



DODRŽENÍ KVALITY OBRÁBĚNÍ DŘEVA FRÉZOVÁNÍM VE VAZBĚ NA POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Miroslav Rousek – Zdeněk Kopecký – Robert Chlebovský

Abstract

The paper evaluates the surface quality at using the high-speed milling of wood and its influence on the subsequent surface treatment without the use of sanding. The aim of the procedure is to determine the usability of this method at the manufacture of some furniture elements. To assess the surface quality an expert method of evaluating the quality of milled surface is used. After the treatment, the surface is evaluated by an objective method of assessing the appearance properties according to the ČSN 91 0272 standard. Moreover, before and after the treatment, the surface is evaluated by means of results from the measurement of unevenness using the Talysurf CLI 1000 device, namely in tables and diagrams.

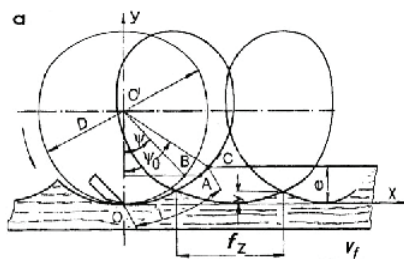
Key words: *high-speed milling, surface quality, surface treatment*

1 ÚVOD

Článek hodnotí kvalitu povrchu po vysokorychlostním frézování dřeva a její vliv na následnou povrchovou úpravu bez použití broušení. Cílem je zjistit použitelnost postupu při výrobě některých nábytkových dílců. Pro posouzení kvality povrchu se využívá expertní metoda hodnocení kvality frézovaného povrchu. Po povrchové úpravě je povrch hodnocen objektivní metodou hodnocení vzhledových vlastností dle ČSN 91 0272. Před i po povrchové úpravě je navíc povrch hodnocen výsledky z měření nerovností přístrojem Talysurf CLI 1000. Po frézování se často vyskytují nerovnosti, zejména viditelné vlnky po rotujícím nástroji. Proto obvykle po frézování navazuje operace broušení, po které je povrch dokonale vyhlazen. Podmínkou je nastavení parametrů frézování tak, aby kvalita ofrézovaného povrchu byla přijatelná bez broušení pro povrchovou úpravu.

2 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je proces obrábění otáčejícím se nástrojem (frézou), kdy se tloušťka třísky mění během záběru od nuly do maxima a posuv je kolmý k ose otáčení nástroje. Tento způsob obrábění se volí pro vytvoření přesných rozměrů obrobku s hladkým povrchem. Řezný proces je přerušovaný, takže každý zub nástroje odřezává z obrobku třísku proměnné tloušťky. Výzkum byl prováděn pro nesousledné frézování (Obr. 1).



Obr. 1: Nesousledné frézování

Obr. 2: Profil povrchu ofrézovaného noži s rozdílným poloměrem řezání (Lisičan a kol. 1996)

Tvarová i rozměrová přesnost jsou podmíněny technickým stavem stroje. Drsnost povrchu vlnek není totiž ovlivněna jen hloubkou vlnek, ale i rovnoměrností hloubky vlnek. Pro teoretický výpočet hloubky vlnek y lze použít rovnici pro kruhovou výseč.

V praktických podmínkách se jen těžko dosahuje větší přesnosti nožů v nožových hlavách než 0,02 mm, důsledkem pak je, že profil drsnosti je nerovnoměrný (Obr. 2). Při větší nepřesnosti nastavení nožů bývá některý nůž zcela vyřazený z funkce. (Lisičan a kol. 1996).

Řezná rychlost ovlivňuje kinematické nerovnosti povrchu a jakost odřezávání dřevních vláken. Když jsou ostatní činitele konstantní, zvyšováním řezné rychlosti se zmenšuje posuv na zub. Pomocí známých diagramů lze stanovit vhodný rozsah posuvů na zub f_z vzhledem k otáčkám vynásobeným počtem břitů.

3 VYHODNOCOVÁNÍ KVALITY POVRCHU

Pro vyhodnocování kvality povrchu existuje mnoho metod, od jednoduchých, málo přesných až po moderní velmi přesné metody.

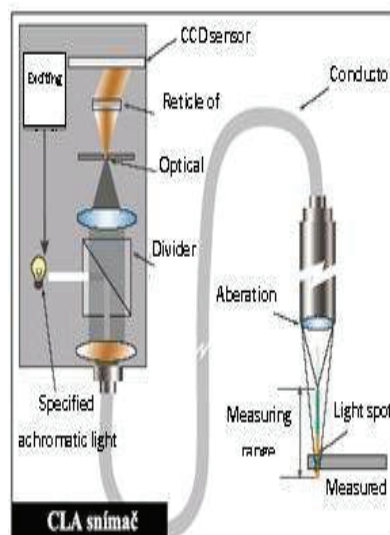
Porovnávací metody zahrnují metodu porovnávací a metodu vizuální. Jedná se o jednoduché metody. Obě jsou založeny na lidském vnímání, tudíž do značné míry subjektivní. U metody porovnávací se dotykem na hodnocený povrch a vnímání jeho drsnosti srovnává s vytvořenou porovnávací stupnicí tzv. etalony a nalezení podobného povrchu na stupnici. Na těchto poznátcích je založena metoda expertního hodnocení. Míra nepřesnosti je u ní částečně snížena tím, že hodnocení by měli provádět odborníci s praktickými zkušenostmi v oboru a těchto hodnotitelů by mělo být co nejvíce. Rousek, Pernica a kol. (2006).

Dotykové metody jsou již poněkud přesnější oproti předchozím metodám. Přístroje sloužící pro toto měření se nazývají drsnoměry. Většinou se skládají z posuvné a měřicí jednotky, raménka (to se může pohybovat jak horizontálně tak vertikálně) a snímače různých typů. Nevýhodou těchto snímačů je, že při vyvinutí větší síly, působící na raménko mohou způsobit na povrchu snímaného vzorku škrábance nebo jiné defekty.

Bezdotykové metody jsou velmi přesné a v dnešní době stále více používané. Patří sem celá řada systémů (fotometrické hodnocení, skenovací, elektronové, laserové, rastrové, optické aj.) Mezi optické patří konfokální (CLA) snímač, který byl použit pro vyhodnocení kvality vzorků v této práci. Princip činnosti konfokálního snímače spočívá v tom (obr. 3), že je bílé světlo rozloženo a optikou se spektrální aberací je směřováno na kontrolovaný povrch. Spektrometr vychýlí světlo na CCD senzor, kde je každému bodu přiřazena

prostorová poloha Mezi výhody tohoto snímače patří rychlé snímání ve vysokém rozlišení a vysoká přesnost.

Postupně proběhne zobrazení plochy 3D - stanovení 3D parametrů struktury povrchu plochy, vytvoření 2D řezů – stanovení 2D parametrů z profilů drsnosti a vlnitosti (Svoboda a kol. 2009). Jakost broušeného povrchu má vliv na povrchovou úpravu. Povrch dřeva určený pro povrchovou úpravu musí být rovný a hladký. Hladkost a rovnost dřeva před nanesením nátěrové hmoty je základním požadavkem na docílení kvality a efektivnosti úpravy (Němec a kol. 1985). Dokončená plocha se leskne tím více, čím má uzavřenější póry a je hladší. Protože je dřevo porézní, musí se nanést takový nátěr, který póry vyplní a který lze vyhladit do vysokého lesku. U transparentního laku s otevřenými póry se provádí nanášení vrchního bezbarvého laku na obroušený základní nátěr často v jedné vrstvě. Efektivní metoda nanášení nátěrových hmot v nábytkářském průmyslu a při úpravě stavebně truhlářských výrobků je polévání (clonování). Tato metoda je vhodná pro sériovou výrobu.



Obr. 3: Princip činnosti konfokálního (CLA) snímače (Svoboda a kol. 2009)

4 MATERIÁL A METODIKA

Pro experiment byly vybrány dvě dřeviny s velmi rozšířeným použitím zejména v nábytkářství a stavebně truhlářské výrobě. Jako jeden zástupce listnatých (buk) a jeden zástupce jehličnatých (smrk) dřevin. Z obou vybraných dřevin byly vyrobeny vzorkové hranolky o vlhkosti vzorků 10 ± 2 %. Parametry frézování jsou v tab. 1. Použitý stroj - Jedná se o zkušební stend s plynulou elektronicky nastavitelnou změnou otáček fréz v rozsahu $0 - 15\,000$ $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$ a posuvu v rozsahu $10 - 120$ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Použitý nástroj – Pro frézování zkušebních hranolků byla použita frézovací hlava výrobce Benmet s.r.o Praha, s parametry: průměr 125 mm, výška 100 mm, nože 6 ks (Pilana $100 \times 30 \times 3$ mm, $\beta = 40^\circ$)

Dřevin a	Rychlost hřídele [$\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$]	Rychlost posuvu [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
BK	9 000	18
		20
		22
SM	10 000	18
		20
		22

Tab. 1: Použité parametry frézování

Po každém frézování byl z hranolku odříznut špalík o délce přibližně 90 mm, poté mohlo následovat další frézování se změněnými parametry a snížením hřídele o 2 mm. U takto

získaných vzorků byla vyhodnocována kvalita frézovaného povrchu přístrojem Taylor Hobson Talysurf CLI 1000. Při měření a vyhodnocování kvality povrchu bylo postupováno podle norem EN ISO 4287 a EN ISO 4288.



Obr. 4: Měřicí přístroj Talysurf CLI 1000 Obr. 5: Snímání vzorku CLA snímačem

Na každém virtuálním 3D povrchu byly vybrány tři 2D řezy (tzn. šest na každý vzorek), ze kterých mohly být určeny všechny parametry povrchu. Veškeré řídicí, kontrolní, vyhodnocovací i informační funkce, při měření povrchů zabezpečoval program Talymap Platinum. Program umožňuje analyzováním dat z 3D povrchu popsat tento povrch celkem 40 parametry a 2D profil až 117 parametry. Pro potřeby experimentu byly vybrány parametry:

Sa, Ra, Wa – průměrná aritmetická úchylka povrchu, Sq, Rq, Wq – průměrná kvadratická úchylka povrchu, St, Rt, Wt – celková výška profilu, Sz, Rz, Wz – nejvyšší výška profilu.

Všechna získaná data byla statisticky zpracována a výsledky vyneseny do grafů a tabulek. Pro zhodnocení kvality povrchu byla použita expertní metoda, používána již v minulosti při podobných výzkumech zabývajících se kvalitou opracování. Za tímto účelem byla navržena následující stupnice pro hodnocení kvality obrábění

1. – velmi dobrá kvalita, není třeba obrobek dodatečně brousit, nebo možno mírně přebrousit dle použití
2. – dobrá kvalita vyžaduje následně broušení
3. – hrubé frézování (např. na zcela skryté dílce)
4. – frézování pro stavební účely
5. – nevyhovující frézování

Pro povrchovou úpravu zkušebních vzorků byl vybrán bezbarvý nitrocelulóзовý lak HESSE CN – schichtlack NE 354 s následujícími parametry:

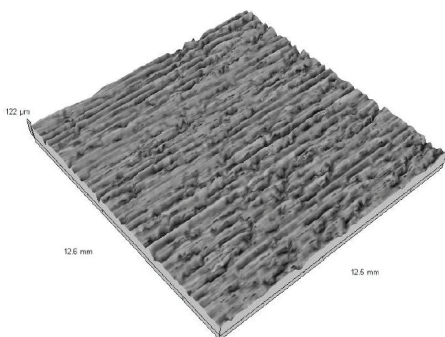
obsah sušiny 26–27 %, hustota $0,902-0,907 \text{ kg}\cdot\text{l}^{-1}$, doporučený nános $2 \times 100-320 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Ohodnocení vzhledových vlastností dokončeného povrchu bylo provedeno podle normy ČSN 91 0272, která udává metodiku hodnocení povrchu dokončeného nátěrovou hmotou. Ohodnocení povrchu vzorků se provádí pomocí dvou tabulek, tabulkou pro hustotu zaplnění jednotlivých defektů na ploše a tabulkou pro určení velikosti těchto defektů na dokončené ploše.

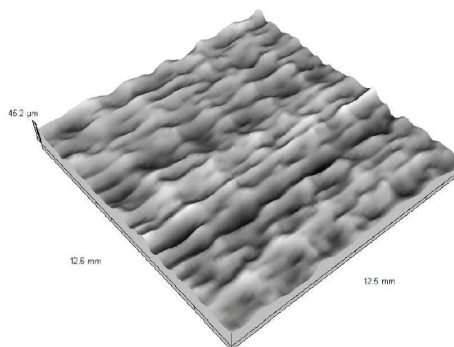
5 VÝSLEDKY

5.1 Výsledky z měření nerovností povrchu vzorků

Příklady povrchů, ze kterých byly stanoveny jednotlivé S parametry jsou uvedeny na obrázcích Obr. Chyba! Nenašel sa žiaden zdroj odkazov..

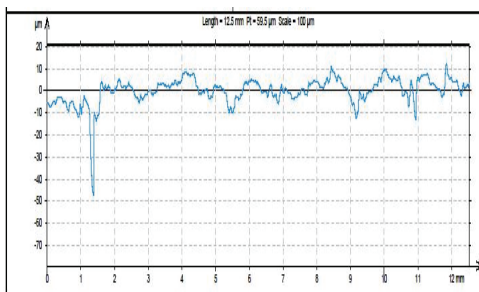


Obr. 6: Základní 3D plocha

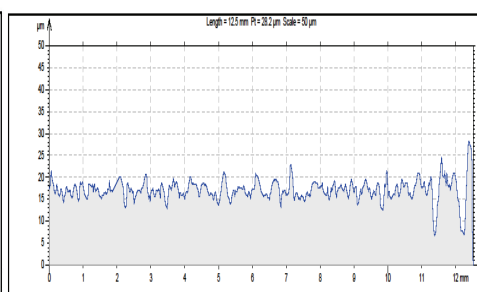


Obr. 7: 3D plocha vlnitosti

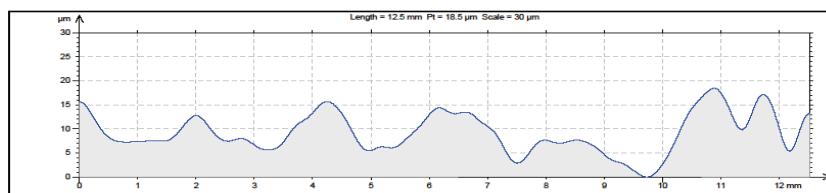
Na obrázku (8) je znázorněn příklad 2D řezu ze základní plochy, ze kterého byly pomocí Gaussových filtrů 0,8 a 2,5 mm získány profily drsnosti (z nich získány R parametry) a vlnitosti (z nich získány W parametry), jejich příklady jsou na dalších obrázcích 9 a 10.



Obr. 8: 2D řez ze základní plochy



Obr. 9: Profil drsnosti



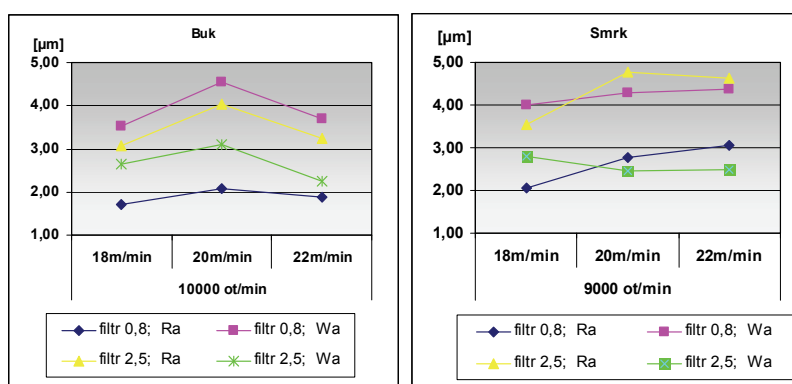
Obr. 10: Profil vlnitosti

V tabulce Tab. jsou uvedeny průměrné hodnoty jednotlivých parametrů zjištěné u smrku (tabulka buku není uvedena). Pro porovnání jsou zde uvedeny hodnoty zjištěné jak při použití Gaussova filtru 0,8 mm tak filtru 2,5 mm. Všechny uváděné hodnoty byly zpracovány tabulkově, dále je uveden příklad některých z nich.

dřevina	Smrk						parametry ze základní plochy
otáčky	9000 ot/min			10000 ot/min			
posuv	18m/min	20m/min	22m/min	18m/min	20m/min	22m/min	
Sa [μm]	9,55	9,13	9,23	9,14	8,18	7,99	
Sq [μm]	13,05	12,40	12,65	12,55	10,85	10,73	
St [μm]	111,00	96,70	95,15	96,45	84,25	84,10	
Sz [μm]	110,50	96,20	94,90	96,40	84,05	83,65	

Tab. 2: Průměrné hodnoty parametrů zjištěných u smrku

V grafech (Graf 1: Porovnání použití dvou filtrů u buku Graf 2, Graf) jsou u některých vzorků porovnány parametry Ra a Wa při použití Gaussova filtrů 0,8 a 2,5 mm.



Graf 1: Porovnání použití dvou filtrů u buku Graf 2: Porovnání použití dvou filtrů u smrku

5.2 Hodnocení povrchu pomocí stupňů kvality

V tabulce 3 jsou uvedeny výsledky hodnocení kvality povrchu expertní metodou.

Dřev.	Otáčky [ot·min ⁻¹]	Posuv [m·min ⁻¹]	Uz [mm]	Hodnocení						Arit. průměr	Medián	Směr odchy lka
				1.	2.	3.	4.	5.	6.			
BK	9000	18	0,33	1	3	3,5	1	2	3	2,10	2,50	1,08
		20	0,37	3	2	2	2	2	2,5	2,20	2,00	0,42
		22	0,41	2	2	3	2	3	2,5	2,40	2,25	0,49
	10000	18	0,30	2,5	2	3	2	1	3	2,10	2,25	0,76
		20	0,33	3	2	3	2	1	2,5	2,20	2,25	0,76
		22	0,37	4	2	1,5	3	2	2,5	2,50	2,25	0,89
SM	9000	18	0,33	1	1	3	2	1	3	1,60	1,50	0,98
		20	0,37	3	2	3	1	3	2	2,40	2,50	0,82
		22	0,41	2,5	2	3	3	1	1	2,30	2,25	0,92
	10000	18	0,30	2	3	1	3	3	1,5	2,40	2,50	0,88
		20	0,33	2	2	1,5	2	4	2	2,30	2,00	0,88
		22	0,37	3	4	5	3	5	1,5	4,00	3,50	1,36

Tab. 3: Stupně kvality zjištěné u jednotlivých vzorků

Z výsledků je zřejmé že se zvyšující se rychlostí posuvu do řezu se hodnocení hodnotitelů zhoršuje, tento trend je dosti zřetelný zejména u buku **Chyba! Nenašel sa žiaden zdroj odkazov.** Rozdílnost mezi použitými otáčkami již není tak výrazná a hodnoty jsou dosti proměnlivé. Při tomto způsobu hodnocení není patrný ani rozdíl mezi hodnotami smrku a buku. Nejlepší známky (1,6) bylo dosaženo u smrku frézovaného při posuvu 18 m·min⁻¹ a otáčkách 9 000 ot·min⁻¹. Tato hodnota je ovšem, vzhledem k ostatním, dosti vysoká.

5.3 Objektivní hodnocení vzhledových vlastností po povrchové úpravě

Výsledky objektivního hodnocení vybraných vzhledových vlastností jsou uvedeny v tabulce 4, kde m je hustotu zaplnění jednotlivých defektů na ploše a g velikosti těchto defektů na ploše.

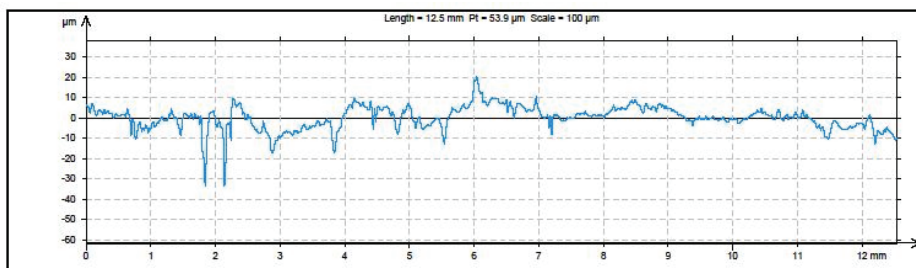
Dřevina	Otáčky [ot./min]	Posuv [m/min]	Posuv na zub [mm]	Neklidný povrch		Pomerančová kůra		Trhlinky		Matná nebo lesklá místa		Stopy po obrábění		Kopírování podkladu	
				m	g	m	g	m	g	m	g	m	g	m	g
BK	9 000	18	0,33	1	2	1	1	2	2	3	3	1	1	3	2
		20	0,37	3	4	1	1	3	2	5	5	3	4	5	4
		22	0,41	2	2	1	1	2	2	3	3	3	2	3	3
	10 000	18	0,30	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	3	3
		20	0,33	2	2	1	1	2	1	4	4	3	2	4	4
		22	0,37	3	3	1	1	2	1	4	3	3	3	4	4
SM	9 000	18	0,33	3	3	1	1	1	1	2	2	1	1	4	3
		20	0,37	3	3	1	1	1	1	2	2	4	3	2	3
		22	0,41	2	2	1	1	1	1	2	3	4	3	2	2
	10 000	18	0,30	2	3	1	1	3	3	3	3	2	2	2	2
		20	0,33	3	3	1	1	1	2	1	2	2	2	2	3
		22	0,37	5	4	1	1	3	3	3	4	3	4	4	4

Tab. 4: Objektivní hodnocení vzhledových vlastností dle ČSN 91 0272

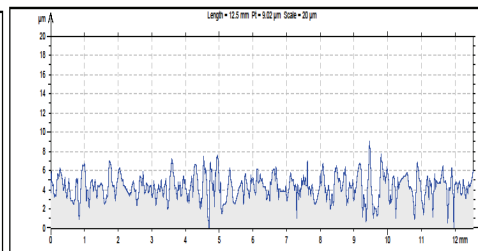
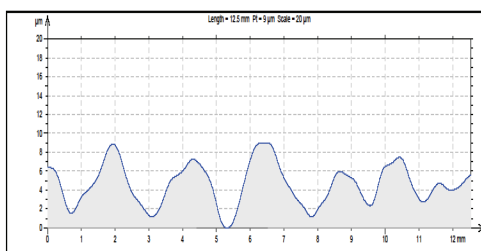
Z tohoto hodnocení celkově vyšly lépe povrchy buku. Pomerančová kůra se neobjevila u žádného ze vzorků a tak ji patrně míra kvality ofrézované plochy neovlivňuje. Při srovnání zjištěných hodnot s tabulkou požadavků na vzhled dokončených ploch zjišťujeme, že do některé ze skupin nábytkových dílců by se zařadily jen tři povrchy a to všechny bukové.

5.4 Výsledky z měření nerovností povrchu dokončených vzorků

Postup hodnocení je stejný. Z 3D ploch byly stanoveny S parametry. Na obrázku (Obr.) je znázorněn příklad 2D řezu ze základní plochy, ze kterého byly pomocí Gaussova filtru 0,8 mm získány profily drsnosti (z nich získány R parametry) a vlnitosti (z nich získány W parametry), jejich příklady jsou na dalších obrázcích (obr.12 a 13).



Obr. 11: 2D řez základní plochou po povrchové úpravě



Obr. 12: Profil vlnitosti po povrchové úpravě Obr. 13: Profil drsnosti po povrchové úpravě

Tabulkově byly sumarizovány průměrné hodnoty jednotlivých parametrů zjištěné u smrkových a bukových vzorků frézovaných při posuvu $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

6 DISKUZE

6.1 Kvalita obrobeneho povrchu zjištěná při měření nerovností.

Z výsledků měření nerovností povrchu přístrojem Talysurf CLI 1000 nelze jednoznačně konstatovat, že na drsnost a vlnitost povrchu mají vliv parametry frézování. Výška vlnek je teoreticky dána právě parametry frézování otáčkami a posuvem. Tyto výsledky nejsou dostatečně jednoznačné, protože korelační koeficient má hodnotu přesahující 0,9 jen ve dvou případech a v jednom je téměř nulový.

6.2 Kvalita obrobeneho povrchu hodnocená expertní metodou.

Po výsledcích z měření povrchových nerovností přístrojem Talysurf CLI 1000 je překvapující informace u výsledků expertní metody. Touto metodou se jednoznačně prokázala závislost kvality obrobeneho povrchu na parametrech frézování. Konkrétně u použitých posuvů je zřetelný rozdíl v hodnocení, čím menší posuv, tím lepší hodnocení. Závislost je obzvlášť dobře patrná u buku. Výsledek tedy není tak dobrý jak se očekávalo, což je dáno faktem, že nože vykazují tedy větší míru otupení.

6.3 Kvalita povrchové úpravy hodnocená vzhledovými vlastnostmi

Z hlediska hodnocení vzhledových vlastností se jeví o něco lépe buk. Zejména bukové vzorky frézované při posuvu $18 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ mají velmi dobré hodnocení. Ostatní bukové vzorky již mají hodnocení podobné smrku. Tento rozdíl mezi dřevinami bude pravděpodobně dán jejich tvrdostí. Dřevo měkké má tendenci se zatlačovat do povrchu a poté z něj částečně vystupuje. To potvrzuje i zjištění, že u smrku se vyskytoval ve větší míře neklidný povrch. U buku se zase více vyskytovala matná místa a s tím související kopírování podkladu, způsobené pravděpodobně odlišnou stavbou dřeva, které více vsakuje nátěrovou hmotu a zvláště, když jeho povrch je otevřený a není uhlazený broušením. Variabilita výsledků může být dána malým rozpětím zvolených parametrů.

6.4 Kvalita povrchu po povrchové úpravě zjištěná měřením nerovností

Zatímco při měření povrchových nerovností před povrchovou úpravou byly výsledky buku a smrku přibližně stejné, po povrchové úpravě byly u buku zjištěny větší nerovnosti než u smrku a to přibližně o 1 až $1,5 \text{ } \mu\text{m}$. S tím souvisí i výsledek zjištěný při porovnání hodnot nerovností před a po povrchové úpravě. Zatímco u smrku došlo k výraznému poklesu hodnot, u buku jen k mírnému. Toto je pravděpodobně způsobeno tím, že na povrchu smrku zůstalo více nátěrové hmoty než u buku. U buku vlivem větší otevřenosti povrchu došlo k většímu prosáknutí NH do dřeva.

ZÁVĚR

Cílem výzkumu bylo zjistit vhodnost použitých metod pro hodnocení kvality povrchu. Měření povrchových nerovností přístrojem Talysurf CLI 1000 se ukázalo jako velmi přesné, ale ne příliš vhodné pro hodnocení kvality frézovaného povrchu dřeva. Touto metodou se povrch sleduje příliš „zblízka“ a nepopisuje povrch jako celek. Naopak se osvědčila expertní metoda, při které se hodnotí komplexně celý povrch. Expertní metodou byla zjištěna závislost kvality povrchu na parametrech frézování, zatímco u měření nerovností se tato závislost neprokázala.

LITERATURA

1. LISIČAN J. a kol., 1996. Teoria a technika spracovania dreva. Matcentrum. Zvolen, 626 s.
2. NAVRÁTIL M., 2009. Povrchová úprava nábytkových dílců polyuretanovými nátěrovými hmotami. Brno MZLU, 58 s.
3. ROUSEK M. – PERNICA J. (2006). Výzkum a vývoj progresivních strojů a zařízení k obrábění dřeva. Brno, MZLU, 87 s.
4. LIŠKA M., ROUSEK M., 2010. Vliv kvality frézovaného povrchu na následné povrchové úpravy. Brno, MZLU, 52 s.
5. SVOBODA E. a kol., 2009. Surface structure of milling wood. Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW Forestry and Wood Technology No. 68.

6. CSN 91 0272 Nábytek. Zkoušení povrchové úpravy nábytku. Hodnocení vzhledových vlastností.
7. CSN 91 0102 Nábytek - Povrchové úpravy dřevěného nábytku – Technické požadavky
8. EN ISO 4287 - Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu

Poděkování:

Příspěvek byl vypracován v souvislosti s řešením dílčího projektu v rámci výzkumného záměru MŠM 6215648902. Autoři tímto děkují za poskytnutí finančních prostředků k řešení úkolu.