



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

HODNOCENÍ ÚPRAVY POVRCHU DŘEVA POMOCÍ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD

EVALUATION OF WOOD SURFACE TREATMENTS BY NON-DESTRUCTIVE METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matěj Plšek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN VANĚREK, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Matěj Plšek
Název	Hodnocení úpravy povrchu dřeva pomocí nedestruktivních metod
Vedoucí práce	doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Lišičan, J. a kol. teória a technika spracovania dreva. TU Zvolen, Matcentrum, 626 s, ISBN 80-967315-6-4

Josten, E., Reiche, T., Wittchen, B. Dřevo a jeho obrábění. Grada publishing, a.s., 2010, ISBN 978-80-247-2961.9

Aydin, I. Activation of wood surfaces for glue bonds by mechanical pre-treatment and its effects on some properties of veneer surfaces and plywood panels. Applied Surface Science, 233 (1-4), 2004, pp. 268-274

Luedtke, J., Amen, C., van Ofen, A., Lehringer, Ch. 1C-PUR –bonded hardwoods for engineered wood products: influence of selected processing parameters, Eur. J. Wood. Prod. (2015) 73: 167-178

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Typ dosažené kvality povrchu dřeva je volen v závislosti na jeho dalším využití. Různý stupeň drsnosti povrchu hraje velmi důležitou roli zejména při aplikaci nátěrových systémů, pro lepení dřeva či pro příjem impregnační látky. Z hlediska lepených dřevěných prvků může kvalita povrchu ovlivňovat zejména hloubku průniku lepidla.

V rámci bakalářské práce autor popíše základní technologie obrábění dřeva, dále hlavní makroskopické znaky dřeva, dle kterých se provádí vizuální třídění dřeva dle pevnosti či ovlivňují volbu technologie jeho obrábění. Dominantní část teoretické části bude zaměřena na popis zobrazovacích metod, kterými lze identifikovat drsnost obráběného povrchu.

V dílčí experimentální části bude autor sledovat případnou závislost různého stupně drsnosti povrchu dřeviny na příjem a hloubku průniku lepidla. Rovněž bude sledován vliv různého druhu opracování dřeva (hoblování, pískování, úprava brusným papírem) na parametru drsnosti povrchu, stanovené konfokální mikroskopii.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V této bakalářské práci budou popsány základní technologie obrábění dřeva a makroskopické znaky podle kterých se provádí vizuální třídění dřeva dle pevnosti. Budou popsány zobrazovací metody, kterými lze identifikovat drsnost povrchu dřeva. V experimentální části budou zjištěny parametry drsnosti povrchu pro různé metody povrchové úpravy a sledována případná závislost drsnosti povrchu dřeva na smáčení a hloubku průniku adheziva.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dřevo, adheziva, parametr drsnosti, smáčení, hloubka průniku

ABSTRACT

This bachelor thesis will be describing the basic technologies of timber processing and macroscopic signs according to which the visual strength grading is performed. Imaging methods will be described to identify the roughness of wood surface. In the experimental part, the surface roughness parameters for various surface treatment methods will be determined and the dependence of the surface roughness on wetting and penetration depth of the adhesive will be monitored.

KEYWORDS

Wood, adhesives, roughness parameter, wetting, penetration depth

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Matěj Pišek *Hodnocení úpravy povrchu dřeva pomocí nedestruktivních metod*. Brno, 2017. 60 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 5. 2017

Matěj Plšek
autor práce

Poděkování

Dovoluji si touto formou poděkovat za cenné rady při zpracování vedoucímu bakalářské práce **doc. Ing. Janu Vaněrkovi, Ph.D.**, dále děkuji **Mgr. Ivovi Kusákovi, Ph.D.** a **doc. Ing. Simoně Fialové, Ph.D.** za jejich ochotu ke spolupráci a poskytnutí prostředků pro zpracování této práce.

1	Úvod.....	11
2	Třídění dřeva.....	11
2.1	Znaky třídění	12
2.1.1	Suky	12
2.1.2	Odklon vláken.....	13
2.1.3	Hustota a průměrná šířka letokruhů	13
2.1.4	Trhliny.....	14
2.1.5	Obliny	15
2.1.6	Zakřivení.....	15
2.1.7	Poškození dřeva hnilobou a hmyzem.....	16
2.2	Vizuální třídění podle pevnosti	16
2.3	Strojní třídění podle pevnosti	17
2.4	Třídy pevnosti	19
3	Posuzování hrubosti povrchů.....	19
3.1	Mechanické měření drsnosti	19
3.1.1	Měření profilometrem	19
3.2	Zobrazovací metody.....	20
3.2.1	Laserový rastrovací konfokální mikroskop (LSCM)	20
3.2.2	Mikroskopie atomárních sil (AFM)	21
4	Určování parametrů drsnosti.....	23
4.1	Základní pojmy týkající se určování parametrů drsnosti	23
4.1.1	Drsnost	23
4.1.2	Vlnitost.....	23
4.1.3	Tvar povrchu	24
4.2	Filtry	24
4.2.1	Filtr profilu.....	24
4.3	Profily	24
4.3.1	Geometrické parametry	26
5	Úprava povrchu dřeva.....	28
5.1	Strojní broušení dřeva.....	29
5.2	Faktory ovlivňující proces broušení.....	29
5.2.1	Druh obráběného materiálu	29
5.2.2	Směr broušení	29
5.2.3	Řezná rychlost.....	29

5.2.4	Posuvná rychlost obrobku	30
5.2.5	Vlhkost dřeva.....	30
5.2.6	Přítlak – přítlačná síla při broušení	30
5.3	Rozdělení brusek na dřevo a dřevěné materiály	30
5.3.1	Kotoučové brusky.....	30
5.3.2	Válcové brusky	31
5.3.3	Pásové brusky.....	32
5.3.4	Kombinované brusky	34
6	Poznatky zjištěné z rešerší vědeckých článků	34
6.1	Závislost drsnosti povrchu na parametru smáčení dřeva	35
6.1.1	Hodnocení závislosti různé drsnosti povrchu na smáčivost různých druhů lepidel	35
7	Cíl práce.....	37
8	Metodika zkoušek	38
8.1	Povrchová úprava dřeva	38
8.2	Lepidla pro konstrukční účely.....	38
8.2.1	Nízkoviskozní epoxidová pryskyřice (Epoxid).....	38
8.2.2	Fenol-rezorcín formaldehydové lepidlo (PRF)	39
8.2.3	Polyuretanové lepidlo (PUR)	39
8.2.4	Emulzní polyisokyanátové lepidlo (EPI).....	40
8.3	Měření nerovnosti povrchu vzorků	40
8.4	Stanovení smáčivosti povrchu pomocí měření kontaktního úhlu	41
8.5	Stanovení hloubky průniku lepidla do dřeva.....	42
9	Výsledky zkoušek a vyhodnocení	43
9.1	Měření nerovnosti povrchu vzorků	43
9.2	Stanovení smáčivosti povrchu pomocí měření kontaktního úhlu	46
9.3	Stanovení hloubky průniku lepidla do dřeva.....	48
10	Diskuze	51
11	Závěr	53
12	Literatura	55

1 Úvod

Dřevo je materiál, který se ve stavebnictví hojně využívá již tisíce let. Díky jeho vynikajícím mechanickým vlastnostem, atraktivnímu vzhledu a dostupnosti nachází hojného využití v různých formách. Používá se pro konstrukční účely střešních či stropních konstrukcí, konstrukcí podlah, ale rovněž bývá často uplatněno i v interiérech. Pro tyto účely se používá jednak rostlé dřevo, nebo lze pro tyto účely použít i dřevo aglomerované, při jehož výrobě bylo využito dřevo jako druhotný materiál.

Pro konstrukční účely, ale zejména při výrobě aglomerovaných materiálů na bázi dřeva je potřeba dřevo spojovat lepením, většinou při působení vnějšího tlaku. Zejména u lepených spojů je velmi důležitá příprava povrchu dřeva pro zajištění co nejkvalitnějšího spojení. Pro zvýšení účinnosti při lepení dřeva a zvýšení smáčivosti adheziva se často používá chemická úprava. V tomto procesu jsou funkční složky přítomné na povrchu dřeva modifikovány tak, aby mohly lépe reagovat a vázat se s funkčními složkami v adhezivu.

Kromě těchto chemických úprav lze použít i úpravy mechanické, jako je broušení nebo hoblování, přičemž se získá hladkého povrchu, který zvyšuje účinnost lepení dřeva. Avšak doposud se dostávalo právě chemickým úpravám větší pozornosti než úpravám mechanickým. Z tohoto důvodu je v bakalářské práci řešena problematika případného vlivu povrchové úpravy pro proces lepení dřeva.

2 Třídění dřeva

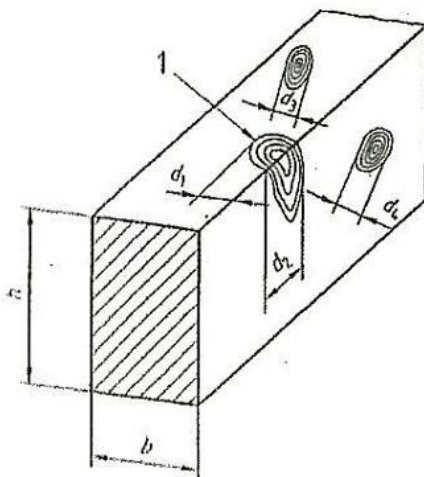
Jakost řeziva závisí na množství a rozsahu vybraných vad, které v důsledku ovlivňují i finální pevnost dřeva. Metodika měření převažujících parametrů vad daných přirozenou strukturou dřeva je uvedena v ČSN EN 1310:1999, ve které je popsán způsob měření trhlin, oblin, suků, zakřivení průměrné šířky letokruhů a jiných parametrů. Dle těchto parametrů lze poté přistoupit k zařazení dřeva podle pevnosti s použitím ČSN 73 2824-1:2015. Tato norma je českým ekvivalentem verze DIN 4074-1:2012.

2.1 Znaky třídění

2.1.1 Suky

Suky ve dřevě narušují podélný průběh vláken, a proto jejich výskyt ovlivňuje pevnost konstrukčního dřeva. Pevnost dřeva je závislá na podílu suků v celkovém průřezu, který v prvku zaujímají. Důležitá je i poloha suků v konstrukčním dřevě vzhledem k jeho namáhání. Otvory po suku se považují za suky a při rozměrech menších než 5 mm se zanedbávají.

Dělení suků lze provádět podle několika kritérií, mezi které lze zmínit kritérium viditelnosti (suky otevřené, zarostlé); kritérium zdravotního stavu (zdravé, nahnilé s rozsahem poškození nižším než 1/3 plochy průřezu a shnilé s rozsahem poškození vyšším než 1/3 plochy průřezu); kritérium polohy (na ploše, boční a hranové) a v neposlední řadě i podle seskupení na prvku (jednotlivé, skupinové). Způsob identifikace suků a specifikace způsobu jejich měření je patrný na obrázku 1.



Obrázek 1 – Rozměry suků

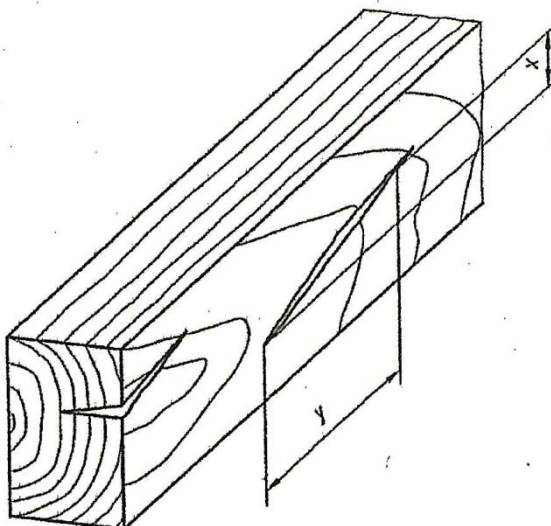
Pro různé části prvku může být předepsáno rozdílné omezení rozměrů suků, např. může být uvážena okrajová zóna s odlišným omezením suků než ve zbývajících částech prvku. U některých rozměrů dřevěných prvků ovlivňují pevnost skupinové suky a musí se k nim přihlížet. Požadavky na vizuální kontrolu jsou uvedeny v následující tabulce 1.

Tabulka 1 - Požadavky na vizuální kontrolu pro oblasti neúplně tříděné strojně

	Třída pevnosti podle EN 338	
	C18 a nižší	Nad C18
Průměr suku na ploše	$1/2 \times$ šířka prvku	$1/4 \times$ šířka prvku
Průměr suku na boku	$3/4 \times$ tloušťka prvku	$1/4 \times$ tloušťka prvku
Odklon vláken	1:6	1:10

2.1.2 Odklon vláken

Při měření odklonu vláken se zanedbávají lokální odchylky odklonu vláken v místech sукů nebo jiných vad. [1] Pro vizuální třídění jsou stanoveny mezní hodnoty 1:6 pro dřevo nižší jakosti a 1:10 pro dřevo vyšší jakosti.

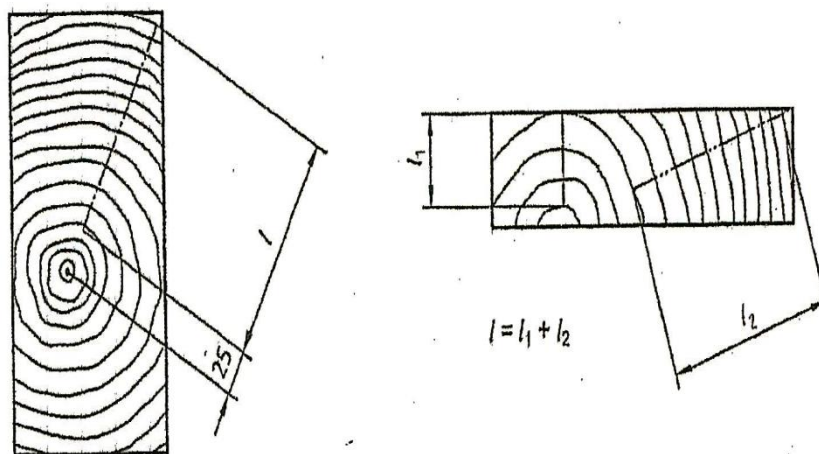


Obrázek 2 – Odklon vláken

2.1.3 Hustota a průměrná šířka letokruhů

Hustota je nejdůležitější fyzikální charakteristikou dřeva, která má vliv na většinu jeho mechanických vlastností. Je dána poměrem objemu a hmotnosti dřeva. Při třídění dřeva musí být hustota stanovena pro určitou vlhkost, přičemž se přednostně používá vlhkost 20 %.

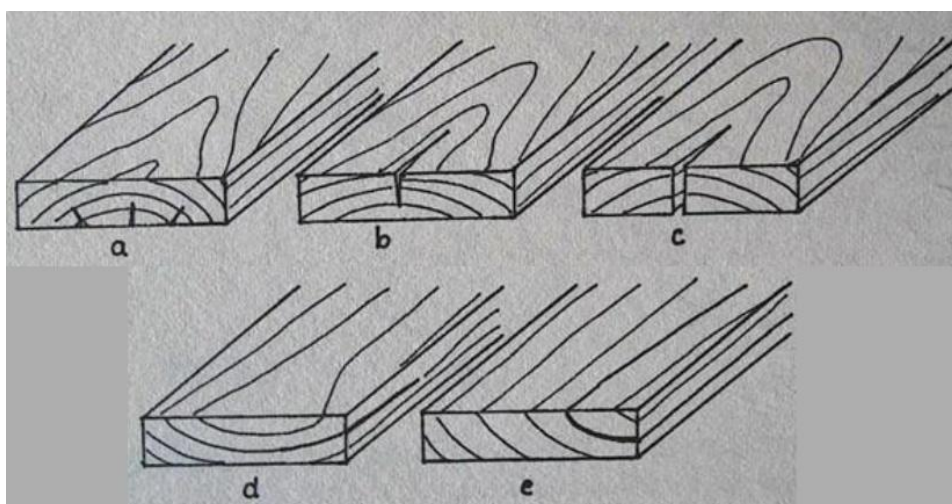
Hustota dřeva je úzce spjata s šířkou letokruhů. Letokruhy jsou přírůstky za jedno vegetační období a jsou tvořeny vrstvami jarního a letního dřeva. Pro omezení průměrné šířky letokruhů se přednostně používají šířky 15, 10, 8, 6, 4 a 3 mm. [1]



Obrázek 3 – Měřený úsek pro stanovení šířky letokruhů

2.1.4 Trhliny

Trhliny ve dřevě rozlišujeme podle původu na trhliny způsobené bleskem, odlupčivé trhliny a výsušné trhliny.

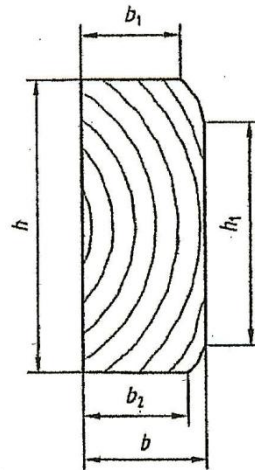


Obrázek 4 – Trhliny: a) čelní; b) jednostranná; c) oboustranná; d, e) odlupčivé

Z hlediska pevnosti mají vliv na vizuální třídění parametry délky a hloubky trhliny. V případě, že trhliny mají významný vliv na pevnost, např. pevnost nosníku ve smyku za ohybu, musí být omezeny, jinak se mohou zanedbat. Norma ČSN EN 14081 uvádí, že trhliny s menším rozměrem, než je polovina tloušťky, se mohou zanedbat. Trhliny neprocházející tloušťkou průřezu prvku se omezují na 1,5 m nebo $\frac{1}{2}$ délky prvku u dřeva nižších jakostí, respektive na 1 m

2.1.5 Obliny

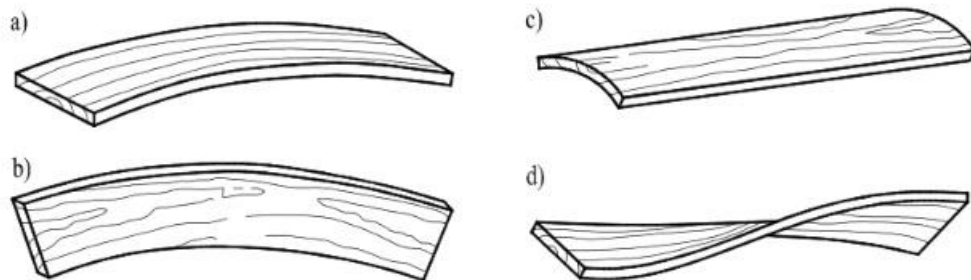
Obliny se posuzují v závislosti na šířce, tloušťce a délce prvku a způsobu jejich měření. Největší dovolená oblina nesmí redukovat rozměry boku a plochy na méně než 2/3 základních rozměrů prvku. [1]



Obrázek 5 – Obliny

2.1.6 Zakřivení

Příčné zakřivení vzniká vlivem rozdílného sesychání v radiálním a tangenciálním směru. Šroubové a podélné zakřivení vzniká točivostí a tlakovým dřevem. Maximální hodnoty zakřivení platí pro dřevo tříděné po vysušení a jsou uvedeny v tabulce. (Tabulka 2)



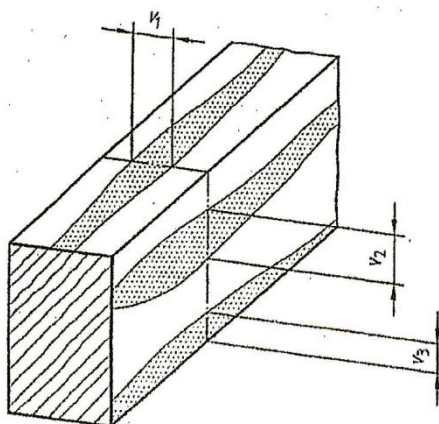
Obrázek 6 – Tvarové změny a) podélné zakřivení ve směru tloušťky; b) podélné zakřivení ve směru šířky; c) příčné zakřivení; d) šroubové zakřivení

Tabulka 2 – Maximální tvarové změny podle ČSN EN 518

Typ tvarové změny	Třídy pevnosti dle ČSN EN 338	
	C18 a nižší	Nad C18
Zakřivení na tloušťku	20 mm	10
Zakřivení na šířku	12	8
Šroubové zakřivení	2 mm/25 mm šířky	1 mm/25 mm šířky
Příčné zakřivení	Bez omezení	

2.1.7 Poškození dřeva hnilobou a hmyzem

Při vizuálním třídění musí dřevo splňovat požadavky pro omezení poškození dřeva hnilobou a hmyzem a pro vyloučení dřeva aktivně napadeného hmyzem. Podle ČSN EN 14081 měkká hniloba nesmí být dovolena v žádné třídě, tvrdá hniloba může být dovolena pouze pro třídy vyšší jakosti.



Obrázek 7 – Zbarvení a hniloba řeziva

2.2 Vizuální třídění podle pevnosti

Dřevo se tradičně třídí jeho vizuálním posuzováním. Jakost dřeva se přitom určuje prostřednictvím vizuálně poznatelných charakteristik, především suků a šířky letokruhů. [2]. Dřevo musí být vizuálně tříděno podle předpisu pro třídění, který splňuje požadavky na charakteristiky redukující pevnost pro normy vizuálního třídění.

Vizuální třídění podle pevnosti je jednoduché a nevyžaduje nákladné technické vybavení, avšak je málo účinné v důsledku nedostatečně uvážené struktury dřeva, např. hustoty, která značně ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti. Proto je zapotřebí využít i metody strojního třídění, která nám může poskytnout přesnější charakteristiky.

Tabulka 3 – Požadavky na vizuální kontrolu

Třída pevnosti podle EN 338		C18 a nižší	Nad C18
Největší dovolená délka trhlin ^{a)}		Trhliny s menším rozměrem než polovina tloušťky se mohou zanedbat	
	Trhliny neprocházející tloušťkou	Ne více než 1,5 m nebo ½ délky prvku, rozhodující je menší hodnota	Ne více než 1 m nebo ¼ délky prvku, rozhodující je menší hodnota
	Trhliny procházející tloušťkou	Ne více než 1 m nebo ¼ délky prvku, rozhodující je menší hodnota. Pokud jsou trhliny na koncích, délka nesmí překročit dvojnásobek šířky prvku	Dovolují se pouze na koncích s délkou nepřekračující šířku prvku
Největší zakřivení ^{b)} v mm na 2 m délky	Podélné zakřivení ve směru tloušťky	20 mm	10 mm
	Podélné zakřivení ve směru šířky	12 mm	8 mm
	Šroubové zakřivení	2 mm / 25 mm šířky	1 mm / 25 mm šířky
	Příčné zakřivení	Neomezuje se	Neomezuje se
Oblina		Oblina nesmí být větší než 1/3 plného rozměru boku a/nebo plochy prvku	
Měkká hniloba a tvrdá hniloba ^{c)}		Měkká hniloba se nedovoluje. Tvrdá hniloba se dovoluje	Měkká hniloba se nedovoluje. Tvrdá hniloba se nedovoluje
Poškození hmyzem		Aktivní napadení hmyzem se nedovoluje. Otvory způsobené vosami se nedovolují a otvory po hmyzu se musí posoudit jako abnormální vady.	
Abnormální vady		Pokud je redukce pevnosti způsobená abnormální vadou zjevně menší než redukce způsobená jinými vadami dovolenými v této tabulce, je možné prvek akceptovat za předpokladu, že vada je takového druhu, že se nebude zvětšovat po zpracování a vysoušení	

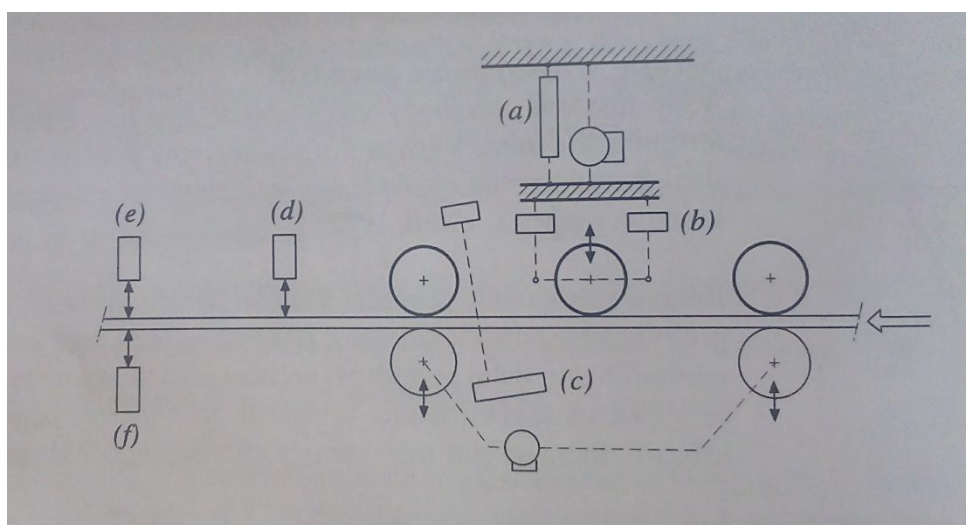
2.3 Strojní třídění podle pevnosti

Pro strojní třídění dřeva jsou používány takzvané ohybové stroje, kterými se určuje průměrný modul pružnosti na krátkém rozpětí. Řezivo kontinuálně

prochází třídícím strojem, přičemž je při rozpětí 0,5 až 1,2 m prohýbáno v poloze naležato. Měří se buď zpětná síla při předem nastaveném průhybu, nebo průhyb při určitém předem nastaveném zatížení. Z těchto hodnot je vypočten lokální modul pružnosti při uvážení rozměrů dřevěného prvku a jeho křivosti.

V dnešní době je snaha o využití nedestruktivních metod pro zjištění modulu pružnosti a dalších vlastností pro třídění, například měřením kmitání ultrazvukovou technikou, využitím elektrického odporu nebo intenzity šíření záření.

Pro třídu a dřevinu (nebo kombinaci dřevin), tříděné systémem s kontrolou vztaženou na stroj, musí být nastavovací hodnoty stanoveny pro celou růstovou oblast, ze které bude dřevo tříděno v rámci jedné nebo více zemí. Dřevo z menší oblasti, např. části růstové oblasti, tj. oblasti v rámci země, musí být strojně tříděno při použití systému kontroly vztažené na produkci.



Obrázek 8 – Schéma evropského stroje na třídění se snímači pro určení průhybu (a), zpětné síly (b), absorpce záření (c), zakřivení (d), tloušťky dřeva (e) a vlhkosti dřeva (f) [2]

Vizuální charakteristiky každého prvku strojně tříděného dřeva musí vyhovovat požadavkům, pro třídu, které mohou dosáhnout nejvyšší hodnot uvedených v požadavcích na vizuální kontrolu (Tabulka 3).

V případě, že stroj netřídí až ke koncům každého prvku dřeva (jako např. ohybové stroje), musí se tyto neúplně tříděné části zkontrolovat vizuálně. Pokud je průměr suků a odklon vláken v těchto neúplně tříděných oblastech větší než rozměr těchto vad v úplně tříděné části téhož prvku dřeva, a překračuje-li mezní

hodnoty uvedené v tabulce požadavků na vizuální kontrolu pro oblasti neúplně tříděné strojně (*Tabulka 1*), musí se prvek vyřadit.

Dřevo, které bylo dříve tříděno, nesmí být přetříděno na stejné nebo odlišné třídy, pokud metoda pro stanovení nastavovacích hodnot neuvážila změny základního souboru dřeviny. Způsobené předchozím tříděním. [1]

2.4 Třídy pevnosti

Pro stanovení charakteristických hodnot je určena norma ČSN EN 1912, která přiřazuje vizuální třídu třídě pevnosti. Jednotlivé třídy pevnosti jsou stanoveny v ČSN EN 338. V této normě je přesně vysvětleno, jak se konstrukční dřevo určité dřeviny a jakosti zařazuje do těchto tříd.

ČSN EN 338 rozděluje jehličnaté dřeviny podle charakteristické hodnoty pevnosti v ohybu do dvanácti skupin (C14 až C50). Řezivo třídy **S7** stanovené vizuálním tříděním odpovídá pevnostní třídě C18; třída **S10** odpovídající pevnostní třídě C24 a S13 odpovídající třídě pevnosti C30.

3 Posuzování hrubosti povrchů

Obecně lze parametry profilu povrchu posuzovat zobrazovacími metodami anebo pomocí přístrojů využívající měření určitého parametru závislého na profilu materiálu.

3.1 Mechanické měření drsnosti

3.1.1 Měření profilometrem

Dotykový měřicí přístroj zkoumá daný povrch snímacím hrotem a získává tím úchytky ve formě profilu povrchu. Vypočítává parametry a zároveň je schopen tento profil zaznamenat. Důležitá část přístroje je měřicí smyčka, což je uzavřený řetězec, který zahrnuje všechny mechanické části propojující měřený objekt a snímací hrot. [3]

Při měření s dotykovými přístroji je důležité znát geometrii hrotu (tj. poloměr kulového zakončení hrotu na jeho vrcholovém úhlu). Na tom závisí, zda dojde k zachycení celého tvaru nerovností až na dno největších prohlubní. Hrot je přitlačován k povrchu takovou silou, aby při pohybu snímače byla jeho špička neustále ve styku s měřeným povrchem. Ideálním tvarem pro snímací

hrot je kužel s kulovou špičkou se jmenovitým poloměrem zaoblení (nejčastěji 2 μm , 5 μm nebo 10 μm) a úhlem kužele (nejčastěji 60° nebo 90°).

3.2 Zobrazovací metody

3.2.1 Laserový rastrovací konfokální mikroskop (LSCM)

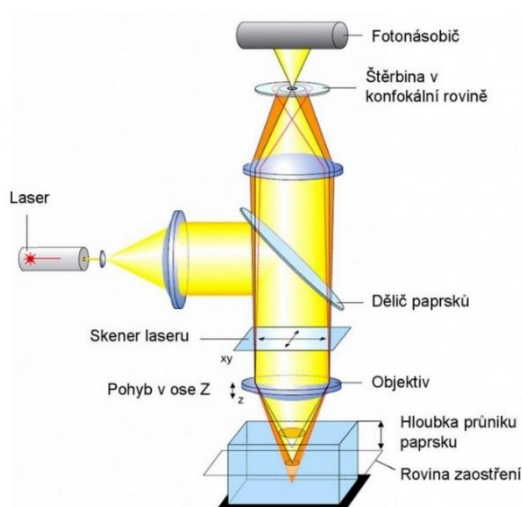
Konfokální mikroskopii charakterizuje vyšší rozlišení a kontrast než u ostatních metod světelné mikroskopie. Výhodou je především potlačení signálu z rovin nad a pod rovinou zaostření a možnost snímání sérií optických řezů, jejichž skládáním lze rekonstruovat pozorovaný objekt. Základním principem LSCM (*Laser Scanning Confocal Microscope*) je skutečnost, že netvoří obraz najednou, ale řádkováním bod po bodu. Tak jsou snímány jednotlivé optické body v rovině X-Y, a navíc díky přesně definovanému posunu v ose Z i jednotlivé optické řezy. Obraz celé zaostřené roviny XY lze získat rastrováním bod po bodu některým z těchto postupů:

- a) rozmítáním laserového paprsku;
- b) příčným posuvem vzorku před objektivem;
- c) posuvem objektivu. [3]

Předností a zároveň omezením metody je využití laseru jako zdroje světla, protože intenzivní osvětlení vzorku přispívá k rychlejšímu vysvícení použitých fluorochromů nejen v místě snímání, ale i v místech, kterým paprsek prochází k místu zaostření. Při aplikaci LSCM objekt mimo rovinu ostrosti nezpůsobí rozostření, ale není zobrazen; prostorový obraz vzniká softwarovým zpracováním. [3]

Úzký svazek laseru (intenzivní bodový zdroj světla) směřuje skrz první konfokální clonku na dichromatické zrcadlo, které jej objektivem zaměřuje na určitý bod preparátu, jehož průměr odpovídá difrakční (rozlišovací) mezi. Preparát je umístěn v ohniskové rovině, kterou vybírá počítač, resp. skenovací zařízení. Odražené (emitované) světlo prochází opět objektivem, dichroickým zrcadlem, bariérovým filtrem, druhou konfokální clonkou, a nakonec dopadá před fotonásobič. Druhá clonka filtruje světlo pocházející z oblasti mimo ohniskovou rovinu. Výsledné informace o preparátu jsou nakonec předány do skenovacího zařízení, kde jsou uloženy také informace o souřadnicích X-Y

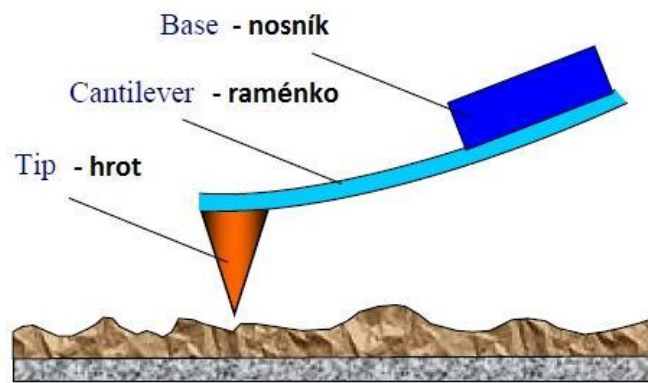
daného bodu, díky nimž je potom počítač schopen sestavit obraz celého preparátu.



Obrázek 9 – Schéma konfokálního mikroskopu [3]

3.2.2 Mikroskopie atomárních sil (AFM)

Mikroskopie atomárních sil AFM (*Atomic force microscopy*) je nejrozšířenější technikou z mikroskopů s rastrující sondou SPM (*Scanning Probe Microscopy*). V současné době se využívá sondy, která skenuje povrch vzorku ostrým hrotem. Hrot s průměrem špičky kolem 10 nm je umístěn na volném konci cantileveru o délce 100 až 200 μm . Vzájemná interakce hrotu a povrchu vzorku způsobuje ohyb raménka, který je zpravidla detekován laserem. Laserový paprsek dopadá na vrchní vysoce odrazivou stranu cantileveru a následně se odráží na fotodiodový detektor. Ten vyhodnocuje změny odraženého svazku a vytváří měronosnou veličinu, prostřednictvím které počítač vygeneruje topografii povrchu vzorku s atomovým rozlišením. [4]



Obrázek 10 – Princip činnosti AFM [5]

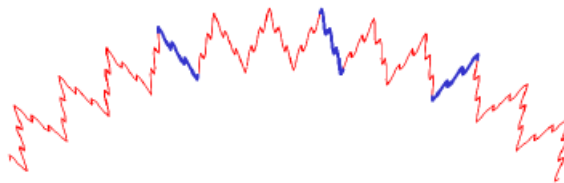
4 Určování parametrů drsnosti

Drsností se rozumí **soubor nerovností povrchu** s relativně malou vzdáleností vzniklých při výrobě, nepovažují se za vadu povrchu. Pro správné nastavení a použití měřících přístrojů a pro další vyhodnocování výsledků je nutná znalost několika pojmů. Mezi tyto pojmy se řadí různé typy profilů, filtrů a parametrů, jejichž definice jsou převzaty z normy ČSN EN ISO 4287.

4.1 Základní pojmy týkající se určování parametrů drsnosti

4.1.1 Drsnost

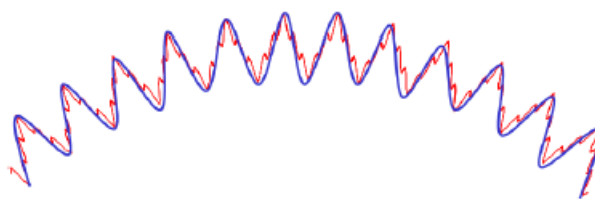
Nejmenší nerovnosti vznikající v procesu výroby, např. působením řezného nástroje nebo brousícího zrna. Drsnost je spíše důsledkem technologie dokončování než působením technologického zařízení. Proces výroby povrchu zanechává na povrchu stopy. Uspořádání stop má periodický nebo náhodný charakter. Působením odtrhávání mikročástic materiálu při obrábění nebo malých vad na ostří nástroje vznikají i jemnější složky struktury povrchu (*Obrázek 11*).



Obrázek 11 – Grafické znázornění drsnosti

4.1.2 Vlnitost

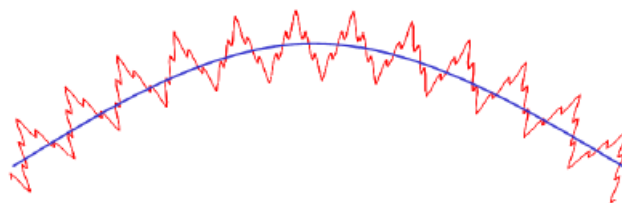
Představuje rozměrnější nerovnosti, na které je superponována drsnost a většinou jsou způsobeny technologií obráběním, kmitáním nebo deformací obrobku, příp. pnutím v materiálu. Vlnitost je dále přisuzována především vlastnostem obráběcího stroje a nástroje např. nevyváženost a nepřesnost seřízení nástroje, házivost hřídele apod (*Obrázek 12*). [6]



Obrázek 12 – Grafické znázornění vlnitosti

4.1.3 Tvar povrchu

Největší nerovností profilu povrchu, které vznikají bez ohledu na drsnost a vlnitost. Úchylku tvaru povrchu nejčastěji způsobuje nedostatečně tuhé upnutí obráběné součásti nebo úchyly vodících ploch strojů, případně deformace součásti (Obrázek 13).



Obrázek 13 – Grafické znázornění tvaru povrchu

Tyto uvedené defekty povrchů se nikdy nevyskytují samostatně, ale vždy jsou v nějaké kombinaci. Každý typ nerovnosti je však potřeba hodnotit zvlášť, a proto se používají měřicí přístroje různých typů filtrů pro jejich oddělení.

4.2 Filtry

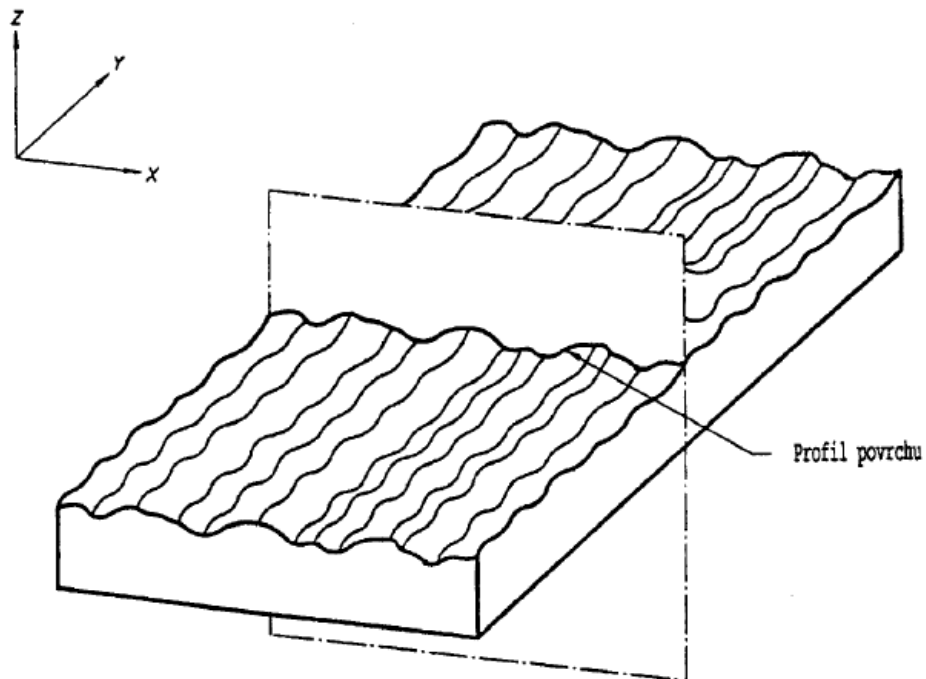
4.2.1 Filtr profilu

Filtry jsou základní prvky procesu měření parametrů struktury povrchu, které rozčlení strukturu povrchu na složky podle rozteče nerovností (tvar, vlnitost a drsnost). Správná volba filtru je základem objektivního měření. Měřicí systém v případě absolutního měření nebo měření s optickým snímačem data neupravuje, ale filtr je přidáván až po zpracování příslušným softwarem. [7]

4.3 Profily

Profil povrchu je profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny. V praxi se obvykle volí rovina kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným

povrchem ve vhodném směru – obvykle ve směru největších úchylek základního profilu (nebo profilu drsnosti a vlnitosti (Obrázek 14). [7]



Obrázek 14 – Profil povrchu [7]

Základní profil je úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru λ_s . Je to základ pro hodnocení parametrů základního profilu.

Profil drsnosti je profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c ;

Profil vlnitosti je profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu λ_f a krátkovlnné složky filtrem profilu λ_c . [7]

Střední čáry

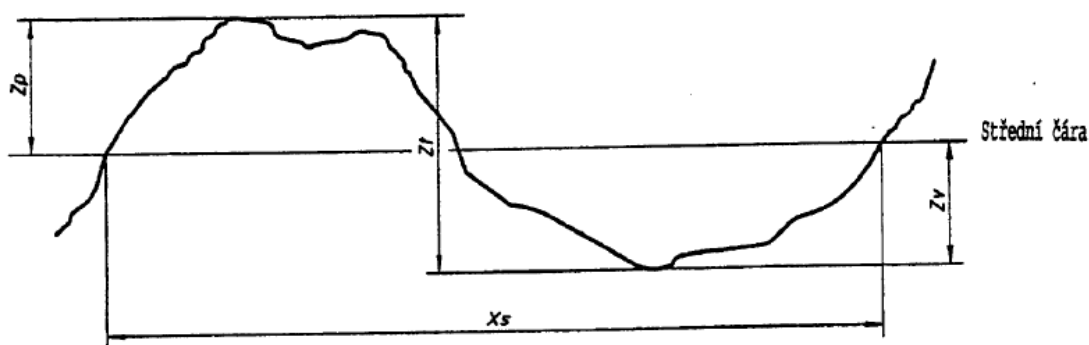
- **Střední čára profilu drsnosti:** čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_c .
- **Střední čára profilu vlnitosti:** čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_f .

- **Střední čára základního profilu:** čára nejmenších čtverců přiléhajících jmenovitému tvaru základního profilu. [7]

4.3.1 Geometrické parametry

Při hodnocení struktury povrchu používáme normalizované parametry stanovené pro dvourozměrné metody měření. Tyto parametry rozděluje norma ČSN EN ISO 4287 do tří skupin:

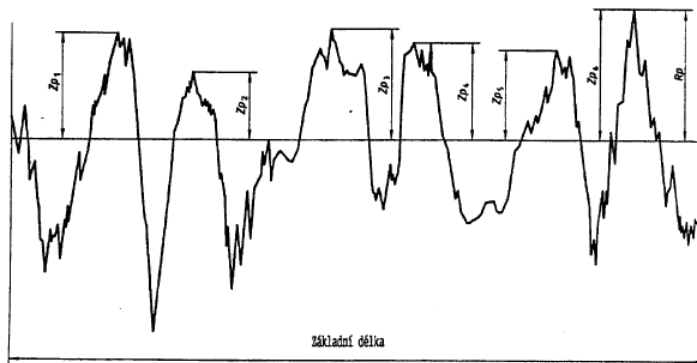
- **P-parametry** – jsou parametry vypočítané ze základního profilu
- **R-parametry** – jsou parametry drsnosti vypočítané z profilu drsnosti
- **W-parametry** – jsou parametry vlnitosti vypočítané z profilu vlnitosti [7]



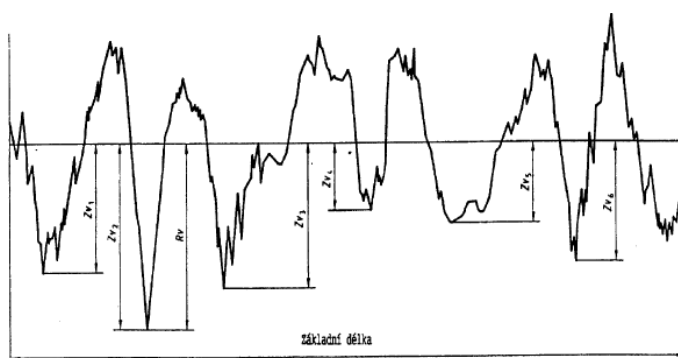
Obrázek 15 – Prvek profilu [7]

Výška výstupku profilu Z_p je charakterizována jako vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu. **Hloubka prohlubně profilu Z_v** je charakterizována jako vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu. **Výška prvku profilu Z_t** je charakterizována jako součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu. **Šířka prvku profilu X_s** jedná se o délku úseku osy X protínající prvek profilu.

Nejvyšší výška výstupku profilu P_p, R_p, W_p je charakterizována jako výška Z_p nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky, **Největší hloubka prohlubně profilu P_v, R_v, W_v** je charakterizována jako hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. Grafické znázornění obou parametrů je patrné na následujících obrázcích

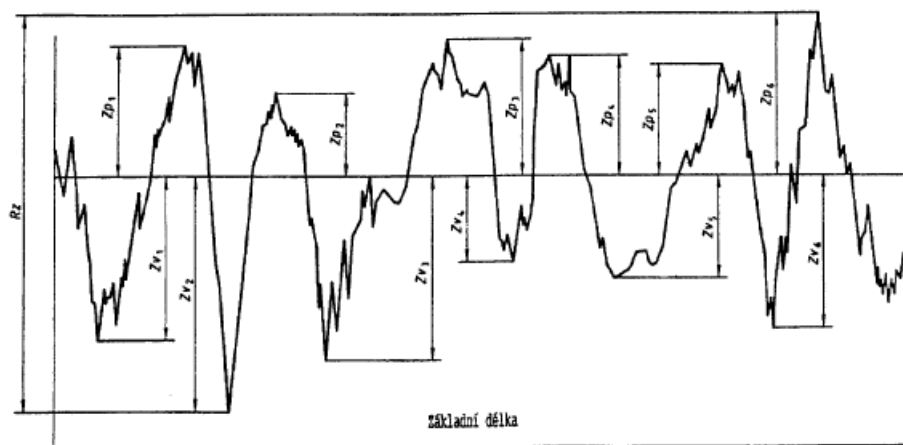


Obrázek 16 – Největší výška výstupků profilu

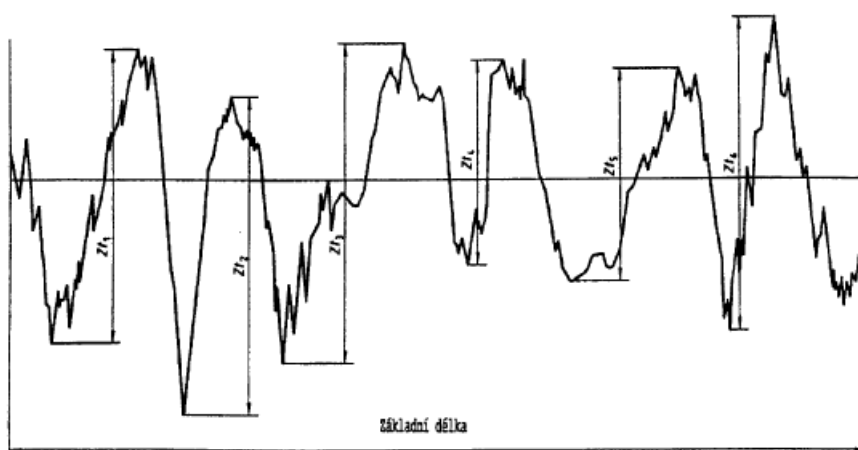


Obrázek 17 – Největší hloubka prohlubní profilu

Největší výška profilu P_z , R_z , W_z je charakterizována součtem výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu s hloubkou Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. **Průměrná výška prvků profilu P_c , R_c , W_c** je charakterizována průměrnou hodnotou výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky. **Průměrná výška prvků profilu P_c , R_c , W_c** je charakterizována průměrnou hodnotou výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky. **Celková výška profilu P_t , R_t , W_t** charakterizuje součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky.



Obrázek 18 – Největší výška profilu



Obrázek 19 – Výška prvků profilu

5 Úprava povrchu dřeva

Operace broušení je proces zařazen do tzv. třískového obrábění dřeva. Je základní metodou vyrovnávání povrchu dřeva a používá se nejen na vyrovnání surových konstrukčních prvků, ale i na vyrovnání povrchu upraveného tmelením nebo vyplňováním. Proces broušení se provádí za účelem zvýšení adheze lepidel a nátěrových látek, zvýšení estetické krásy dřeva i zvýšení ochrany dřeva. [8]

Broušení je v podstatě řezání, při němž se pro vyhlazení na požadovaný stupeň odstraňují nerovnosti obráběného dílce nejčastěji pomocí brusného pásu. Nerovnosti, které jsou před broušením na povrchu obráběného dílce, jsou

způsobeny předcházejícími operacemi jako řezáním nebo frézováním a zatlačením upínacích prostředků při předchozích operacích.

5.1 Strojní broušení dřeva

Při úpravě povrchu se mění kvalita povrchu dílců. Tvarové a rozměrové změny jsou v podstatě zanedbatelné. Povrchová úprava dřeva se provádí za účelem zvýšení adheze nátěrové látky nebo lepidla k podkladu. Má-li broušení probíhat v optimálních podmínkách, je potřeba znát jednotlivé činitele ovlivňující jeho průběh a jejich vzájemné souvislosti. [8]

5.2 Faktory ovlivňující proces broušení

5.2.1 Druh obráběného materiálu

Tvrdé dřeviny se brousí lépe než měkké. Měkké dřevo má pružnější vlákna, která se při broušení vtlačují do povrchu dřeva a po broušení znovu vystupují.

5.2.2 Směr broušení

Nejvyšší jakosti broušení se dosáhne tzv. křížovým broušením. První broušení se provede větším zrněním kolmo na vlákna, čímž se rychle odstraní hrubé nerovnosti a docílí se rovný povrch. Po brusném prostředku však zůstávají na povrchu broušeného dílce rýhy, které se odstraní následným broušením jemnějším zrněním podél vláken. Na širokopásových a válcových bruskách vykonává brusný prostředek současně s hlavním pohybem také oscilační pohyb do stran. Oscilace brusných pásů je výkyv přítlačného prvku i s brusným pásem do stran. Při oscilaci brusného pásu se obrus zvyšuje až o 50 %. Zvýšený výkon brusného prostředku se vysvětluje tím, že brusná zrna při styku s obráběnou plochou neprocházejí stejným místem plochy, ale jejich dráhy se křížují pod úhlem, který je závislý na zdvihu oscilace. Oscilační zdvih se pohybuje mezi 2 – 12 mm. [9]

5.2.3 Řezná rychlost

Řezná rychlost má významný vliv na výkon i kvalitu broušení. U pásových a válcových brusek se za horní hranici považuje řezná rychlost $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, u kotoučových brusek $55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Do určité meze, která je podle typu brusek, brusného prostředku, dřeviny a dalších činitelů asi $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, se zvyšováním

řezné rychlosti zvyšuje i jakost obroušené plochy. Platí zásada, že pro tvrdé dřeviny je vhodnější vyšší řezná rychlost a pro měkké dřeviny nižší. [10]

5.2.4 Posuvná rychlost obrobku

Posuvná rychlost při broušení se pohybuje mezi 8 až 16 m.min⁻¹ a závisí na jakosti povrchu obrobku před broušením. Čím je povrch drsnější, tím je nutný delší kontakt mezi broušeným povrchem a brusným prostředkem. To znamená, že posuvná rychlost musí být nižší. [9]

5.2.5 Vlhkost dřeva

Vlhkost dřeva ovlivňuje výrazně jakost broušení. Při vyšší vlhkosti se dřevní vlákna chovají jako pružná, pod tlakem se vtlačují do pórů dřeva a následně se znovu zvedají. Vlhkost dřeva ovlivňuje i výkon broušení, protože se stoupající vlhkostí se měrný obrus zmenšuje. Vlhkost dřeva má proto činit 8 ± 2 %, max. 12 %. I při této vyšší vlhkosti lze dosáhnout dobře vybroušené plochy, protože teplo, které se vyvíjí mezi obrobkem a brusným prostředkem, vysouší povrchovou vrstvu dřeva, čímž se snižují počáteční rozdíly vlhkosti.

5.2.6 Přítlak – přítlačná síla při broušení

Přítlačná síla je důležitým faktorem působícím na intenzitu broušení, jakost povrchu a celý průběh procesu broušení. Se zvyšující se přítlačnou silou se zvyšuje úběr materiálu, avšak vzrůstá nebezpečí zatlačování vláken do pórů (povrchu), což je nežádoucí pro následující povrchovou úpravu, zejména moření. Se zvyšováním přítlaku se zvyšuje namáhání pásu, a tím se zkracuje jeho životnost. Optimální velikost přítlaku se volí podle druhu dřeviny a podle původní a požadované jakosti povrchu. [10]

5.3 Rozdělení brusek na dřevo a dřevěné materiály

5.3.1 Kotoučové brusky

Kotoučové brusky jsou stroje, které brousí dřevěný materiál brusným papírem nebo plátnem napnutým na čelní ploše nebo po obvodu kotouče. Brusný kotouč se otáčí jedním směrem rovnoměrnou rychlostí. Materiál je při broušení posouván ručně po stole nebo se drží v rukách.



Obrázek 20 – Kotoučová bruska [11]

Kotoučové brusky jsou buď čelní s brusivem na čele kotouče nebo obvodové s brusivem na obvodu kotouče. Obvod kotouče je buď pevný nebo pružný. Sdružené kotoučové brusky mají vedle kotouče čelního nebo obvodového i úzkopásovou brusku. Obvodový kotouč může být zaměněn za leštící nebo kartáčovací kotouč.

Tyto stroje jsou určeny k broušení rovných, zkosených i zaoblených ploch a boků menších plošných dílců, hranolků a lišt. Skládají se ze stojanu, hřídele, kotouče, řemenového převodu s elektromotorem, stolu a krytů. Stůl brusky lze nezávisle přestavovat pod i nad střed kotouče. Je možné jej rovněž sklonit pod úhlem a v nastavené poloze zajistit. [12]

5.3.2 Válcové brusky

Válcové brusky mohou být 1 až 3 válcové jednostranné nebo 4 až 6 válcové oboustranné. Používají se hlavně pro hrubé broušení, protože vlivem malé styčné plochy válce s povrchem dílce je měrný tlak válce při broušení vyšší a dosahuje se většího obrusu. Válcové brusky se používají především k tloušťkové egalizaci aglomerovaných materiálů na stejnoměrnou přesnou tloušťku, jejíž tloušťková tolerance nesmí přesáhnout 0,2 mm. Brusky s dvojitým pryžovým obložením válců se používají i k broušení zadýchovaných ploch, případně v povrchové úpravě na mezibroušení vrstev nátěru. [9]



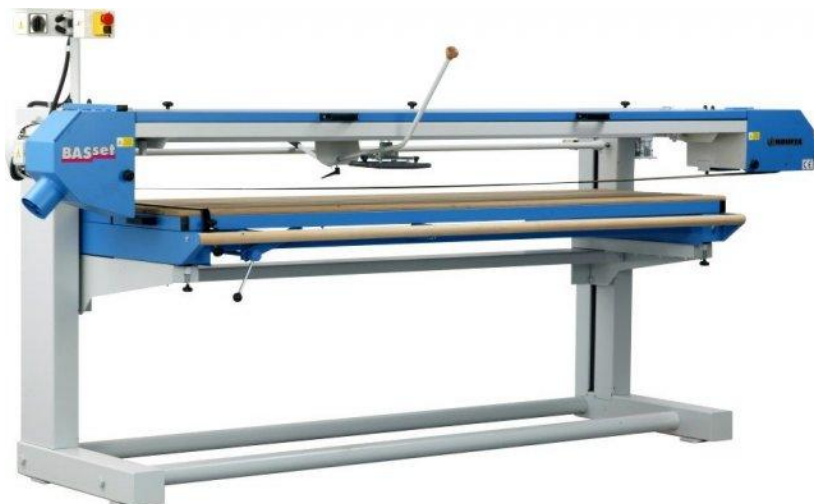
Obrázek 21 – Válcová bruska [13]

5.3.3 Pásové brusky

Pásové brusky jsou nejvíce používané brusky k broušení dílců před povrchovou úpravou. Tyto stroje tvoří druhově rozsáhlou podskupinu strojů, která je určena k broušení rovinných nebo tvarovaných povrchů dílců. Podle polohy brusného pásu se mohou dělit na vodorovné (na plochy dílců) nebo svislé (na boční plochy dílců). Podle šířky pásu se pásové brusky rozdělují na úzkopásové a širokopásové. [9]

5.3.3.1 Úzkopásové brusky

Úzkopásové jsou brusky se šířkou brousícího pásu do 300 mm. Jsou to stroje, kterými se brousí materiál úzkým nekonečným pásem obíhajícím rovnoměrnou rychlostí po kotoučových pásovnících. Pro broušení se používá horní nebo spodní větev brousícího pásu. Úzkopásové brusky jsou buď jednopásové nebo vícepásové. Poloha pásu je vodorovná, svislá nebo šikmá. Tyto brusky se používají k jemnému broušení rovných nebo zakřivených povrchů masivního dřeva, před povrchovou úpravou a pro broušení nátěrových hmot.



Obrázek 22 – Úzkopásová bruska [14]

5.3.3.2 Širokopásové brusky

Širokopásové brusky jsou stroje se šířkou brusného pásu nad 300 mm. Širokopásovou bruskou se brousí materiál nekonečným brusným pásem, který obíhá zpravidla po válcové napínací pásovnici a stykové válcové pásovnici nebo po dvou pomocných válcových pásovnících a přítlačné patce. Při broušení je materiál posouván posouvacím pásem. Širokopásové brusky jsou jedno nebo vícepásové, se spodním nebo horním uložením brusného pásu, příp. s horním a spodním brousícím pásem pro současné oboustranné broušení. Tyto brusky se používají zejména pro egalizační broušení plošných dílců.



Obrázek 23 – Širokopásová bruska [15]

5.3.4 Kombinované brusky

Kombinované brusky vznikají kombinací různých brusných agregátů uspořádaných do jednoho celku. Nahrazují strojní linky pro broušení plošných dílců složené z několika strojů. Brousící agregáty se pomocí elektronického řízení automaticky nastavují a přizpůsobují tloušťkovým tolerancím broušených dílců. Umožňují brousit i dílce s vyvstávajícími nákližky. Nejčastěji se kombinují úzkopásové a širokopásové agregáty, například dva úzké pásy pohybující se protisměrně a jeden široký pás, mohou však být kombinované i z válců a pásů. Jednotlivé agregáty seřazené za sebou mají papíry s odstupňovaným číslem zrnění, které se postupně stoupá od hrubšího k jemnějšímu, přičemž postupně klesá tvrdost obložení přítlačných prvků. [9]

6 Poznatky zjištěné z rešerší vědeckých článků

Pro ideální smáčení a pronikání adheziva jsou z povrchu dřeva odstraněny veškeré nerovnosti a částice, které by mohly narušovat tvorbu vazby. Řádně obroušený a rovný povrch zajišťuje, že vrstva adheziva jednotné tloušťky může být rovnoměrně rozprostřena. V ideálním případě by mělo být dřevo broušeno do 24 hodin před lepením. [16]

Jedním ze základních požadavků pro optimální přilnavost adheziva k podkladu je čistý a pevný povrch. Dřevo, kromě pravidelného znečištění prachovými částicemi z okolního vzduchu, podléhá jevu, který by se dal nazvat samovolnou kontaminací. Je to důsledkem přirozeného procesu povrchové deaktivace dřeva, při němž se na povrch dřeva vyměšují mastné a pryskyřičné kyseliny a jejich estery, terpeny, fenoly atd. Tato transformace se odehrává v krátké době u čerstvě nařezaného dřeva. Rychlost a množství deaktivčních látek závisí na druhu dřeviny a teplotě prostředí, ve kterém je řezivo uloženo. Tento jev společně s působením vysokých teplot způsobují povrchovou deaktivaci dřeva a snižují tedy jeho vazbu při lepení. Odstraněním této vrstvy broušením se otevře čerstvý povrch obsahující všechny molekulárně přitažlivé síly, které materiál držely pohromadě dříve.

6.1 Závislost drsnosti povrchu na parametru smáčení dřeva

Jedná se o experiment popsáný v [17]. Pro výrobu zkušební dýhy byla použita buková kulatina, která byla napařována po dobu 20 h a následně nakrájena na pláty 550×550 mm a tloušťky 2 mm. Sušení probíhalo dvěma způsoby, a to přirozeným vysoušením při 20°C a sušením v sušárně při 110°C. Povrch obou skupin dých byl broušen brusným papírem o zrnitosti P100 a P180. Pro analýzu aplikace adheziva bylo nutné obdržení čistého a hladkého povrchu všech zkušebních dých, čehož se dosáhlo očištěním vzduchem.

Tabulka 4 – Označení zkušebních vzorků

<i>Dýha - přirozeně vysušená</i>	<i>Dýha - vysušeno v sušárně</i>
<i>A: nebroušený povrch (referenční skupina)</i>	<i>B: nebroušený povrch (referenční skupina)</i>
<i>A1: broušeno papírem o zrnitosti P100</i>	<i>B1: broušeno papírem o zrnitosti P100</i>
<i>A2: broušeno papírem o zrnitosti P180</i>	<i>B2: broušeno papírem o zrnitosti P180</i>

6.1.1 Hodnocení závislosti různé drsnosti povrchu na smáčivost různých druhů lepidel

V této studii [17] byla pro zjištění smáčivosti použita analýza kontaktního úhlu pomocí goniometru opatřeného videokamerou. Na vzorky bylo nanášeno postupně 30 kapek UF i PF lepidla o objemu 5 µl nastavitelnou pipetou. Měření kontaktního úhlu proběhlo 5 sekund po nanášení lepidla. Průměrné hodnoty naměřených kontaktních úhlů pro všechny kapky byly určeny analýzou tvaru kapky pomocí počítačového softwaru pro analýzu obrazu.

Tabulka 5 – Složení použitých lepidel

Typ lepidla	Složení lepidla	Hmotnostních dílů
UF	UF pryskyřice (55% pevná látka) Pšeničná mouka NH ₄ Cl (15% koncentrát)	100 30 10
PF	PF pryskyřice (47% pevná látka) Tvrdidlo (POLIFEN 10)	100 30

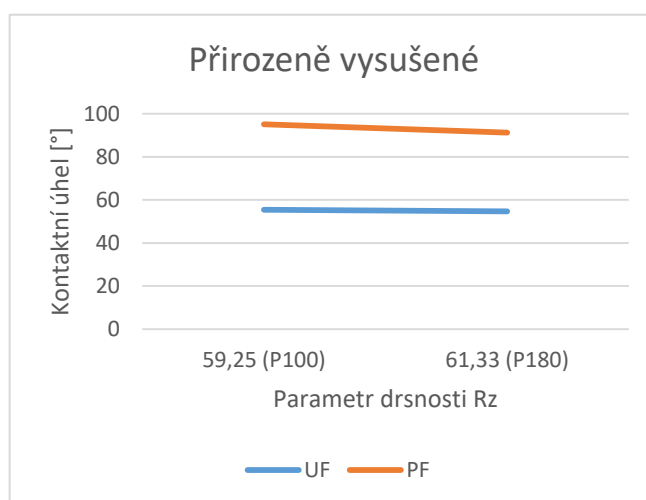
Výsledky

Pro měření drsnosti byl použit přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301. Jako parametr drsnosti byla určena největší výška profilu R_z . Větší drsnost povrchu vykazovaly vzorky uměle sušené. Parametr R_z u přirozeně i uměle sušených vzorků klesla o 45% a 50% oproti vzorkům kontrolním. Rozdíl mezi jemností broušení nebyl příliš znatelný.

Z hlediska hodnot smáčecího úhlu na kontaktní úhel bylo zjištěno, že tento u PF lepidla byl větší než u UF lepidla pro broušené i kontrolní vzorky. Jako důvod se jeví větší viskozita PF lepidla. Proces broušení zlepšil smáčivost na povrchu dýhy (došlo ke snížení hodnoty smáčecího úhlu), ale nebyl nalezen výrazný rozdíl mezi broušením zrnitostí P100 a P180. Pro přirozeně sušené vzorky byl kontaktní úhel vyšší hodnoty než u vzorků sušených v sušárně. Výsledky jsou patrné v následující tabulce 6.

Tabulka 6 – Naměřené hodnoty drsnosti povrchu a kontaktního úhlu

Zkouška provedená na dýze	Přirozeně vysušená			Vysušeno v sušárně		
	A	A1	A2	B	B1	B2
pH	5,90 (0,04)	4,88 (0,01)	4,71 (0,04)	5,91 (0,03)	4,78 (0,03)	4,67 (0,05)
Drsnost povrchu (R_z)	107,15 (17,12)	59,25 (9,56)	61,33 (8,89)	120,63 (11,53)	62,82 (9,97)	59,98 (12,62)
Kontaktní úhel pro UF (°)	82,3 (8,3)	55,4 (9,3)	54,7 (4,9)	67,8 (8,5)	56,9 (7,1)	49,4 (6,0)
Kontaktní úhel pro PF (°)	112,0 (7,4)	95,1 (4,5)	91,2 (3,9)	110,7 (6,7)	91,9 (4,4)	89,9 (5,4)



Graf 1- Závislost kontaktního úhlu na drsnosti povrchu

7 Cíl práce

Náplní bakalářské práce bylo provést rešerši vědeckých článků a odborné literatury zabývající se problematikou vizuálního a strojního třídění dřeva, metody úpravy povrchu dřeva a posuzováním jeho kvality.

Hlavním cílem práce bylo experimentálně ověřit, jak parametr drsnosti povrchu dřeva, resp. jaká metoda mechanické úpravy povrchu je pro lepený spoj z hlediska procesu lepení nejvhodnější.

Důvodem, proč bylo přistoupeno k experimentální práci, byla skutečnost, že pro přípravu povrchu před procesem lepení se přednostně používá chemická úprava. Ta modifikuje funkční složky přítomné na povrchu dřeva tak, aby lépe reagovaly se složkami v lepidle. Nicméně i drsnost povrchu vykazuje na lepený spoj určitý vliv. Různá povrchová úprava dřeva byla definována základními parametry drsnosti a k té byly vztaženy parametry důležité pro aspekt lepení, jednalo se o sledování parametru hloubky průniku adheziva do struktury dřeva a procesu smáčení dřeva adhezivem.

8 Metodika zkoušek

8.1 Povrchová úprava dřeva

Ze smrkového dřeva byly vyrobeny vzorkové hranolky o rozměrech 60 × 60 × 30 mm. Na připravených vzorcích byla provedena povrchová úprava šesti různými způsoby. Jednalo se o úpravy:

- a) řezem pomocí pásové resp. kotoučové pily;
- b) frézováním;
- c) brusným papírem o zrnitosti P60, P120 a P180.

8.2 Lepidla pro konstrukční účely

8.2.1 Nízkoviskózní epoxidová pryskyřice (Epoxid)

Pro náš účel byla použita nízkoviskózní epoxidová pryskyřice EPOLAM 2017, která se užívá k výrobě kompozitních dílů a forem pro všechny typy aplikací – (průmysl, lodě, sport, atd.). Díky různým typům tužidel umožňuje volit rychlost tvrzení. Systém je vhodný pro všechny typy aplikací. Toto lepidlo má výborné mechanické vlastnosti a nízkou viskozitu. Je dobře smáčivé na povrchu tkanin, dřeva, balsy a pěn a je odolné proti vodě a vlhkému prostředí. [17] V následující tabulce jsou uvedeny některé jeho fyzikální vlastnosti.

Tabulka 7 – Fyzikální vlastnosti epoxidového lepidla [17]

Fyzikální vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Viskozita (25°C)	2850	[mPa.s]
Objemová hmotnost (lepidlo) L	1170	[kg/m ³]
Objemová hmotnost (tvrdidlo) T	960	[kg/m ³]
Směšovací poměr	100:30 (L:T)	[hm. díly]

8.2.2 Fenol-rezorcín formaldehydové lepidlo (PRF)

Jedná se o adhezivum, které je tvrditelné za normální teploty. Z důvodu vysoké reaktivnosti resorcinolu s formaldehydem se příprava dá uskutečnit buď v neutrálním, či v kyselém prostředí. Jelikož je resorcinol poněkud drahou surovinou, vyrábí se levnější směsná fenol-resorcinol formaldehydová lepidla (PRF). Je skupenství kapalného s červenohnědou barvou a přibližným hm. obsahem sušiny okolo 60 %. [18] V následující tabulce jsou uvedeny některé jeho fyzikální a vlastnosti PRF.

Tabulka 8 – Fyzikální vlastnosti fenol-rezorcín formaldehydového lepidla 1711+tvrdidlo typ 2520 [19]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Viskozita	5000 (L) 8000 (T)	[mPa.s]
Objemová hmotnost	1150 (L) 1220 (T)	[kg/m ³]
Směšovací poměr	100:25 (L:T)	[hm. díly]

8.2.3 Polyuretanové lepidlo (PUR)

Tento druh lepidla vzniká adiční polymerací polyisokyanátů s vícemocnými alkoholy či polyesterovými pryskyřicemi, které obsahují hydroxylové skupiny. Výhodnými vlastnostmi tohoto adheziva jsou dobrá mechanická pevnost spojů, pružnost a odolnost proti dynamickému namáhání a dále také odolnost vůči vlhkosti a povětrnostním vlivům. Jejich zpracování je možné v širokém rozmezí teplot. Jsou vhodná pro spojování různých druhů materiálů. [18]

Pro náš účel bylo zvoleno jednosložkové, vláknem vyztužené, vlhkostí tvrdnoucí polyuretanové lepidlo KESTOPUR 1030 pro lepení dřevěných materiálů. Fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 9 – Fyzikální vlastnosti polyuretanového lepidla KESTOPUR [20]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Viskozita	cca 5000	[mPa.s]
Objemová hmotnost	1500	[kg/m ³]

8.2.4 Emulzní polyisokyanátové lepidlo (EPI)

Posledním typem adheziva byl KESTOKOL WR 125. Jedná se o dvousložkový emulzní polymer na izokyanátové bázi mající velmi dobrou odolnost proti klimatickým vlivům. Používá se pro různé aplikace např. u objektů, kde se neustále mění povětrnostní podmínky, k lepení nábytku, člunů (ne však pro části, které jsou pod hladinou vody) a k dalšímu lepení pro různé aplikace.

K samotnému lepidlu se přidává tvrdidlo, které je označeno písmenem M. Tento typ tvrdidla neobsahuje izokyanáty. Při překročení doby zpracovatelnosti směsi dochází k tvorbě pěny. Tato doba je ovlivněna vyšší teplotou, která má za následek její zkrácení. Systém také umožňuje přidání staré směsi do nové za předpokladu nepřekročení uvedené doby zpracovatelnosti.

Tabulka 10 – Fyzikální vlastnosti EPI lepidla [21]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Viskozita	cca 5000	[mPa.s]

8.3 Měření nerovnosti povrchu vzorků

U vzorků smrkového dřeva s různou povrchovou úpravou byly vyhodnocovány parametry drsnosti povrchu konfokálním mikroskopem OLYMPUS LEXT OLS3100 s rozlišením 0,12 μm . Na každém ze vzorků bylo náhodně určeno pět ploch o rozměrech 2560 \times 1920 μm . Povrch těchto ploch byl snímán a data pro vytvoření modelu povrchu byla zaznamenána počítačem a následně vyhodnocena. Pro účely analýzy byly zvoleny následující sledované parametry:

Aritmetická střední výška (**SPa** – Aritmetická střední výška zakřivené plochy profilu, **SRa** – Aritmetická střední výška drsnosti)

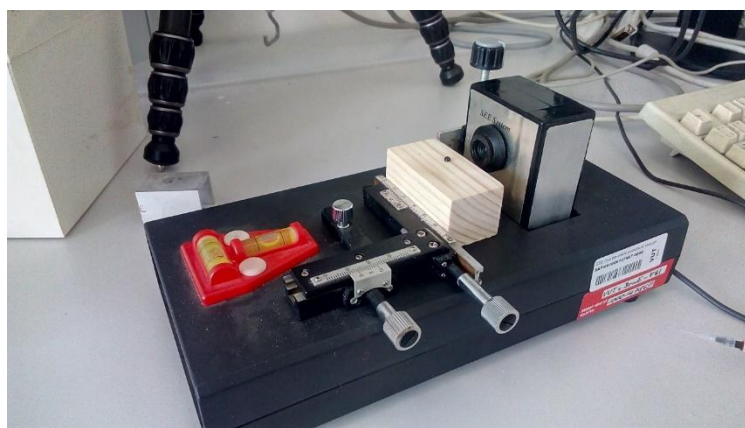
Střední kvadratická výška (**SRq** – Střední kvadratická výška zakřivené plochy profilu, **SPq** – střední kvadratická drsnost).

Plošné parametry drsnosti SPa, SRa, SRq a SPq vychází z jednorozměrných parametrů Pa, Ra, Rq a Pq. Výpočet těchto jednorozměrných parametrů je specifikován v ČSN EN ISO 4287, přepočtení plošné parametry je proveden s použitím dat získaných ze dvou kolmých směrů.

8.4 Stanovení smáčivosti povrchu pomocí měření kontaktního úhlu

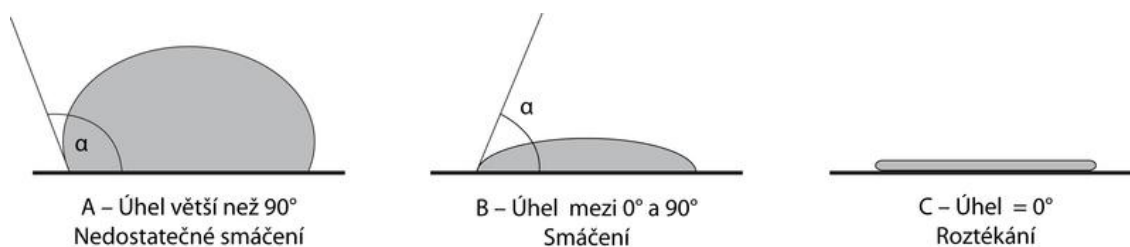
Smáčivost můžeme charakterizovat jako vlastnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek. Smáčivost povrchů můžeme studovat pomocí statistických a dynamických metod na aparatuře umožňující zobrazení a měření kontaktního úhlu na rozhraní. [22]

Při měření úhlu smáčení je kontaktní úhel měřen z profilu kapky konvenčním goniometrickým okulárem. Kontaktní úhel je určen pouze tečnou sedící kapky v místě kontaktu kapky s pevnou látkou. Vyhodnocení měření probíhá pomocí kamery SEE SYSTEM a programu SEE SOFTWARE 6.0 analyzující snímání obraz. Výsledky této techniky mohou být poněkud subjektivní a závisí na přesnosti měření, zkušenostech a zručnosti obsluhy. [23] Pro eliminace těchto vlivů bylo přistoupeno k identickému postupu u všech zkoušených lepidel, což zahrnovalo stejný objem kapky a odečet úhlu ve stejném časovém úseku. Je nutné podotknout, že měření nebylo prováděno ihned po provedené povrchové úpravě, ale v úseku 48 hodin po této úpravě.



Obrázek 24 –Přístroj SEE SYSTEM a schéma měření, prováděno na FSI VUT v Brně, odbor fluidního inženýrství Victora Kaplana

Princip metody spočívá v nanesení kapky lepidla pomocí mikropipety (5 μ l) na měřený povrch upevněný na pohyblivé podložce v měřicím zařízení. Pomocí kamery dojde k vyfotografování kapky a následně se matematicky vyhodnotí kontaktní úhel tzv. tečnovou metodou.



Obrázek 25 – Určování kontaktních úhlů [25]



Obrázek 26 – Schéma měření kontaktního úhlu u kapky lepidla na povrchu dřeva, detail analýzy provedené systémem „SEE Software“

8.5 Stanovení hloubky průniku lepidla do dřeva

Jako barvivo byl zvolen fluorochrom Rhodamine B neboli Tetraethylrhodamin. Rhodaminu B (0,06 g) byl důkladně rozmíchán v 0,56 ml ethanolu a vzniklý roztok byl přidán do 10 g směsi epoxidového lepidla. Takto připravené epoxidové lepidlo bylo aplikováno na povrch smrkového dřeva se stejnou povrchovou úpravou (viz kapitola 8.1.). Plošný nános epoxidové směsi byl proveden v množství 250 g/m² oboustranně na plochy dřeva. Poté byly vzorky zalisovány tlakem 0,8 MPa a ponechaly se k vytvrzení po dobu 24 hodin.

Z připravené vylisované a vytvrzené sestavy byly nařezány vzorky o rozměrech 60×30×30 mm přednostně v místě lepené spáry. V místě lepené spáry byly pomocí mikrotomu odebrány tenké řezy. Tyto řezy byly poté aplikovány na podložní sklíčko, opatřeny glycerínem a bylo přistoupeno k mikroskopické analýze na přístroji LEICA DM 4000 M LED s využitím softwaru LEICA APPLICATION SUITE v.4.5.0 s využitím sady fluorescenčních filtrů s emisním filtrem na vlnové délce 520 nm.

Výsledky zkoušek a vyhodnocení

8.6 Měření nerovnosti povrchu vzorků

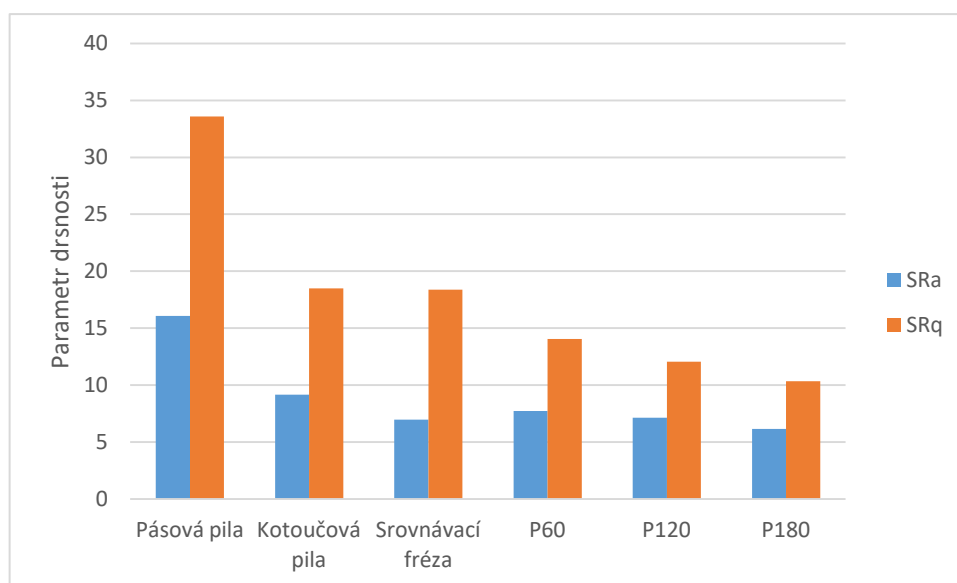
Výsledky parametrů drsnosti, které byly zvoleny pro kvantifikaci nerovnosti povrchu při měření konfokálním mikroskopem, jsou pro všechny druhy povrchové úpravy dřeva uvedeny v následující tabulce (*Tabulka 11*).

Tabulka 11 – Výsledky vybraných parametrů drsnosti povrchu dřeva s různými způsoby povrchové úpravy

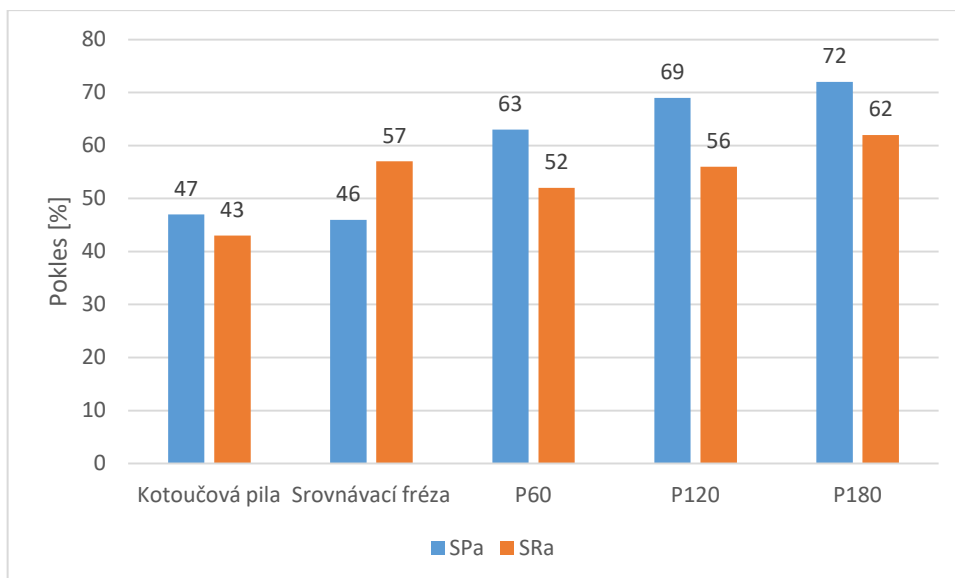
Úprava povrchu	Statistický parametr				
		SRa	SRq	SPa	SPq
Pásová pila	Průměr	16,08	33,59	25,82	21,93
	Směr. odchylka	1,64	5,03	3,5	2,73
Kotoučová pila	Průměr	9,17	18,49	13,65	12,94
	Směrodatná odchylka	0,97	3,70	2,75	1,37
Srovnávací fréza	Průměr	6,97	18,37	13,92	9,02
	Směrodatná odchylka	2,41	6,98	4,83	3,16
P60	Průměr	7,74	14,06	9,43	11,49
	Směrodatná odchylka	1,3	3,29	1,56	2,73
P120	Průměr	7,14	12,05	7,98	10,58
	Směrodatná odchylka	1,23	2,63	1,49	2,21
P180	Průměr	6,17	10,35	7,13	8,88
	Směrodatná odchylka	0,56	1,58	0,93	0,91

Grafické znázornění parametrů drsnosti pro dílčí povrchové úpravy jsou znázorněny na následujících grafech (*Graf 2*). Jako srovnávací profil bylo bráno pilařské zpracování, a veškeré další úpravy jsou vztaženy k této hodnotě a je graficky vyjádřen procentuální pokles drsnosti povrchu u jednotlivých technologických operací (*Graf 3*). Příklady povrchově upravených ploch jsou uvedeny na obrázcích níže (*Obrázek 27, Obrázek 28, Obrázek 29*).

Pro další vyhodnocování má nejvyšší vypovídající hodnotu **parametr drsnosti RPq**, který vyjadřuje střední kvadratickou úchylku povrchu. Porovnáním jeho hodnot bylo zjištěno, že nejvyšších úchylek bylo dosaženo při pilařském zpracování. Zbylé metody povrchové úpravy prokázaly nižší drsnost povrchu. Úpravy povrchu dřeva kotoučovou pilou a hoblováním vykázaly téměř poloviční hodnoty oproti pilařskému zpracování, mezi sebou se lišily jen nepatrně. Podle očekávání nejnižší hodnoty byly dosaženy při broušení pásovou bruskou. Je patrné, že se s postupným zjemňováním brusného zrna hodnoty snižují, ale rozdílly nejsou příliš vysoké.

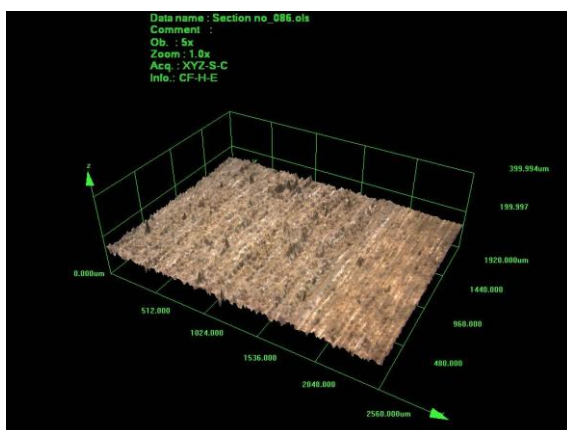


Graf 2 – Porovnání středních aritmetických a kvadratických drsností

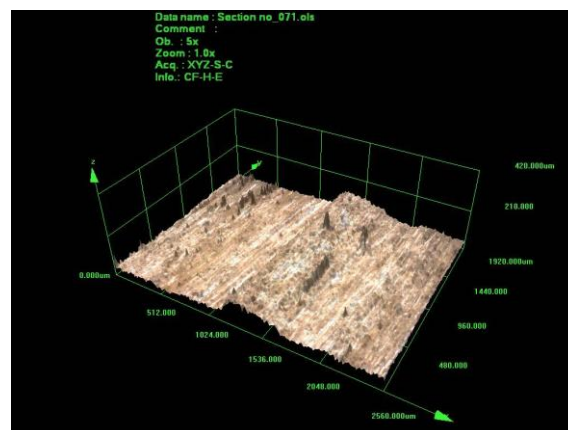


Graf 3 – Procentuální pokles parametrů drsnosti různých povrchových úprav vztažených k pilařské výrobě

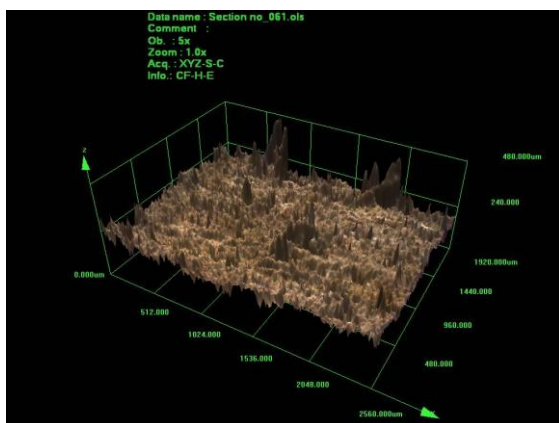
Obrazová analýza snímaného povrchu dřeva s různou povrchovou úpravou je znázorněna na následujících fotomikrografech povrchu dřeva. Vyšší hodnoty profilového parametru získané u pilařského zpracování lze interpretovat přítomností četných vytrhaných vláken, jak je vizuálně patrné na obrázku (Obrázek 29).



Obrázek 27 – Povrch vzorku smrku upraveného brusným zrnem o zrnitosti P180



Obrázek 28 – Povrch vzorku smrku upraveným hoblováním srovnávací frézou



Obrázek 29 – Povrch vzorku smrku řezaný pásovou pilou

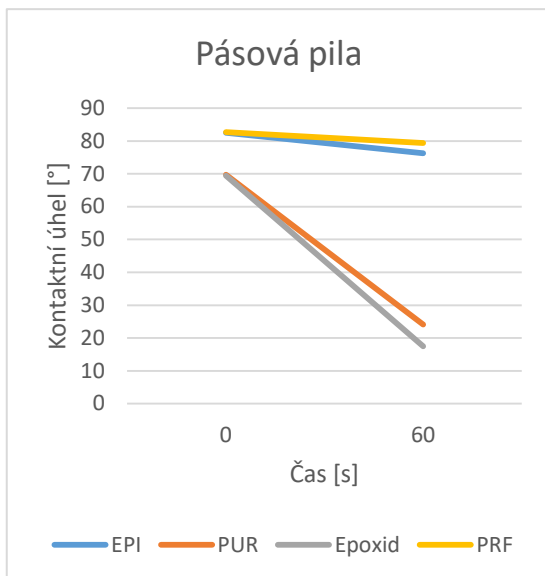
8.7 Stanovení smáčivosti povrchu pomocí měření kontaktního úhlu

Dále byl zjišťován vliv povrchové úpravy dřeva na úhel smáčení různých druhů lepidel. Pro nevýrazné odchylky parametrů drsnosti povrchu byly vybrány pouze ty povrchy, které mezi sebou vykazovaly větší rozdíly. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 12*).

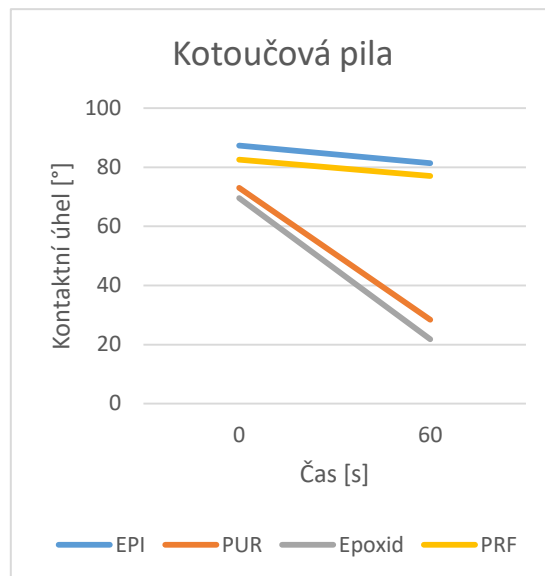
Tabulka 12 – Průměrné hodnoty kontaktního úhlu

Lepidlo	Kontaktní úhel v čase	Pásová pila	Kotoučová pila	Broušení zrnitostí P180
EPI	0 s	82,5°	87,3°	88,7°
	60 s	76,3°	81,4°	82,3°
PUR	0 s	69,7°	73,0°	76,9°
	60 s	24,1°	28,4°	24,7°
Epoxid	0 s	69,4°	69,6°	74,6°
	60 s	17,5°	21,8°	37,5°
PRF	0 s	82,7°	82,6°	82,3°
	60 s	79,4°	77,0°	78,4°

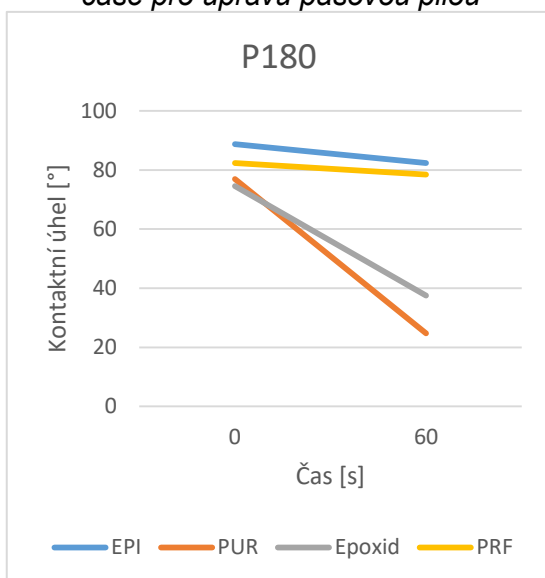
Grafické znázornění dosažených hodnot kontaktního úhlu je zobrazeno na následujících snímcích.



Graf 4 – Závislost velikosti kontaktního na čase pro úpravu pásovou pilou



Graf 6 – Závislost velikosti kontaktního úhlu na čase pro úpravu kotoučovou pilou



Graf 5 – Závislost kontaktního úhlu na čase pro úpravu broušením o zrnitosti P180

Z grafů lze vyčíst, že kontaktní úhel má nejvyšší hodnoty na broušeném povrchu, nejnižší hodnoty pak vykazuje pilařské zpracování pásovou pilou. Lze se domnívat, že tento efekt je dán otevřenou pórovitostí povrchu dřeva, která se postupným broušením uzavírá a zmírňuje rychlost vsakování lepidla do struktury. Rozdíly mezi jednotlivými metodami úpravy povrchu však **nejdou markantní**. Naopak nejvýrazněji se kontaktní úhel mění u nízkoviskózního epoxidu. Vysoká rychlost smáčení byla patrná i u polyuretanového lepidla. V

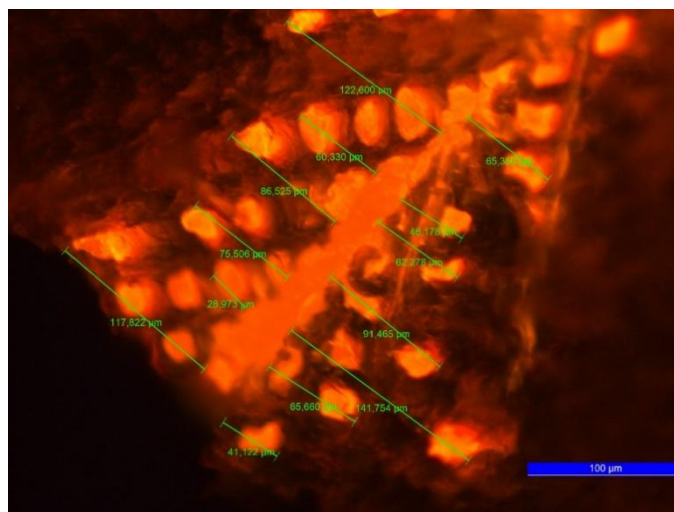
těchto případech se po 1 minutě měření změnil úhel až na téměř třetinové hodnoty.

Dosažené výsledky nekorelují s dosaženými výsledky [24], což lze přičíst i druhovosti dřeviny. V literatuře bylo prováděno na bukovém dřevě, zatímco experiment byl prováděn na dřevě smrkovém mající jinou strukturu dřeva a nižší pevnost.

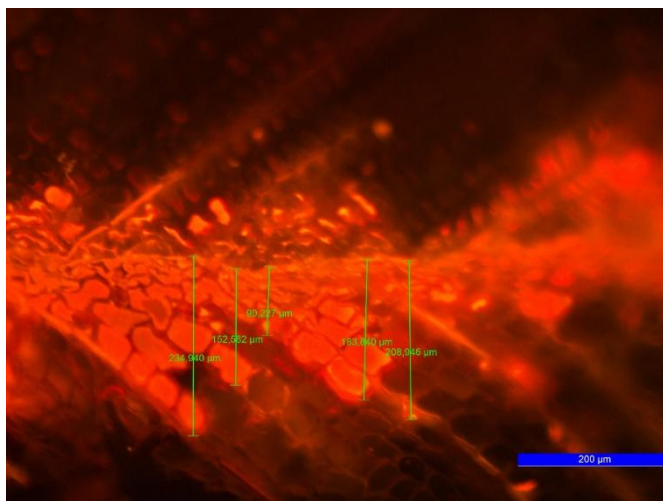
Hlavní vliv na kontaktní úhel má polarita lepidla a také doba aplikace lepidla od provedené povrchové úpravy dřeva (doporučuje se aplikace lepidla do 30 min po zpracování). Kapky lepidla se po kontaktu s povrchem dřeva rozlévaly po jeho povrchu a zároveň vsakovaly do porézní struktury dřeva.

8.8 Stanovení hloubky průniku lepidla do dřeva

Vyhodnocení hloubky průniku lepidla do dřeva proběhlo ve výzkumném centru Fakulty stavební VUT v Brně AdMaS. Ze šesti vzorků reprezentujících různé povrchové úpravy bylo odebráno několik řezů tak, aby mohlo být na každém vzorku stanoveno minimálně 28 hodnot hloubky průniku, přičemž nebyl brán zřetel na rozdílné hodnoty průniku mezi jarním a letním dřevem.



Obrázek 30 – Hloubka průniku lepidla do vzorku řezaného kotoučovou pilou při zvětšení 200× za použití fluorescence, emisní filtr 520 nm



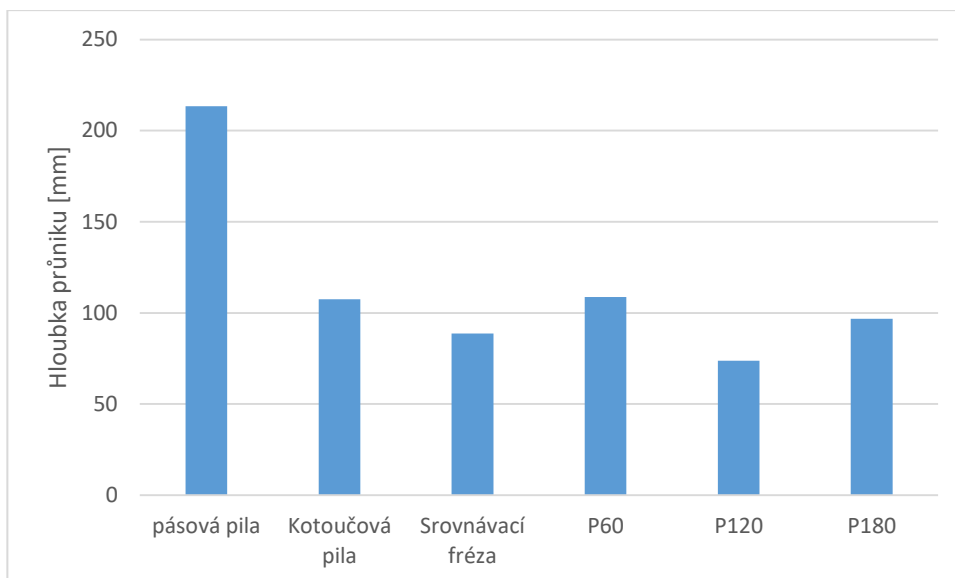
Obrázek 31– Hloubka průniku lepidla do vzorku broušeného zrnitostí P60 při zvětšení 100× za použití fluorescence, emisní filtr 520 nm

Výsledky měření jsou zaznamenány v následující tabulce (*Tabulka 13*).

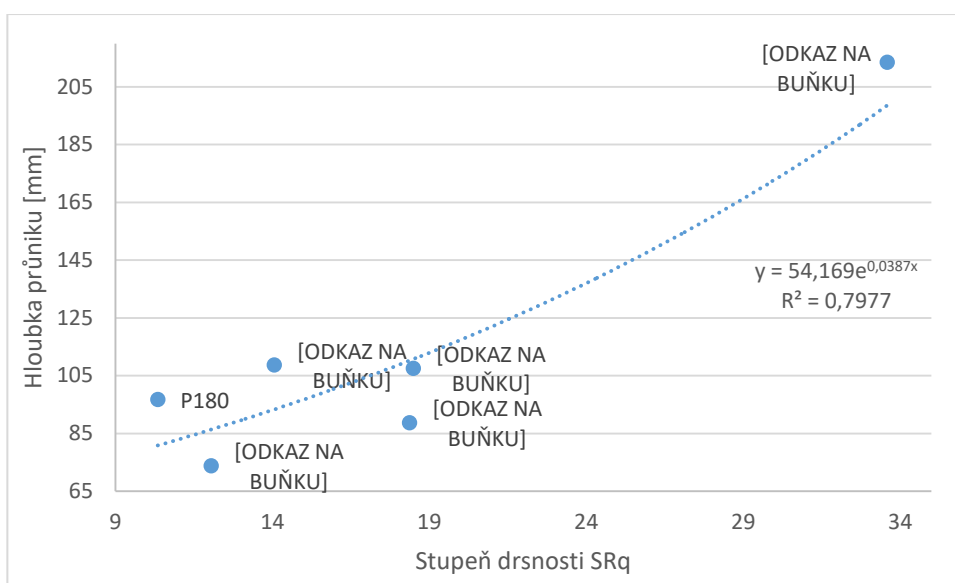
Tabulka 13 – Tabulka průměrných hodnot hloubky průniku

Úprava povrchu	Parametr drsnosti SRq	Hloubka průniku [μm]	Směrodatná odchylka
Pásová pila	33,59	213,5	104,3
Kotoučová pila	18,49	107,5	56,4
Srovnávací fréza	18,37	88,7	50,9
P60	14,06	108,7	56,0
P120	12,05	73,8	36,3
P180	10,35	96,7	45,6

Z grafu (*Graf 7*) lze jednoznačně určit, že největší hloubky průniku lepidla bylo dosaženo na povrchu řezaném pásovou pilou o průměrné hodnotě 213,5 μm. U ostatních povrchových úprav byly zjištěny již jen nepatrné rozdíly, ale v porovnání s řezem pásové pily bylo dosaženo polovičních hodnot hloubky průniku. Ze spojnice trendu v grafu zobrazujícím závislost hloubky průniku na parametru drsnosti (*Graf 8*) lze říci, že mezi těmito vlastnostmi existuje určitá závislost.



Graf 7– Hloubka průniku lepidla do dřeva

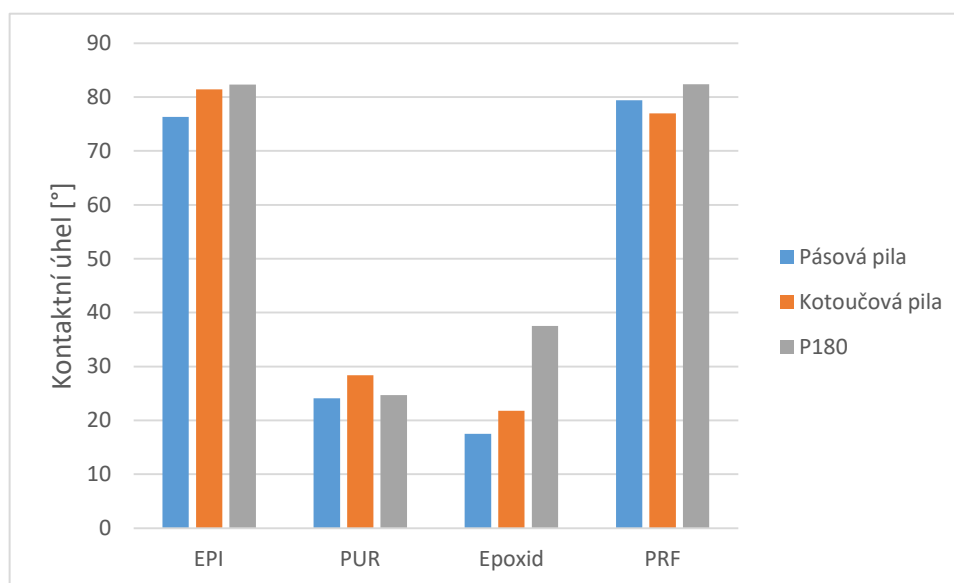


Graf 8 – Závislost hloubky průniku lepidla do struktury dřeva na stupni drsnosti povrchu dřeva

9 Diskuze

Po vyhodnocení výsledků zkoušky smáčivosti povrchu dřeva bylo zjištěno, že největší vliv na hodnotu kontaktního úhlu má hledisko času, při kterém je hodnota úhlu měřena (smáčivost v závislosti na povrchovém napětí) a viskozita lepidla. Po dopadu kapky na povrch se lepidlo rychleji smáčelo povrch v případě nízkoviskozního lepidla (Epoxid). V případě lepidel mající vyšší hodnotu viskozity (EPI, PRF) tento pokles nebyl tak markantní. Po uplynutí cca jedné minuty docházelo k ustálení hodnot kontaktních úhlů pro všechna lepidla.

Z hlediska dosažených hodnot úhlů **nebyl zjištěn výrazný vliv** úpravy povrchu dřeva na hodnoty smáčecích úhlů. Pro porovnání lze uvést hodnoty pro EPI lepidlo o velikosti $82,5^\circ$ v případě vzorku řezaném pásovou pilou a v případě jemného povrchu P180 dosaženou hodnotou $88,7^\circ$. Důležitým aspektem je i doba, po které dochází k měření kontaktního úhlu. Ve většině provozů, kde se provádí lepení dřeva, se povrch dřeva „hobluje“ a lepidlo je aplikováno do cca 30 minut od této provedené úpravy. Je nutné podotknout, že měření kontaktních úhlů na vzorcích dřeva byly prováděny po cca 72 hod od provedené povrchové úpravy. Působení vnějších činitelů na vzorky dřeva po delším časovém období od provedené povrchové úpravy mají významný vliv na měřené hodnoty.



Graf 9 – Výsledky kontaktních úhlů v čase 0s

Z hlediska měření úhlu **v časovém intervalu** lze konstatovat, že největší pokles kontaktních úhlů z měření po jedné minutě byl zjištěn u epoxidového lepidla. Nejmenší hodnoty dosáhl na povrchu řezaném pásovou pilou ($17,5^\circ$). Vyšší hodnota byla naměřena na povrchu řezaném kotoučovou pilou ($21,8^\circ$) a největší na povrchu broušeném ($37,5^\circ$). Naopak nejmenší pokles hodnot kontaktního úhlu bylo zaznamenáno u PRF lepidla na povrchu po zpracování pásovou pilou ($79,4^\circ$) a broušeném povrchu ($82,3$). Z výsledků je zřejmé, že viskozita lepidla má poměrně značný vliv na smáčení. Na proces smáčení má značný vliv polarita látek (jak lepidla, tak i dřevěného adherendu) a rovněž hodnoty povrchových napětí lepidla i adherendu (u lepidla by měla být hodnota napětí nižší než u adherendu). Tyto parametry nebyly v rámci praktické části zatím posuzovány.

U hloubky průniku lepidla do dřeva **byla nalezena závislost** na drsnosti povrchu (koeficient determinace $R^2 = 0,8$), která byla stanovena pomocí mikroskopicky s využitím polarizace ve světelném poli. Nejvyšších hodnot průniku lepidla bylo dosaženo u povrch dřeva s nejvyšším stupněm drsnosti (pilařské zpracování na pásové pile). Průměrná hodnota průniku byla $213 \mu\text{m}$, což je dvojnásobek oproti ostatním povrchům, které dosahovaly hodnot od $74 \mu\text{m}$ do $109 \mu\text{m}$.

10 Závěr

V teoretické části bakalářské práce byly popsány vybrané vady konstrukčního řeziva a jejich hodnocení podle vlivu na pevnosti řeziva. Na základě tohoto hodnocení byly uvedeny způsoby zatřídění dřeva podle pevnosti do jakostních tříd. Dále byla popsána problematika posuzování drsnosti povrchu dřeva zobrazovacími metodami a určování jednotlivých parametrů drsnosti.

V rešeršní části byla rozebrána práce zahraničního výzkumu posuzujícího vliv mechanické úpravy povrchu bukového dřeva na lepené spoje a některé vlastnosti povrchu dýhy a lepených překližkových desek. Z rešerše bylo zjištěno, že povrchová úprava jemným broušením má mírný pozitivní vliv na smáčivost lepidla a na výsledné pevnosti lepeného spoje.

Náplní experimentální části práce bylo zjistit optimální způsob povrchové úpravy pro dosažení co nejkvalitnějšího lepeného spoje. Bylo připraveno šest skupin vzorků smrkového dřeva s různými povrchovými úpravami (řezáním pásovou a kotoučovou pilou, hoblováním a broušením brusným papírem o zrnitostech P60, P120 a P180). Tyto vzorky byly podrobeny analýze povrchu pro zjištění parametru drsnosti. Ze střední kvadratické drsnosti bylo zjištěno, že nejhrubší povrch mělo dřevo po pilařském zpracování. Poměrně stejných nižších hodnot stupně drsnosti bylo dosaženo pro vzorky s povrchovou úpravou kotoučovou pilou a vzorky hoblované. Nejnižších parametrů drsnosti dosáhly vzorky broušené brusným papírem.

V dalších experimentech byl již posuzován vliv drsnosti povrchu na kvalitu lepeného spoje. Byly vybrány čtyři druhy lepidla (nizkoviskozní epoxidová pryskyřice, fenol-rezorcín formaldehydové lepidlo, polyuretanové lepidlo a emulzní polyisokyanátové lepidlo). Měřením kontaktního úhlu pro zjištění smáčivosti lepidel bylo zjištěno, že vliv na velikost úhlu vykazuje i viskozita lepidla. Další parametry mající vliv na smáčení, jako je polarita látek či hodnoty povrchových napětí nebyly v rámci práce posuzovány. Při vyhodnocení nebyl zjištěn markantní rozdíl v hodnotách kontaktních úhlů v závislosti na drsnosti povrchu. Dokonce byl zjištěn nevýrazný nárůst hodnot úhlu u vzorku s povrchovou úpravou mající nižší hodnotu parametru drsnosti (u epoxidu dokonce výrazný). Tyto výsledky nekorelují s výsledky zjištěných z rešerší, což lze vysvětlit použitím smrkového dřeva s jinou strukturou a nižší pevností, než

má bukové dřevo. Trend, oproti předpokladu snižování hodnot kontaktních úhlů se snižujícími se parametry drsnosti, mohl být ovlivněn také dobou měření od provedené povrchové úpravy (72 hodin od úpravy).

Při stanovení hloubky průniku lepidla do dřeva byla použita směs epoxidového lepidla s fluorescenčním barvivem Rhodamin-B. Experiment proběhl na všech šesti vzorcích s různou povrchovou úpravou. Bylo zjištěno, že s vyšším parametrem drsnosti povrchu bylo dosaženo vyšší hloubky průniku lepidla. Výrazně nejvyššího průniku bylo dosaženo pro epoxidové lepidlo na povrchu řezaném pásovou pilou. Na ostatních površích se hodnoty od sebe příliš nelišily, bylo dosaženo řádově polovičních hodnot průniku lepidla oproti vzorkům z pilařského zpracování.

11 Literatura

- [1] ČSN EN 14081-1+A1 *Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti – Část 1: Obecné požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] KOŽELOUH, B. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5*. Zlín: KODR, 1998. ISBN 80-238-2620-4.
- [3] SEDLÁŘOVÁ, M. *Konfokální mikroskopie: Principy konfokální mikroskopie*, Katedra botaniky PŘF UP v Olomouci, Olomouc, 2010.
- [4] KUBÍNEK, Roman, Milan VŮJTEK a Miroslav MAŠLÁŇ. *Mikroskopie skenující sondou*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2003. ISBN 80-244-0602-0.
- [5] AUTOR NEUVEDEN. <http://docplayer.cz> [online]. [cit. 26.5.2017]. Dostupný na WWW: "<http://docplayer.cz/docs-images/28/12491434/images/12-0.jpg>," [Online].
- [6] M. SVATOŠ, *Kvalita povrchu při frézování*, Brno: Mendelova univerzita, 2009.
- [7] ČSN EN ISO 4287 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*, Český normalizační institut, 1999.
- [8] TRÁVNÍK, Arnošt a Jaroslav SVOBODA. *Technologické procesy výroby nábytku*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-056-5.
- [9] KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Technologie pro II. ročník SOU oboru truhlář pro výrobu nábytku*. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-85920-91-3.
- [10] UHLÍŘ, A. *Technologie II : pro studijní obor Nábytkářství*. 3. přepracované vydání., Praha: Informatorium, 2003.
- [11] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "http://katedry.czu.cz/storage/3232_kotoucova_bruska.jpg," [Online].

- [12] JANÍČEK, František. *Strojnictví: stroje a zařízení pro zpracování dřeva*. Praha: Sobotáles, 1996. ISBN 80-85920-18-2.
- [13] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "<https://www.svarecky-obchod.cz/drevoobrabeci-stroje/32197-valcova-bruska-na-drevo-zs-970p-230v.htm>," [Online].
- [14] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "<http://www.houfek.com/pasova-bruska-basset>," [Online].
- [15] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "https://www.scmgroup.com/en_US/scmwood/products/wide-belt-sanders.c869/automatic-wide-belt-sanders.870/dmc-system-t10-1350.767," [Online].
- [16] VICK, C. *Adhesive Bonding of Wood Materials, Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*, Madison, WI: General Technical Report FPL-GTR-113, Forest Products Laboratory, US Department of Agriculture, 1999.
- [17] AYDIN, I. *Activation of wood surfaces for glue bonds by mechanical pre-treatment and its effects on some properties of veneer surfaces and plywood panels*, Forest Industry Engineering Department, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University, Trabzon, 2004
- [18] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "<http://www.axson.cz/download.php?documentID=31&fileID=51&languageID=1> [online]. [cit. 2017-05-24].," [Online].
- [19] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "http://www.gluesdirect.co.uk/catalog/product_info.php?products_id=1138. [Online],".
- [20] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "http://www.lepidla-eshop.cz/static/_dokumenty/3/2/1/Kestopur-1030.pdf [Online].
- [21] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "http://www.lepidla-eshop.cz/static/_dokumenty/3/2/1/Kestopur-1030.pdf," [Online].

- [22] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "http://en.kiilto.com/attachments/1/2/white_papers/Kestokol%20WR%20125%20EPI-adhesive.pdf," [Online].
- [23] BÁRTKOVÁ H., KLUSOŇ, P. "Prezentace pdf - Stanovení povrchové snášivosti tenkých vrstev a odbourání povrchově vázaných nečistot," Ústav organické technologie. VŠCHT Praha, 2009. [Online]. Dostupná na WWW: "<http://www.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy/labchcht-001/n150013-b6.pdf>." [Accessed 19 5 2017].
- [24] SHAW, R. J., *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*, Eastbourne: Butterworth Heinmann, 1992.
- [25] AUTOR NEUVEDEN. [cit. 26.5.2017] Dostupná na WWW: "https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/19748/content_1gAAAABJRU5.png," [Online].

Seznam grafů

Graf 1- Závislost kontaktního úhlu na drsnosti povrchu	36
Graf 2 – Porovnání středních aritmetických a kvadratických drsností	44
Graf 3 – Procentuální pokles parametrů drsnosti různých povrchových úprav vztahených k pilařské výrobě	45
Graf 4 – Závislost velikosti kontaktního na čase pro úpravu pásovou pilou	47
Graf 5 – Závislost kontaktního úhlu na čase pro úpravu broušením o zrnitosti P180.....	47
Graf 6 – Závislost velikosti kontaktního úhlu na čase pro úpravu kotoučovou pilou	47
Graf 7– Hloubka průniku lepidla do dřeva	50
Graf 8 – Závislost hloubky průniku lepidla do struktury dřeva na stupni drsnosti povrchu dřeva	50
Graf 9 – Výsledky kontaktních úhlů v čase 0s.....	51

Seznam Tabulek

Tabulka 1 - Požadavky na vizuální kontrolu pro oblasti neúplně tříděné strojně	13
Tabulka 2 – Maximální tvarové změny podle ČSN EN 518.....	16
Tabulka 3 – Požadavky na vizuální kontrolu	17
Tabulka 4 – Označení zkušebních vzorků	35
Tabulka 5 – Složení použitých lepidel.....	35
Tabulka 6 – Naměřené hodnoty drsnosti povrchu a kontaktního úhlu.....	36
Tabulka 7 – Fyzikální vlastnosti epoxidového lepidla [17].....	38
Tabulka 8 – Fyzikální vlastnosti fenol-rezorcín formaldehydového lepidla 1711+tvrdidlo typ 2520 [19].....	39
Tabulka 9 – Fyzikální vlastnosti polyuretanového lepidla KESTOPUR [20]	39
Tabulka 10 – Fyzikální vlastnosti EPI lepidla [21]	40
Tabulka 11 – Výsledky vybraných parametrů drsnosti povrchu dřeva s různými způsoby povrchové úpravy	43
Tabulka 12 – Průměrné hodnoty kontaktního úhlu.....	46
Tabulka 13 – Tabulka průměrných hodnot hloubky průniku	49

Seznam Obrázků

Obrázek 1 – Rozměry suků.....	12
Obrázek 2 – Odklon vláken.....	13
Obrázek 3 – Měřený úsek pro stanovení šířky letokruhů	14
Obrázek 4 – Trhliny: a) čelní; b) jednostranná; c)oboustranná; d,e) odlupčivé	14
Obrázek 5 – Obliny	15
Obrázek 6 – Tvarové změny a) podélné zakřivení ve směru tloušťky; b) podélné zakřivení ve směru šířky; c) příčné zakřivení; d) šroubové zakřivení	15
Obrázek 7 – Zbarvení a hniloba řeziva	16
Obrázek 8 – Schéma evropského stroje na třídění se snímači pro určení průhybu (a), zpětné síly (b), absorpce záření (c), zakřivení (d), tloušťky dřeva (e) a vlhkosti dřeva (f) [2]	18
Obrázek 9 – Schéma konfokálního mikroskopu [3].....	21
Obrázek 10 – Princip činnosti AFM [5].....	22
Obrázek 11 – Grafické znázornění drsnosti	23
Obrázek 12 – Grafické znázornění vlnitosti.....	24
Obrázek 13 – Grafické znázornění tvaru povrchu	24
Obrázek 14 – Profil povrchu [7].....	25
Obrázek 15 – Prvek profilu [7].....	26
Obrázek 16 – Největší výška výstupků profilu.....	27
Obrázek 17 – Největší hloubka prohlubní profilu.....	27
Obrázek 18 – Největší výška profilu.....	28
Obrázek 19 – Výška prvků profilu	28
Obrázek 20 – Kotoučová bruska [11].....	31
Obrázek 21 – Válcová bruska [13]	32
Obrázek 22 – Úzkopásová bruska [14]	33
Obrázek 23 – Širokopásová bruska [15]	33
Obrázek 24 –Přístroj SEE SYSTEM a schéma měření, prováděno na FSI VUT v Brně, odbor fluidního inženýrství Victora Kaplana.....	41
Obrázek 25 – Určování kontaktních úhlů [25]	42
Obrázek 26 – Schéma měření kontaktního úhlu u kapky lepidla na povrchu dřeva, detail analýzy provedené systémem „SEE Software“	42
Obrázek 27 – Přístroj LEICA DM 4000 M LED, měřeno na pracovišti AdMaS, VUT v Brně, FAST	Chyba! Záložka není definována.

Obrázek 28 – Povrch vzorku smrku upraveného brusným zrnem o zrnitosti P180.....	45
Obrázek 29 – Povrch vzorku smrku upraveným hoblováním srovnávací frézou	45
Obrázek 30 – Povrch vzorku smrku řezaný pásovou pilou	46
Obrázek 31 – Hloubka průniku lepidla do vzorku řezaného kotoučovou pilou při zvětšení 200× za použití fluorescence, emisní filtr 520 nm	48
Obrázek 32– Hloubka průniku lepidla do vzorku broušeného zrnitostí P60 při zvětšení 100× za použití fluorescence, emisní filtr 520 nm	49