cz/public/default/userfiles/file/gds_profiboxy_navod.pdf)
- [21] Kupní smlouva – univerzální zkušební stroj. *Česká zemědělská univerzita v Praze* [online]. 2012 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: [https://zakazky.czu.cz/document\\_457/865847b547ee921-kupni-smlouva-univerzalni-zkusebni-stroj-pdf](https://zakazky.czu.cz/document_457/865847b547ee921-kupni-smlouva-univerzalni-zkusebni-stroj-pdf)

- [22] Kupní smlouva TESCANA. *Česká zemědělská univerzita v Praze* [online]. 2015 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: [https://zakazky.czu.cz/document\\_2530/32058d4f57d6f126-kupni-smlouva\\_tescan-brno-s-r-o-pdf](https://zakazky.czu.cz/document_2530/32058d4f57d6f126-kupni-smlouva_tescan-brno-s-r-o-pdf)
- [23] 2KE - 2 - K - Epoxidkleber. *TECH-LIT s.r.o.* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.tech-lit.cz/admin/files/ModuleItem/2/2ke.pdf>
- [24] UHU PLUS 5 min schnellfest 24 ml. *UHU – lepidla* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.uhu.cz/cs/p/uhu-plus-5-min-schnellfest-24-ml-4026700457254.html>
- [25] ALTECO 3-TON QUICK. *ALTECO* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.alteco.cz/cs/p/alteco-3-ton-quick-567-g-8888299800110.html>
- [26] Technicko-aplikační list CHS-EPOXY 324. *Sincolor* [online]. 2013 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: [http://www.sincolor.cz/out/pictures/wysiwigpro/TAL13\\_EPOXY\\_324\\_1200.pdf](http://www.sincolor.cz/out/pictures/wysiwigpro/TAL13_EPOXY_324_1200.pdf)
- [27] ČSN EN 1465. *Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [28] ČSN ISO 10365. *Označení hlavních typů porušení lepeného spoje*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1995.
- [29] Přírodní granát. *ABRANOVA, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://abranova.cz/prirodni-granat>
- [30] Umělý hnědý korund A96. *ABRANOVA, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://abranova.cz/umely-hnedy-korund-a96>
- [31] Karbid křemíku. *ABRANOVA, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://abranova.cz/karbid-kremiku--zeleny>
- [32] Skleněná balotina. *ABRANOVA, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://abranova.cz/sklenena-balotina>

## 7 Seznam obrázků

Obr. 1 Znázornění adheze a koheze.....	5
Obr. 2 Test smáčivosti .....	6
Obr. 3 Tryskací pistole s odsáváním prachu.....	10
Obr. 4 Základní typy konstrukčního provedení lepených spojů.....	15
Obr. 5 Vliv zkušební teploty na pevnost spojů při různé délce přeplátování .....	17
Obr. 6 Vliv degradačního média na pevnost lepeného spoje.....	20
Obr. 7 Tvar nerovností mikropovrchu .....	21
Obr. 8 Vliv zrnitosti tryskaného umělého korundu na změnu pevnosti lepeného spoje.....	22
Obr. 9 Tabulové nůžky .....	23
Obr. 10 Tryskací kabina ITB - 65 .....	24
Obr. 11 Univerzální zkušební stroj LabTest 5.50ST .....	25
Obr. 12 Elektronový mikroskop MIRA 3 .....	27
Obr. 13 Lepidlo 2-K-Epoxid-kleber .....	28
Obr. 14 UHU PLUS schnellfest.....	29
Obr. 15 ALTECO 3-TON Quick epoxy .....	30
Obr. 16 Epoxy 324 a tvrdilo P11 .....	31
Obr. 17 Tvar a rozměry zkušebních těles .....	33
Obr. 18 Typy porušení lepeného spoje .....	35
Obr. 19 Granát M80.....	37
Obr. 20 Povrch tryskaný granátem M80.....	38
Obr. 21 Korund F60.....	39
Obr. 22 Povrch tryskaný korundem F60.....	40
Obr. 23 Korund F120.....	40
Obr. 24 Povrch tryskaný korundem F120.....	41
Obr. 25 Karbid křemíku F220.....	42
Obr. 26 Povrch tryskaný karbidem křemíku F220 .....	42
Obr. 27 Balotina B134 .....	43
Obr. 28 Povrch tryskaný balotinou B134 .....	44
Obr. 29 Povrch plechu bez mechanické úpravy .....	45
Obr. 30 Zatížené spoje po slepení.....	47
Obr. 31 Vzorek upnutý do čelistí zkušebního stroje.....	48



Obr. 32 Průběh tahové zkoušky lepeného spoje .....	49
Obr. 33 Speciální kohezní porušení spoje 1.1 .....	56
Obr. 34 Adhezní porušení spoje 6.1 .....	57

## **8 Seznam tabulek**

Tab. 1 Základní technické parametry LabTest 5.50ST.....	26
Tab. 2 Značení vzorků .....	46
Tab. 3 Výsledné hodnoty pro lepidlo 2-K-Epoxid-kleber .....	51
Tab. 4 Výsledné hodnoty pro lepidlo UHU PLUS schnellfest.....	53
Tab. 5 Výsledné hodnoty pro lepidlo ALTECO 3-TON Quick epoxy.....	55
Tab. 6 Výsledné hodnoty pro lepidlo CHS-EPOXY 324 .....	56

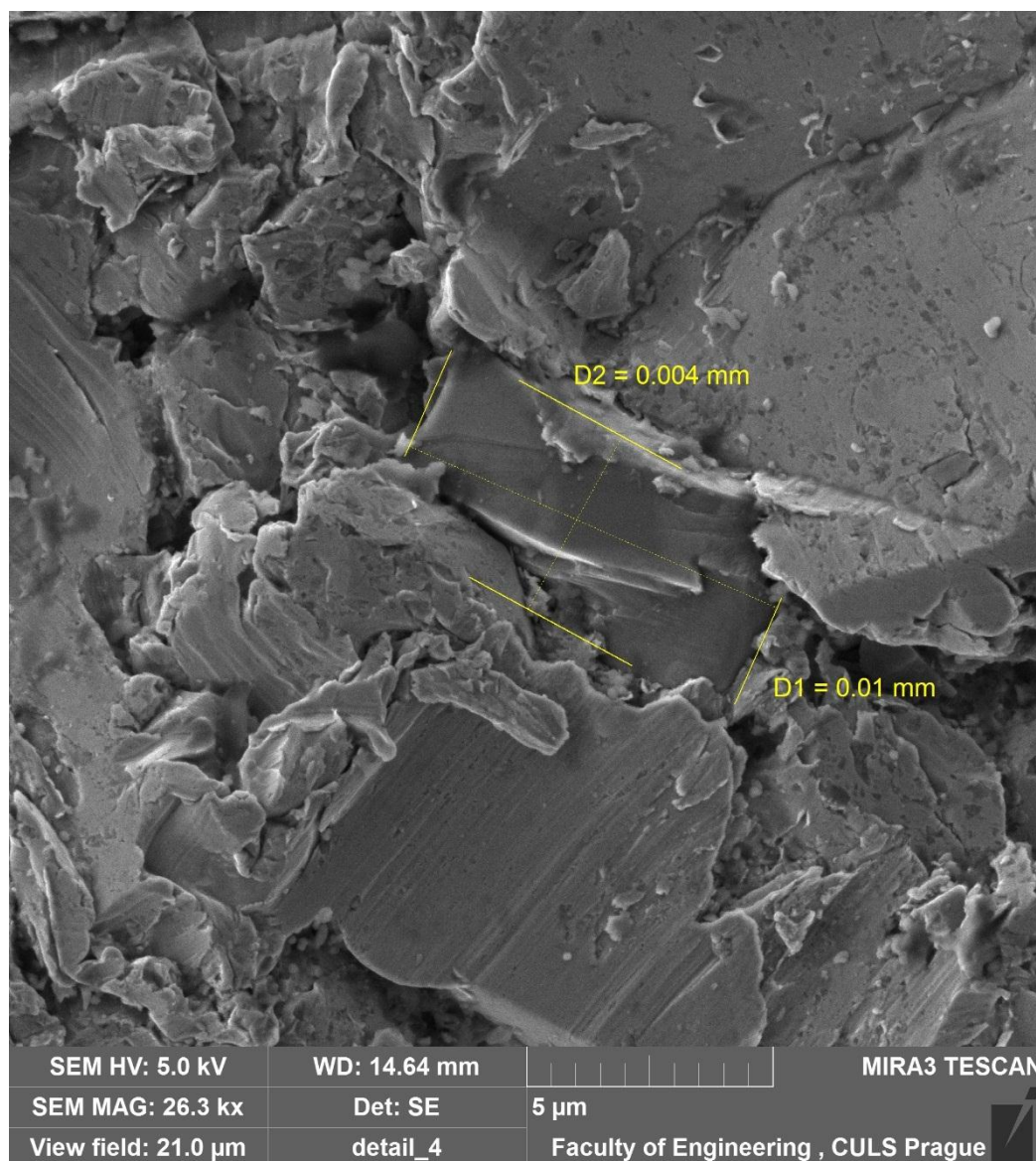
## **9 Seznam grafů**

Graf 1 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla 2-K-Epoxid-kleber.....	52
Graf 2 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla UHU PLUS schnellfest.....	53
Graf 3 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla ALTECO 3-TON Quick epoxy .....	54
Graf 4 Vliv úpravy povrchu na pevnost spoje lepidla CHS-EPOXY 324.....	55
Graf 5 Statistické vyhodnocení vlivu úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje .....	58

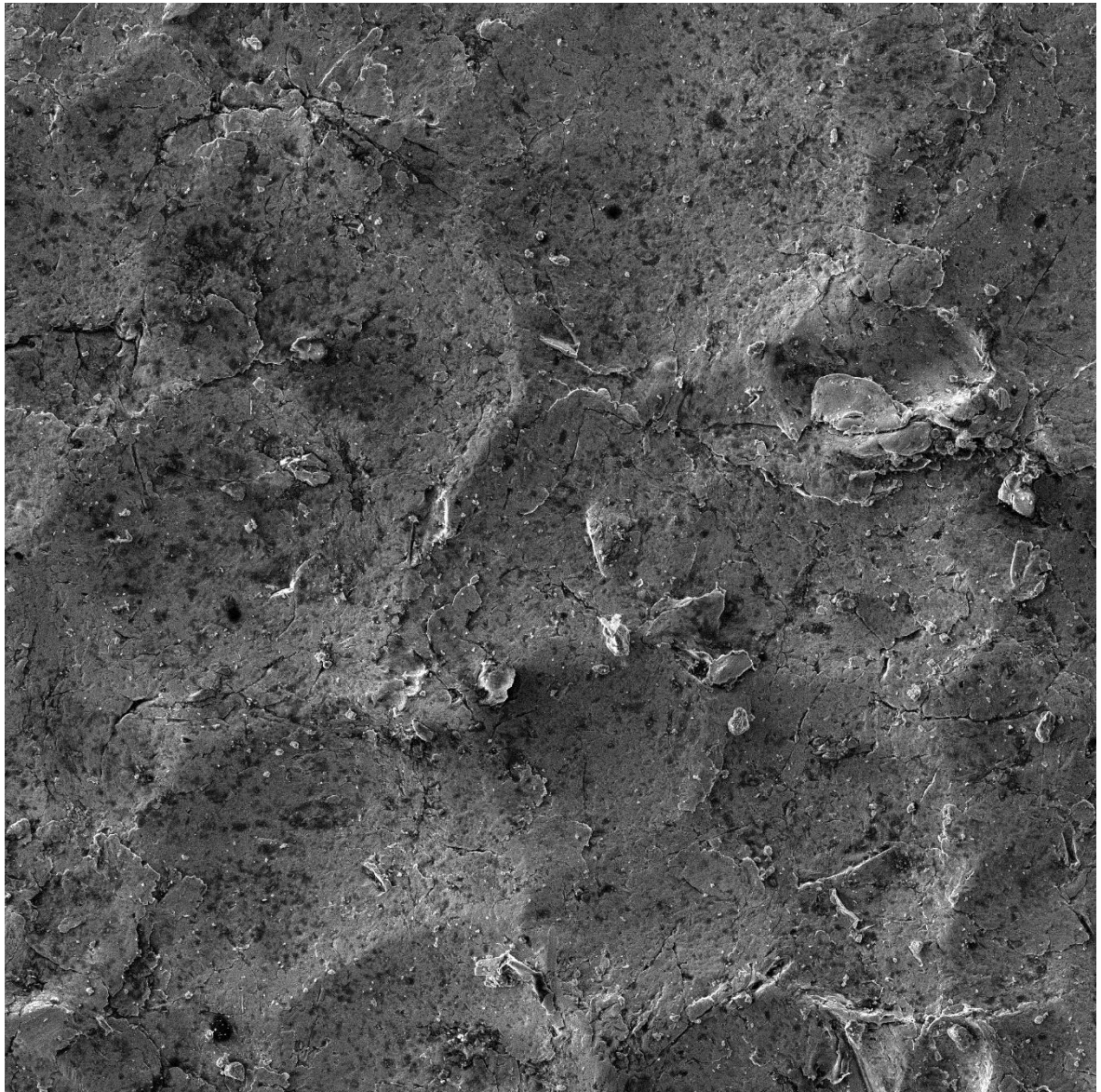
## 10 Přílohy

### Příloha 1: Detaily povrchu vzorků z elektronového mikroskopu MIRA 3

Detail zrna karbidu křemíku zaražený v otryskávaném vzorku

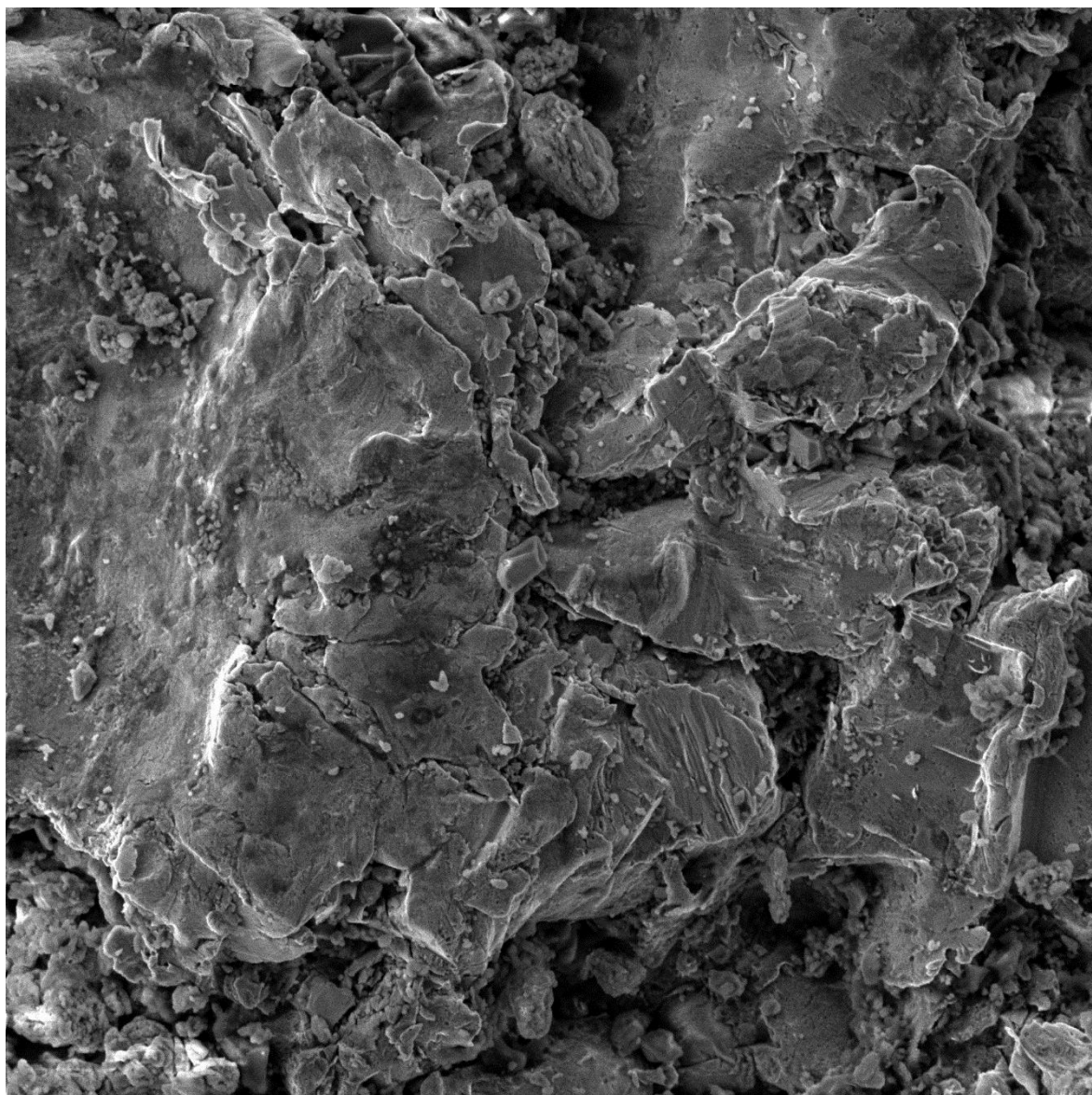


Povrch tryskaný balotinou B134 zvětšený 1000x



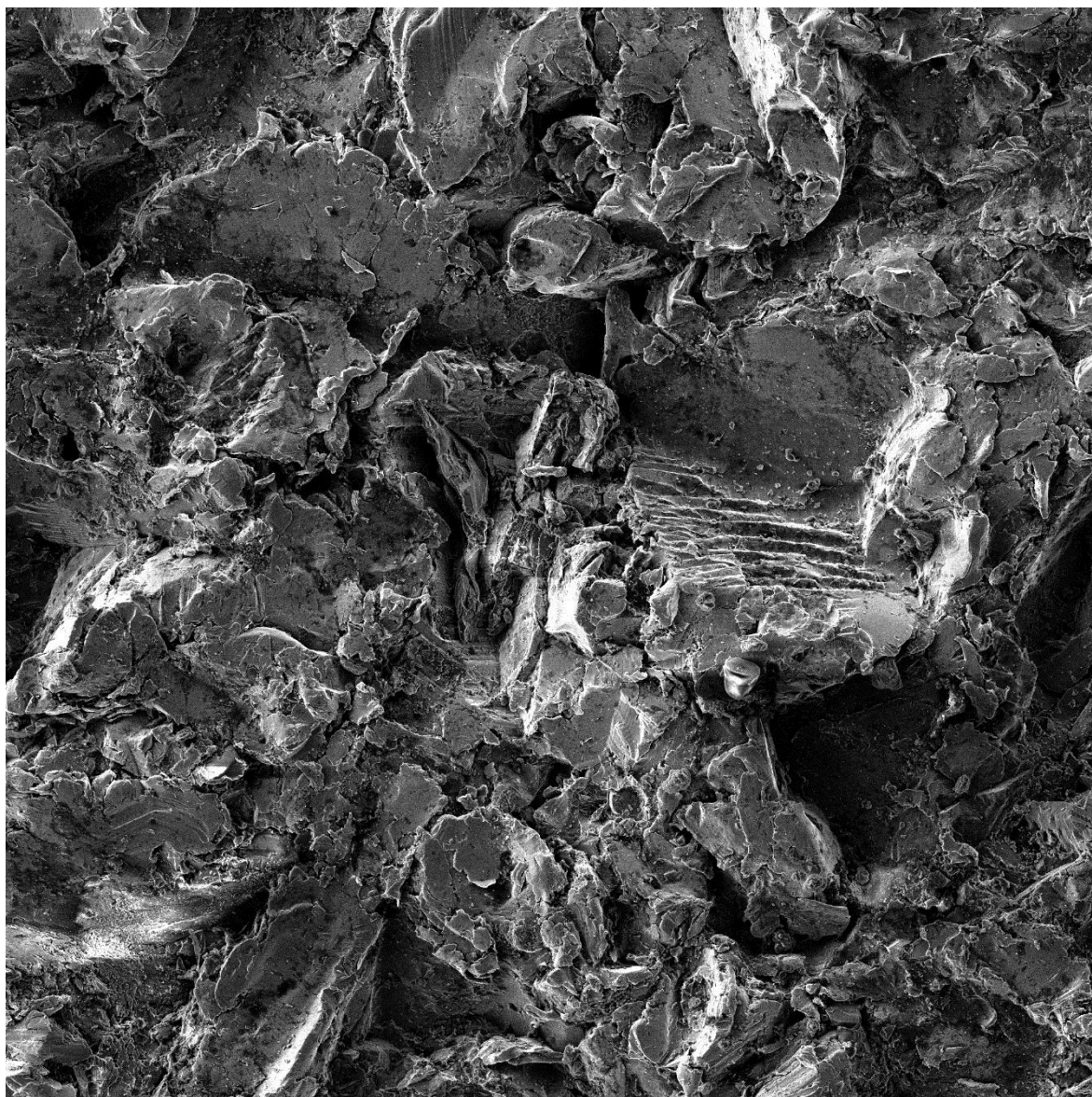
SEM HV: 5.0 kV	WD: 14.54 mm	MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 2.67 kx	Det: SE	50 $\mu$ m
View field: 208 $\mu$ m	3_1000x	Faculty of Engineering , CULS Prague

Detail povrchu tryskaný granátem M80



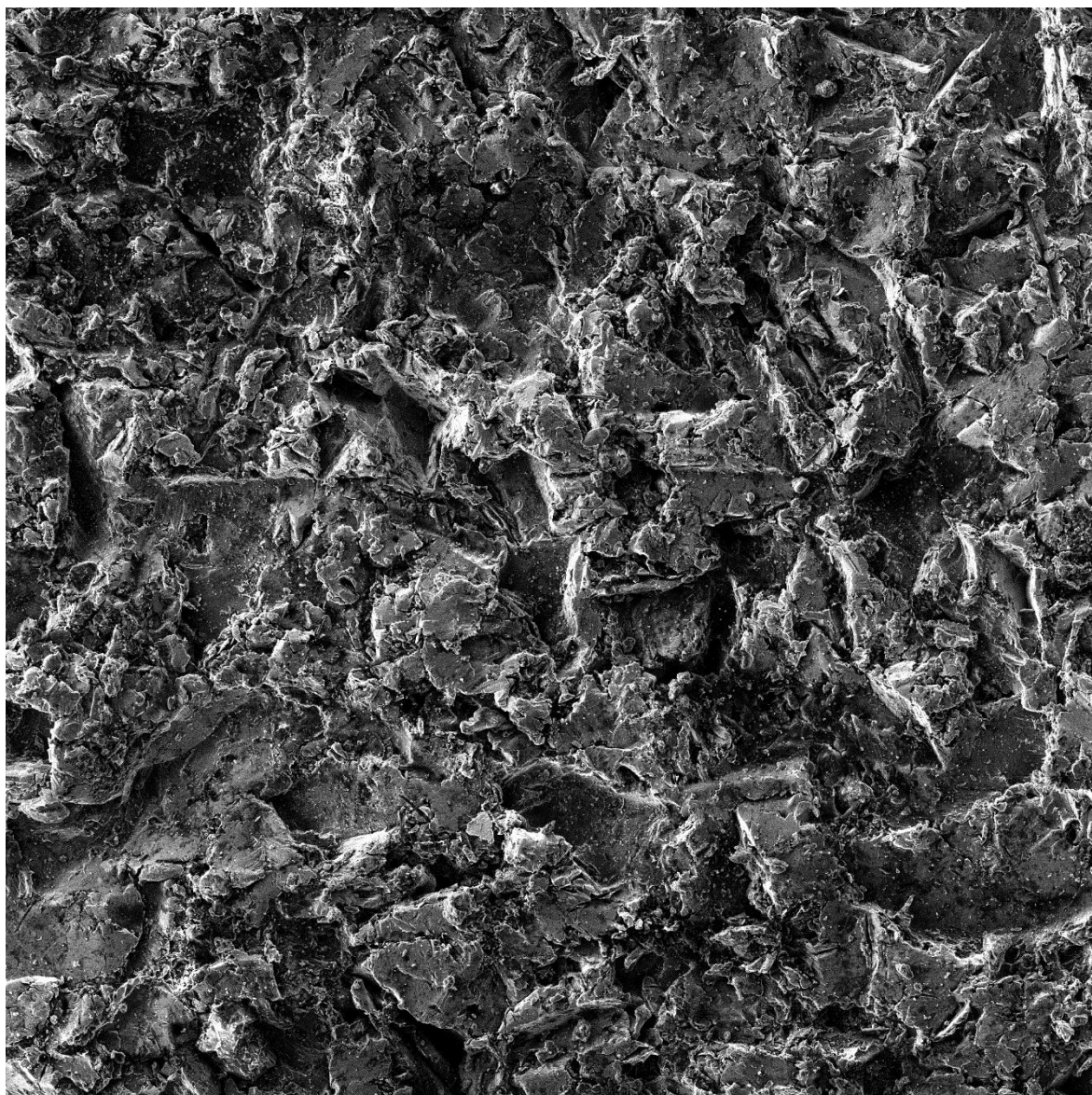
SEM HV: 5.0 kV	WD: 15.13 mm	MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 12.8 kx	Det: SE	10 $\mu$ m
View field: 43.3 $\mu$ m	detail_2	Faculty of Engineering , CULS Prague

Povrch tryskaný korundem F60 zvětšený 1000x



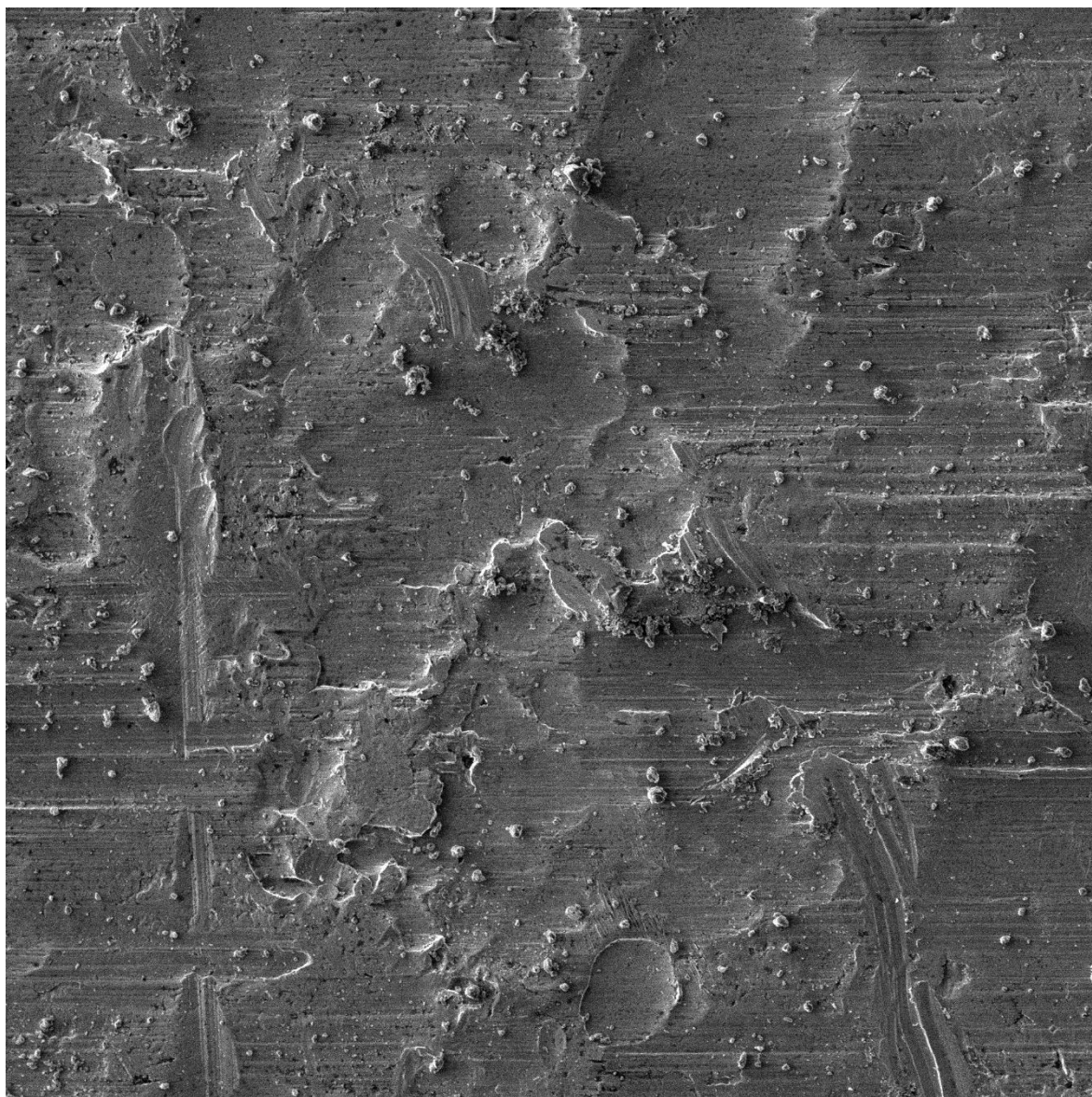
SEM HV: 5.0 kV	WD: 14.70 mm	MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 2.67 kx	Det: SE	50 $\mu$ m
View field: 208 $\mu$ m	2_1000x	Faculty of Engineering , CULS Prague

Povrch tryskaný korundem F120 1000x zvětšený



SEM HV: 5.0 kV	WD: 14.50 mm	MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 2.67 kx	Det: SE	50 $\mu$ m
View field: 208 $\mu$ m	3_1000x	Faculty of Engineering , CULS Prague

Povrch válcovaného plechu zvětšený 500x



SEM HV: 5.0 kV	WD: 14.04 mm	MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 1.33 kx	Det: SE	100 $\mu$ m
View field: 415 $\mu$ m	2_500x	Faculty of Engineering , CULS Prague

## Příloha 2: Naměřené drsnosti povrchu

Granát M80

Měření	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	2,1	14,6
2	2,43	15,3
3	2,24	13,2
4	2,51	18
5	2,67	17,6
6	2,42	14,3
7	2,4	15,7
8	2,38	15
9	2,39	15,8
10	2,57	17,7
11	2,38	14
12	2,68	16,5
13	2,77	18,5
14	2,64	16,1
15	2,68	18,1
16	2,65	15,2
17	2,66	17,2
18	2,32	14,1
19	2,42	14,6
20	2,86	16,8
21	2,54	16,5
22	2,62	15,2
23	2,38	14,2
24	2,43	16,3
25	2,69	17
26	2,68	15
27	2,84	17,4
28	2,45	17,1
29	2,22	14,9
30	2,86	16,6
31	2,68	16,2
32	2,51	14,9
33	2,35	16,2
34	2,69	15,6
35	2,33	15
36	2,55	15,9
37	2,99	18,8
38	2,91	18,2
39	2,95	19,1
40	2,33	14,8
41	2,61	16
42	2,82	16,5
43	2,54	14,4
44	2,59	17,1
45	2,59	16,1
46	2,19	13,6
47	2,4	15,7
48	2,7	16,4
49	2,77	16,6
50	2,34	14,7
51	2,2	12,7
52	2,68	15,9
53	2,27	14,6
54	2,57	15,6
55	2,76	15,9
56	2,48	13,7
57	2,32	15,3
58	2,31	16
59	2,48	14,9
60	2,63	16,8
průměr drsností ( $\mu\text{m}$ )	2,54	15,86
směrodatná odchylka	0,20	1,39
variační koeficient(%)	8,04	8,76

Korund F60

Měření	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	3,33	20,9
2	3,16	20
3	2,92	18,1
4	3,02	18,7
5	3,04	17,5
6	3,1	20,8
7	3,29	20
8	2,92	18,8
9	3,22	20,6
10	3,65	22,3
11	3,21	21,1
12	3,15	21,7
13	3,14	20,2
14	2,9	17,6
15	3,26	21,1
16	3,32	20,9
17	3,3	18,9
18	3,25	18,5
19	3,28	21,1
20	3,17	21,2
21	2,8	17
22	3,31	21,6
23	2,92	19,2
24	2,98	20,6
25	3,6	21,6
26	3,49	20,8
27	3,15	20,9
28	3,3	21,6
29	3,22	19,9
30	3,22	20,6
31	3,9	24,3
32	3,1	20,3
33	3,56	22,5
34	2,92	16,9
35	3,11	21,8
36	2,93	17,5
37	2,92	19,3
38	3,31	18,6
39	3,59	22,6
40	3,52	21,2
41	3,4	20,8
42	3,48	20,4
43	3,24	20,3
44	2,98	17,8
45	2,86	17,3
46	2,86	17,9
47	3,59	21,9
48	3,4	20,7
49	3,53	21,5
50	2,93	17,2
51	3,55	23,8
52	3,38	18,8
53	3,04	20,3
54	2,83	18,3
55	3,19	19
56	3,31	20,7
57	3,17	18,6
58	3,47	22
59	3,26	20,9
60	3,35	19,3
průměr drsností ( $\mu\text{m}$ )	3,22	20,11
směrodatná odchylka	0,24	1,69
variační koeficient(%)	7,45	8,39



## Korund F120

Měření	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	1,56	10,2
2	1,36	10,3
3	1,89	10,4
4	1,65	11,1
5	1,76	11,1
6	1,99	13,4
7	1,8	11,7
8	1,81	12,7
9	1,74	10,9
10	1,84	11,3
11	1,73	10,7
12	1,54	9,4
13	1,65	9,6
14	1,64	10
15	1,85	12,1
16	1,8	10,2
17	1,5	9,4
18	1,67	10,6
19	1,84	10,7
20	1,46	10,1
21	1,05	7,4
22	1,56	10,5
23	1,57	10,5
24	1,57	9,6
25	1,65	10,6
26	1,5	10,5
27	1,47	9,4
28	1,59	10
29	1,65	10,1
30	1,65	10,9
31	1,68	11,9
32	1,55	11,3
33	1,48	9,2
34	1,48	8,5
35	1,61	9,5
36	1,71	11
37	1,5	9,8
38	1,44	10,1
39	1,38	9
40	1,52	9,6
41	1,59	9,9
42	1,45	8,6
43	1,43	9,2
44	1,42	8,6
45	1,44	9,5
46	1,79	11,5
47	1,66	11,7
48	1,55	11,1
49	1,52	11,5
50	1,8	12,2
51	1,9	13,1
52	1,46	9,5
53	1,58	9,6
54	1,59	11,2
55	1,71	11,3
56	1,54	9,7
57	1,56	10,4
58	1,67	9,8
59	1,66	11,3
60	1,78	11,3
<i>průměr drsností (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	1,61	10,44
<i>směrodatná odchylka</i>	0,16	1,13
<i>variační koeficient(%)</i>	9,93	10,86

## Karbíd křemíku F220

Měření	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	1,19	6,9
2	1,43	3,8
3	1,44	7,6
4	1,3	8
5	1,18	6,9
6	1,27	7,4
7	0,98	6,3
8	1,24	7,6
9	1,21	7,1
10	1,34	9,4
11	1,34	8,4
12	1,06	7
13	1,76	8,8
14	1,18	7
15	1,32	8
16	1,21	7,2
17	1,16	8,1
18	1,31	7,6
19	1,28	7,8
20	1,38	8,5
21	1,24	7,6
22	1,57	9,6
23	1,21	7,1
24	1,31	7,8
25	1,09	6,8
26	1,16	7,2
27	1,41	9,4
28	1,12	7
29	1,23	7,6
30	1,26	7,9
31	1,16	6,8
32	1,41	8,2
33	1,28	8,1
34	1,32	7,9
35	1,37	8,4
36	1,13	8
37	1,34	8,2
38	1,21	7,5
39	1,29	8,4
40	1,26	8,1
41	1,47	8,5
42	1,12	7
43	1,18	7,7
44	0,99	6,4
45	1,43	8,3
46	1,17	7
47	1,24	7,5
48	1,22	8,1
49	1,24	7,6
50	1,24	8
51	1,12	7
52	1,13	7,5
53	1,18	7,5
54	1,25	7,5
55	1,23	7
56	1,15	7,9
57	1,27	7,8
58	1,13	7,3
59	1,22	7,1
60	1,25	7,7
<i>průměr drsností (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	1,25	7,62
<i>směrodatná odchylka</i>	0,13	0,84
<i>variační koeficient(%)</i>	10,36	11,01

Balotina B124

Měření	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	1,45	8,3
2	1,43	9
3	1,39	8,6
4	1,54	9,2
5	1,31	8,5
6	1,5	8,6
7	1,43	8,6
8	1,57	9
9	1,47	8,3
10	1,49	8,9
11	1,41	8,2
12	1,46	7,5
13	1,79	9,4
14	1,53	8,4
15	1,52	9
16	1,53	9,2
17	1,53	8,8
18	1,67	9,1
19	1,5	8,7
20	1,54	8,3
21	1,42	8,2
22	1,44	8,4
23	1,48	8,2
24	1,41	9,1
25	1,8	9,4
26	1,53	9,1
27	1,37	8
28	1,59	10,4
29	1,65	9,9
30	1,74	9,8
31	1,75	10,5
32	1,66	9,4
33	1,53	9,2
34	1,58	8,9
35	1,54	8,2
36	1,34	7,6
37	1,66	9,7
38	1,47	9,2
39	1,46	8,8
40	1,78	9,1
41	1,53	8,5
42	1,43	8,3
43	1,49	8,8
44	1,64	9,5
45	1,55	8,3
46	1,4	8,8
47	1,5	8,4
48	1,58	8,6
49	1,75	10,4
50	1,56	7,9
51	1,58	9,4
52	1,53	8,9
53	1,67	9,2
54	1,39	7,8
55	1,44	9,1
56	1,59	9,6
57	1,61	9,6
58	1,42	7,9
59	1,86	10,6
60	1,52	8,6
<i>průměr drsností (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	1,54	8,88
<i>směrodatná odchylka</i>	0,12	0,69
<i>variační koeficient(%)</i>	7,83	7,75

neupraveno

Měření	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	0,97	5,8
2	0,96	5,3
3	1,2	6,2
4	1,1	6
5	1,23	6,4
6	0,88	5,1
7	1,22	7,3
8	1,29	6,4
9	1,28	6,6
10	1,12	5
11	1,31	6,4
12	1,1	6,6
13	1,27	6,2
14	1,3	6,4
15	1,17	6,8
16	0,93	4,8
17	1,34	7,4
18	1,02	6,8
19	0,78	4,7
20	1,51	8,1
21	1,27	7,9
22	1,36	7,5
23	1,15	6,7
24	1,3	6,8
25	0,99	5,8
26	1,49	7,4
27	1,34	7,3
28	1,17	7,1
29	0,98	5,9
30	1,29	6,5
31	1,29	7,1
32	1,41	8,3
33	0,89	5,7
34	1,38	6,9
35	1,24	7,6
36	1,24	6,4
37	1,37	8,1
38	1,47	8,1
39	1,4	8,3
40	1,24	7,3
41	1,04	5,8
42	1,37	7
43	0,82	5,2
44	0,99	6,3
45	1,19	6,3
46	1,12	6,1
47	1,23	6,6
48	1,08	6,8
49	1,27	7,2
50	1,23	6,1
51	1,05	4,9
52	1,14	5,9
53	1,28	6,4
54	1,05	6,1
55	1,31	6,9
56	1,03	5,4
57	1,31	7,3
58	1,04	5,9
59	1,38	8
60	1,02	5,9
<i>průměr drsností (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	1,19	6,55
<i>směrodatná odchylka</i>	0,17	0,90
<i>variační koeficient(%)</i>	14,24	13,74

### Příloha 3: Naměřené pevnosti lepeného spoje

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient t [%]	AB[%]	aritmetický průměr prodloužení [%]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient	aritmetický průměr prodloužení [t]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	1	4554,05	11,65	a	15,64			2,8				42,08		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	2	4910,95	13,6	a	14,44			3,64				54,68		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	3	4369,05	12,68	a	13,78			3,1				46,48		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	4	4372,4	12,33	a	14,18			2,62				39,3		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	5	4495,3	13,05	a	13,78		6,06	2,54	2,89	0,39	13,37	38,18	5,80	13,37
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	6	4287,35	12,85	a	13,35			2,63				39,51		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	7	4308,7	12,94	a	13,32			2,35				35,25		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	8	5208,7	13,47	ak	15,47			3,44				51,61		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	9	4772	12,17	a	15,68			2,97				44,6		
2-K-Epoxidkleber	Granát F 80	10	4433,05	12,68	a	13,98			2,78				41,68		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	1	4273,85	13,04	ak	13,11			3,03				45,45		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	2	5156,1	13,05	ak	15,80			3,72				55,86		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	3	4745,7	13,37	ak	14,20			3,28				49,16		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	4	4842,65	13,26	ak	14,61			3,48				52,18		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	5	4742,9	12,58	a	15,08			3,26	3,40	0,30	8,79	48,95	4,48	8,79
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	6	4534,7	13,31	ak	13,63			3,51				52,68		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	7	4464,1	12,76	ak	13,99			3,28				49,26		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	8	4783,15	12,9	ak	14,83			3,91				58,69		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	9	4478,2	12,53	ak	14,30			3,61				54,19		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 60	10	4126,5	12,07	ak	13,68			2,87				43,11		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	1	2642,75	11,59	ak	9,12			2,08				31,27		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	2	3558	13,2	ak	10,78			2,49				37,32		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	3	2884,5	12,07	ak	9,56			2,48				37,24		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	4	2556,7	12,37	ak	8,27			2,26				33,84		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	5	3315,35	12,79	ak	10,37			2,88	2,46	0,22	8,85	43,24	3,27	8,85
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	6	2724,45	12,36	ak	8,82			2,41				36,2		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	7	3667,35	12,41	ak	11,82			2,43				36,45		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	8	3084,7	12,61	ak	9,78			2,69				40,39		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	9	2960,4	12,86	ak	9,21			2,63				39,5		
2-K-Epoxidkleber	Korund F 120	10	2953,45	12,61	ak	9,37			2,29				34,43		

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	pevnost [MPa]	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka	variáční koeficient t [%]	AB [%]	aritmetický průměr prodloužení [%]	směrodatná odchylka	variáční koeficient [%]	t[s]	aritmetický průměr prodloužení [t]	směrodatná odchylka	variáční koeficient [%]
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	1	3034,3	13,37	ak	9,08				2,23				33,53			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	2	2870,95	12,26	ak	9,37				2,19				32,84			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	3	3435,55	12,31	ak	11,16				2,74				41,1			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	4	3051,75	12,88	a	9,48				2,7				40,54			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	5	3364,9	12,57	ak	10,71			8,03	2,76	2,47	0,23	9,32	41,45	36,99	3,44	9,31
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	6	2961,25	12,19	ak	9,72	10,06	0,81		2,17				32,59			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	7	2841,05	12,39	ak	9,17				2,29				34,34			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	8	3029,6	11,75	ak	10,31				2,37				35,58			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	9	3528,6	12,25	ak	11,52				2,69				40,34			
2-K-Epoxidkleber	Silicon carbide F 220	10	3196,85	12,68	ak	10,08				2,51				37,61			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	1	1709,6	11,21	a	6,10				0,79				11,83			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	2	1219,75	11,15	a	4,38				0,78				11,66			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	3	1608,25	11,49	a	5,60				0,94				14,06			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	4	1253,5	12,41	ak	4,04				0,71				10,7			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	5	947,75	11,73	a	3,23	4,22	0,87		0,34	0,65	0,20	30,05	5,11	9,74	2,91	29,83
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	6	980,5	11,3	a	3,47				0,42				6,35			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	7	1020,9	11,08	a	3,69				0,35				5,27			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	8	1261,55	12,99	ak	3,88				0,76				11,36			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	9	1317,5	13,18	a	4,00				0,7				10,52			
2-K-Epoxidkleber	Balotina B 134	10	1238,3	12,89	a	3,84				0,7				10,55			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	1	608,6	11,9	a	2,05				0,48				7,15			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	2	1336,6	13,38	a	4,00				0,86				12,86			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	3	1018,4	13,81	ak	2,95				0,74				11,05			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	4	1161,85	13,43	ak	3,46				0,85				12,84			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	5	1561,7	13,69	ak	4,56	3,27	0,72	22,14	1,12	0,71	0,21	29,63	16,78	10,61	3,15	29,72
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	6	942,85	13,58	ak	2,78				0,51				7,61			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	7	1311,65	12,9	ak	4,07				0,77				11,57			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	8	810,5	11,7	ak	2,77				0,41				6,18			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	9	887,7	12,95	a	2,74				0,53				7,92			
2-K-Epoxidkleber	odmaštěno	10	1101,2	13,13	ak	3,35				0,81				12,16			

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka t [%]	variabilní koeficient t [%]	aritmetický průměr prodloužení AB[%]	směrodatná odchylka t [%]	aritmetický průměr prodloužení t[s]	variabilní koeficient t [%]	aritmetický průměr prodloužení i [t]	směrodatná odchylka i [%]	variabilní koeficient i [%]
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	1	530,5	11,75	a	1,81			0,21		3,22				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	2	299	13,62	a	0,88			0,12		1,85				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	3	446,6	14,42	a	1,24			0,17		2,63				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	4	327,5	11,66	a	1,12			0,12		1,82				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	5	293,75	13,05	a	0,90			0,12		1,76				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	6	448,85	12,52	a	1,43	1,42	0,39	0,21	0,24	3,11	54,50	3,67	2,00	54,48
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	7	573,95	12,81	a	1,79			0,2		3,06				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	8	687,8	13,26	a	2,07			0,54		8,18				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	9	575,7	13,11	a	1,76			0,34		5,16				
2-K-Epoxidkleber	neupraveno	10	404,5	13,09	a	1,24			0,39		5,93				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	1	4055,35	13,44	a	12,07			2,84		42,65				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	2	3715,3	13,07	a	11,37			3,06		45,96				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	3	4351,3	12,99	ak	13,40			3,28		49,15				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	4	4862,75	13,15	ak	14,79			3,64		54,59				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	5	3495,95	12,68	a	11,03	12,85	1,46	2,73	3,20	40,94	20,65	47,98	9,90	20,63
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	6	4604,45	13,18	ak	13,97			4,47		67,03				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	7	3536,7	12,69	a	11,15			2,42		36,35				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	8	3811,65	12,97	a	11,76			3,55		53,27				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	9	4649,85	12,53	ak	14,84			3,82		57,35				
UHU Plus Schnellfest	Granát F 80	10	4491,8	12,7	a	14,15			2,17		32,52				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	1	4190,45	12,78	ak	13,12			2,26		33,87				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	2	3445,3	12,38	ak	11,13			2,06		30,96				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	3	4206,2	12,25	ak	13,73			2,88		43,27				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	4	3279,45	12,06	ak	10,88			2,3		34,58				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	5	3121	12,93	ak	9,66	11,22	1,37	2,12	2,29	31,85	13,23	34,30	4,54	13,24
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	6	2977,5	12,01	ak	9,92			1,94		29,11				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	7	2994,2	12,54	ak	9,55			1,88		28,21				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	8	3739	12,73	ak	11,75			2,57		38,62				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	9	3332,85	12,87	ak	10,36			2,22		33,28				
UHU Plus Schnellfest	Korund F 60	10	3778,65	12,53	ak	12,06			2,62		39,25				

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka σ [%]	variabilní koeficient t [%]	aritmetický průměr prodloužení AB [%]	směrodatná odchylka σ [%]	variabilní koeficient	aritmetický průměr prodloužení t [s]	směrodatná odchylka σ [%]	variabilní koeficient
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	1	3184,65	13,42	ak	9,49			2,54			38,06		
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	2	3634,95	13,31	ak	10,92			2,63			39,43		
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	3	2722,5	12,85	ak	8,47			2,33			34,91		
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	4	3805,8	13,41	ak	11,35			2,8			42,06		
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	5	3130,2	13,88	ak	9,02			2,26			33,91		11,29
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	6	2013,9	12,98	ak	6,21	1,82	19,52	2,09	0,28	11,25	31,4	4,15	
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	7	3211,25	13,35	ak	9,62			2,7			40,53		
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	8	3749,55	12,18	a	12,31			2,86			42,97		
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	9	2857,45	12,45	a	9,18			2,21			33,21		
UHU Plus Schnellfest	Korund F 120	10	2078,15	12,4	ak	6,70			2,09			31,3		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	1	3732,1	13,05	ak	11,44			2,43			36,5		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	2	3323,1	12,42	ak	10,70			2,19			32,88		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	3	3838,75	13,25	ak	11,59			2,44			36,6		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	4	3282,7	12,17	ak	10,79			2,39			35,8		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	5	3383,5	12,39	a	10,92			2,41			36,16		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	6	3141,2	12,67	ak	9,92	0,91	8,88	2,29	0,14	6,26	34,38	2,13	6,25
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	7	3398,45	13,58	ak	10,01			2,31			34,71		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	8	2931,65	12,5	a	9,38			2,07			31,13		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	9	2990,25	12,97	a	9,22			2,14			32,11		
UHU Plus Schnellfest	Silicon carbide F 220	10	2797,3	12,76	ak	8,77			2,05			30,7		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	1	1173,8	13,17	a	3,57			0,27			4,1		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	2	1582,5	12,74	ak	4,97			0,82			12,34		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	3	1658,65	13,36	a	4,97			1,16			17,49		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	4	1755,85	12,24	a	5,74			0,96			14,49		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	5	1593,25	11,96	a	5,33			0,71			10,69		35,42
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	6	2023,35	12,95	a	6,25	1,00	19,70	1,32	0,32	35,58	19,76	4,87	
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	7	1689,05	12,65	ak	5,34			0,96			14,42		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	8	1298,4	12,08	a	4,30			0,82			12,34		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	9	1105,1	12,48	a	3,54			0,66			9,97		
UHU Plus Schnellfest	Balotina B 134	10	2105	12,49	ak	6,74			1,45			21,81		

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka	variace koeficient t [%]	AB [%]	aritmetický průměr prodloužení [ %]	směrodatná odchylka	variace koeficient [%]	t[s]	aritmetický průměr prodloužení l [t]	směrodatná odchylka	variace koeficient [%]
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	1	694,7	13,12	a	2,12			0,32				4,79			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	2	1405,8	11,43	ak	4,92			0,95				14,31			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	3	1395,55	12,57	ak	4,44			1,02				15,33			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	4	850,6	12,32	a	2,76			0,5				7,54			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	5	983,55	13,09	ak	3,01	3,31		0,53	0,58	0,31	54,16	8,04	8,73	4,70	53,89
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	6	859,45	12,30	ak	2,79			0,36				5,42			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	7	757,85	11,15	ak	2,72			0,2				3,06			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	8	1232,75	12,30	ak	4,01			0,84				12,59			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	9	719,95	13,39	a	2,15			0,14				2,17			
UHU Plus Schnellfest	odmaštěno	10	1241,9	11,75	a	4,23			0,93				14,03			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	1	577,3	11,43	a	2,02			0,23				3,44			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	2	955,8	11,98	a	3,19			0,47				7,05			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	3	881,1	11,2	a	3,15			0,34				5,08			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	4	1073,25	11,59	a	3,70			0,61				9,11			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	5	1200,05	12,17	a	3,94	3,10		0,66	0,50	0,13	26,35	9,93	7,48	1,98	26,52
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	6	977,2	12,13	a	3,22			0,58				8,75			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	7	1126,2	13,42	a	3,36			0,53				8,01			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	8	819,6	12,67	a	2,59			0,4				5,97			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	9	922,3	13,41	a	2,75			0,63				9,48			
UHU Plus Schnellfest	neupraveno	10	1003,75	12,91	a	3,11			0,53				8			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	1	3568,6	11,75	k	12,15			2,42				36,26			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	2	3307,4	12,17	ak	10,87			2,11				31,62			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	3	3684,3	12,29	k	11,99			2,89				43,42			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	4	3682,3	12,06	k	12,21			3,29				49,42			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	5	3442,25	12,67	ak	10,87	11,33		2,3	2,61	0,39	14,98	29,14	39,11	5,87	15,01
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	6	3244,55	12,44	ak	10,43			1,94				39,39			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	7	3470,8	12,35	ak	11,24			2,62				41,56			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	8	3541,95	12,36	ak	11,46			2,77				43,39			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	9	3571,55	13,15	ak	10,86			2,89				42,4			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Granát F 80	10	3669,05	13,12	k	11,19			2,83							

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient t [%]	aritmetický průměr prodloužení AB [%]	aritmetický průměr prodloužení	směrodatná odchylka	variabilní koeficient [%]	t[s]	aritmetický průměr prodloužení l [t]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient [%]
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	1	3026,8	12,71	ak	9,53			2,06				30,96			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	2	2429,25	12,97	ak	7,49			1,84				27,63			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	3	3871,1	12,82	k	12,08			2,59				38,84			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	4	3577,6	13,04	k	10,97			2,33				34,95			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	5	3633,6	13,55	k	10,73		1,17	2,22	2,22	0,20	9,01	33,26	33,27	2,97	8,93
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	6	3383,45	12,44	k	10,88			2,08				31,29			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	7	3555,7	12,99	k	10,95			2,36				35,36			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	8	3207,75	12,27	k	10,46			2,12				31,89			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	9	3478,75	13,25	ak	10,50			2,39				35,88			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 60	10	2810,3	11,8	ak	9,53			2,18				32,68			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	1	2117,45	12,85	ak	6,59			1,17				17,56			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	2	2171,45	12,56	ak	6,92			1,18				17,7			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	3	1891,3	12,66	a	5,98			0,87				13,01			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	4	2533,45	12,51	k	8,10			1,86				27,92			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	5	2730,85	11,7	ak	9,34		1,15	1,53	1,28	0,26	19,99	22,99	19,17	3,84	20,03
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	6	2074,3	13,97	a	5,94			1,31				19,64			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	7	2165,4	13,37	a	6,48			1,26				18,87			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	8	2284,75	14,65	a	6,24			1,07				16,07			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	9	1908,15	13,28	a	5,75			1,17				17,64			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Korund F 120	10	2760,85	13,22	ak	8,35			1,35				20,3			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	1	3296,25	13,6	ak	9,69			2,86				42,95			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	2	3402,6	12,98	ak	10,49			2,62				39,36			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	3	3310,1	12,77	ak	10,37			2,32				34,88			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	4	3491,75	13,85	ak	10,08			2,62				39,25			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	5	2903,05	12,1	ak	9,60		0,54	2,36	2,46	0,20	8,31	35,49	36,89	3,07	8,31
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	6	3372,4	12,26	ak	11,00			2,46				36,86			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	7	2798,9	12,04	ak	9,30			2,13				31,94			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	8	3161,15	12,35	ak	10,24			2,58				38,7			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	9	2884,25	12,23	ak	9,43			2,39				35,91			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Silicon carbide F 220	10	3092,75	13,19	ak	9,38			2,24				33,59			



Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	pevnost	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient t [%]	AB [%]	aritmetický průměr prodloužení [%]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient [%]	t[s]	aritmetický průměr prodloužení i [t]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient [%]
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Medium	1	826,8	13,39	ak	2,47				1,13				17,03			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	2	1282,9	11,6	ak	4,42				1,4				20,95			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	3	1006,5	12,47	ak	3,23				1,26				18,98			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	4	937,3	10,86	a	3,45				1,09				16,32			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	5	1771,35	11,52	a	6,15				2,01				30,17			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	6	1658,1	11,26	ak	5,89				1,59				23,89			23,67
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	7	1661,4	12,54	a	5,30				1,48				22,27			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	8	1228,05	12,07	ak	4,07				1,12				16,78			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	9	755,7	12,34	a	2,45				0,87				13,02			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	Balotina B 134	10	1340,2	13,15	a	4,08				1,7				25,53			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	1	618,85	12,63	a	1,96				0,17				2,61			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	2	710,8	12,53	a	2,27				0,36				5,41			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	3	669,55	12,25	a	2,19				0,35				5,21			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	4	890,25	12,54	a	2,84				0,35				5,28			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	5	635,15	11,86	a	2,14				0,4				6,07			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	6	996,05	11,4	ak	3,49				0,58				8,79			34,07
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	7	866,15	12,49	a	2,77				0,45				6,84			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	8	883,9	12,88	ak	2,75				0,49				7,44			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	9	841,8	13,53	ak	2,49				0,49				7,32			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	odmaštěno	10	1195,1	13,3	a	3,59				0,77				11,49			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	1	454,6	14,19	a	1,28				0,19				2,81			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	2	418,6	12,89	a	1,30				0,06				0,95			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	3	420	13,46	a	1,25				0,22				3,37			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	4	322,55	12,82	ak	1,01				0,08				1,17			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	5	503,9	12,77	ak	1,58				0,23				3,44			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	6	574	13,32	a	1,72				0,16				2,44			39,01
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	7	413,65	12,83	a	1,29				0,09				1,35			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	8	620,75	14,48	ak	1,71				0,2				3,05			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	9	425,05	11,85	a	1,43				0,12				1,86			
Alteco 3-Ton Quick Epoxy	neupraveno	10	504,55	13,52	ak	1,49				0,23				3,42			

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	aritmetický průměr pevnosti [MPa]	směrodatná odchylka	variální koeficient t [%]	AB[%]	aritmetický průměr prodloužení [%]	směrodatná odchylka	variální koeficient [%]	t[s]	aritmetický průměr prodloužení l [t]	směrodatná odchylka	variální koeficient [%]
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	1	3597,2	13,02	a	11,05			2,25				6,77			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	2	3594,2	12,81	ak	11,22			2,21				33,24			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	3	2698,4	12,29	a	8,78			1,9				28,49			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	4	3537,65	12,08	a	11,71			2,14				32,17			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	5	3200,7	12,07	a	10,61			1,74				26,12			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	6	3457,15	12,78	a	10,82	1,26	12,49	1,98	1,95	0,19	9,94	29,78	26,63	7,08	26,60
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	7	3101,25	12,46	a	9,96			1,63				24,49			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	8	2912,2	13,04	a	8,93			2,02				30,28			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	9	3006,55	11,93	a	10,08			1,83				27,49			
CHS - Epoxy 324	Granát F 80	10	2460,25	13,25	a	7,43			1,83				27,45			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	1	4222,8	12,43	a	13,59			2,21				33,24			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	2	4245,5	12,64	ak	13,44			2,61				39,14			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	3	4218,05	12,49	ak	13,51			3,06				45,86			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	4	3703,1	11,88	ak	12,47			2,35				35,2			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	5	4305,3	12,44	ak	13,84			3,52				52,82			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	6	4470,65	12,63	ak	14,16	0,58	4,27	2,64	2,78	0,35	12,60	39,65	41,63	5,23	12,57
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	7	4607,45	12,65	a	14,57			2,97				44,53			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	8	4749,5	14,63	ak	12,99			2,78				41,68			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	9	4418,3	13,27	a	13,32			2,79				41,84			
CHS - Epoxy 324	Korund F 60	10	4016,2	12,35	ak	13,01			2,82				42,37			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	1	3414	12,59	ak	10,85			2,19				32,83			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	2	3407,9	11,77	ak	11,58			2,85				42,77			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	3	3497,9	11,87	ak	11,79			3,19				47,93			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	4	2936,3	11,73	ak	10,01			1,66				24,86			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	5	3023,85	11,68	ak	10,36			2,29				34,38			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	6	3151,75	11,75	a	10,73	0,60	5,34	1,9	2,24	0,49	21,89	28,48	33,60	7,37	21,94
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	7	3481,8	12,18	a	11,43			2,19				32,87			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	8	3571,55	12,06	a	11,85			2,59				38,81			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	9	3507,65	12,26	a	11,44			1,54				23,12			
CHS - Epoxy 324	Korund F 120	10	3396,3	11,84	a	11,47			2				29,99			

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	pevnost	aritmetický průměr	směrodatná odchylka	variabilní koeficient t [%]	AB[%]	aritmetický průměr prodloužení [%]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient	aritmetický průměr prodloužení i [t]	směrodatná odchylka	variabilní koeficient [%]
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	1	3872,5	14,5 ak		10,68				2,75				41,23		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	2	4195,35	13,31 ak		12,61				3				44,95		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	3	3124,35	12,81 ak		9,76				2,27				34,07		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	4	3473,5	13,73 ak		10,12				2,65				39,79		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	5	4149,1	13,18 ak		12,59				2,43				36,52		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	6	3574,65	13,84 ak		10,33		1,05	9,50	2,42				36,31	0,25	9,65
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	7	3093,85	12,14 ak		10,19				2,38				35,77		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	8	3444,4	12,4 ak		11,11				3,09				46,42		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	9	3383,75	12,72 ak		10,64				2,71				40,71		
CHS - Epoxy 324	Silicon carbide F 220	10	3800,5	12,15 ak		12,51				2,68				40,16		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	1	2509,3	12,96 ak		7,74				2,18				32,66		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	2	2070,95	13,02 ak		6,36				2,09				31,35		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	3	2374,15	12,14 ak		7,82				2,3				34,58		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	4	1914,5	12,09 ak		6,33				1,79				26,95		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	5	2044,7	11,61 ak		7,04				1,95				29,32		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	6	2338,45	12,55 a		7,45		0,60	8,41	1,81				27,25	0,16	8,25
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	7	2069,85	12,74 ak		6,50				1,86				27,88		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	8	2507,65	13,22 a		7,59				1,85				27,73		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	9	2587,4	13,55 a		7,64				2,1				31,48		
CHS - Epoxy 324	Balotina B 134	10	2216,6	13,83 ak		6,41				1,93				28,95		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	1	1512,1	13,2 ak		4,58				1,09				16,43		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	2	1267,05	13,23 ak		3,83				0,9				13,47		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	3	1307,2	13,19 ak		3,96				0,94				14,13		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	4	1451,45	12,54 a		4,63				1,33				19,89		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	5	1532,85	11,86 ak		5,17				1,01				15,24		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	6	1818,1	12,93 ak		5,62		0,52	11,52	1,35				20,35	0,40	49,53
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	7	1363,75	12,38 ak		4,41				0,36				5,47		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	8	1390	12,89 a		4,31				0,34				5,08		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	9	1434,85	13,1 a		4,38				0,35				5,23		
CHS - Epoxy 324	odmaštěno	10	1340,75	13,07 a		4,10				0,33				4,92		

Lepidlo	Medium	N	FH[N]	s[mm]	porucha	pevnost [MPa]	aritmetický		aritmetický průměr prodloužení AB[%] [%]	aritmetický průměr prodloužení t[s]	aritmetický průměr prodloužení i[t]	variace koeficient směrodatná odchylka [%]	variace koeficient směrodatná odchylka [%]
							průměr pevnosti MPa	směrodatná odchylka t [%]					
CHS - Epoxy 324	neupraveno	1	1245,8	12,25	a	4,07		0,7		10,51			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	2	906,25	12,25	a	2,96		0,46		6,85			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	3	1045,55	12,28	a	3,41		0,67		10,1			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	4	875,25	12,54	a	2,79		0,54		8,14			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	5	572,3	11,08	a	2,07		0,18		2,77			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	6	1120,9	12,15	a	3,69	3,12	0,89	0,52	13,34	7,79	3,14	40,27
CHS - Epoxy 324	neupraveno	7	656,8	12,5	ak	2,10		0,18		2,75			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	8	1056,6	12,46	a	3,39		0,53		8,01			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	9	1086,55	12,26	ak	3,55		0,59		8,93			
CHS - Epoxy 324	neupraveno	10	1013,7	12,7	a	3,19		0,43		6,45			