



VLIV TECHNOLOGICKÝCH FAKTORŮ NA KVALITU OPRACOVÁNÍ POVRCHU PŘI FRÉZOVÁNÍ TERMICKY MODIFIKOVANÉHO BOROVIČOVÉHO DŘEVA

Štefan Barcik¹ – Miroslav Gašparík¹ – Aleš Houska¹ – Evgeny Yu. Razumov²
–Miroslav Sedlecký

Abstract

*The paper presents the results of verification experiments aimed at monitoring the impact of technological, material and tool factors on roughness of machined surface (average roughness R_a) during plain milling of thermally modified pine wood (*Pinus sylvestris*). The experiments were carried out at four temperature regimes ($T = 160, 180, 210$ and 240 °C), the three feed speeds ($v_f = 4, 8, 11$ m.min⁻¹), three cutting speeds ($v_c = 20, 30, 40$ m.s⁻¹) and three rake angles of the tool ($\gamma = 15, 20, 25$ °). Roughness measurements were carried out using a surface roughness tester Talysurf, Intra Series 2, produced by Taylor Hobson, by contact method based on inductive sensing. Statistical evaluation of the results of experiments, it was clear order of importance of the impact monitored parameters to R_a and the following order: 1. Thermal treatment (T), 2. Rake angle (γ), 3. Cutting speed (v_c) and 4. Feed speed (v_f).*

Key words: *thermowood, quality of surface, milling, cutting speed, feed speed, angle of head apparatus, roughness*

ÚVOD

Neustálý nárůst spotřeby dřevní hmoty nutí člověka hledat nové možnosti, jak dřevní hmotu získat a jak s ní lépe hospodařit. Jednou z možností, jak je možné rozšířit potenciál dřeva jako výrobního materiálu, je termická modifikace dřeva. Termická modifikace dřeva je založena na působení vysokých teplot, kdy dochází k termickým a hydrotermickým změnám ve struktuře dřeva. Tyto změny způsobují zlepšení vlastností dřeva, jako jsou odolnost proti škůdcům, snížení hygroskopicity dřeva, tvarová stálost atd..

V dnešní době dochází k nárůstu spotřeby termicky upraveného dřeva. V Evropě se např. podle (Boonstra 2008) vyrobilo v roce 2007 přibližně 130 800 m³. K výrobě termicky modifikovaného dřeva se používají především nejhojněji rostoucí dřeviny jako je smrk a borovice. Pro tepelnou úpravu se používají samozřejmě i jiné druhy dřevin.

Předložený příspěvek se věnuje vlivu vybraných faktorů na kvalitu opracování povrchu při rovinném frézování termicky modifikovaného dřeva se záměrem ukázat rozdíl mezi tepelně upraveným a přírodním dřevem. Kvalita obrobeneho povrchu po frézování je mimořádně důležitá z hlediska dalšího zpracování obrobku, zvláště však při jeho povrchové

¹ Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, 165 21 Prague, Czech Republic
e-mail: barcik@fld.czu.cz, gasparik@fld.czu.cz, mireksed@atlas.cz

² Volga State University of Technology, Lenin sq. 3, 424 024 Yoshkar – Ola, Republic of Mari El, Russian Federation
e-mail: evgeny.razumov2011@yandex.ru

úpravě. Mnoho vědeckých publikací se věnuje kvalitě v souvislosti s vlnitostí povrchu, avšak méně v souvislosti s drsností.

V příspěvku jsou zveřejněné **ověřovací** experimenty zaměřené na sledování a vyhodnocení parametrů drsnosti (R_a) termicky modifikovaného borovicového dřeva ve vztahu k vybraným parametrům obrábění jako posuvná rychlost, řezná rychlost, úhlové parametry nástroje.

CÍL, METODIKA A MATERIÁL

Cílem ověřovacích experimentů bylo zjištění drsnosti povrchu dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris*) po rovinném frézování se zaměřením se na rozdílnost drsnosti povrchu u rostlého a termicky modifikovaného dřeva. Taktéž byl sledovaný vliv úhlových parametrů použitých nástrojů (úhel čela γ) při různých řezných a posuvných rychlostech. V rámci drsnosti povrchu byl vyhodnocený parametr R_a – střední aritmetická odchylka profilu (střední hodnota drsnosti – tj. aritmeticky průměrná výška oboustranných nepravidlostí drsnosti vztahujících se ke střední čáře na vyhodnocené délce).

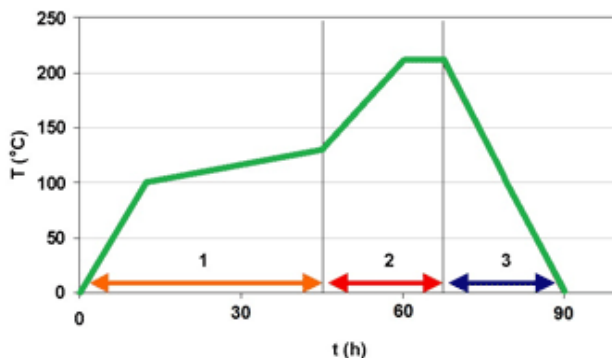
Výběr a příprava vzorků, charakteristika suroviny

Výchozí materiál a průběh tepelné úpravy byl zajištěn docentem Razumovem z Katedry dřevozpracujícího průmyslu Fakulty Lesnické Volga State University of Technology, která sídlí ve městě Yoshkar-Ola v Rusku. Fakulta má vlastní pilnici, kde byl uskutečněn požez z místní borovicové kulatiny.

Pro výchozí materiál byly použity dvě kulatiny z borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Každá kulatina byla použita na jinou sérii vzorků. Z kulatiny se nejdříve vymanipulovaly fošny z radiálního středového řeziva o tloušťce 32 mm. Fošny se nechaly následně vysušit na vlhkost 8%. Materiál byl následně rozřezán na 5 přířezů dlouhých 500 mm a širokých 100 mm. Jeden přířez se dále neupravoval, zůstal přírodní. Každý z dalších 4 přířezů se tepelně upravil na určitou teplotu (160°C, 180°C, 210°C, 240°C). Materiál se nechal v prostředí o konstantních podmínkách při relativní vlhkosti 65% a teplotě 20°C pro ustálení vlhkosti. Všechny vzorky byly dále srovnány na srovnávací frézce a protaženy na konečnou tloušťku 25 mm.

Tepelné ošetření materiálu

Proces výroby ThermoWoodu byl zabezpečen dle grafu na obr.1 s parametry vid. Tab. 1 na zařízení obr.č. 2.



Obr.1 Graf procesu technologie výroby ThermoWoodu

1/ fáze – zvýšení teploty a sušení

Suchou dřevinu o vlhkosti 8 - 10 % vysušíme na absolutně suché dřevo zvýšením teploty do 170°C (v závislosti od zařízení a to po dobu 6-24 hodin).

2/ fáze – tepelná úprava

Tato etapa začíná zvýšením teploty do 180-220°C. Dřevo se modifikuje touto teplotou v rozsahu 3 až 5 hodin v závislosti od stupně termofikace (čím delší čas působení, tím se mění dřevo do tmavší barvy).

3/ fáze – chlazení a úprava vlhkosti

Postupně se snižuje teplota po dobu 5 až 12 hodin. Příčně při teplotě 100°C probíhá kondicionování dřeva (ulehčeno pomocí rozptýlené vody).

Tab.1 Fáze jednotlivých tepelných úprav

Teplota (°C)	1.etapa (hod)	2.etapa (hod)	3.etapa (hod)
160	4	5	2
180	5	5	2,5
210	6	5	3
240	7	5	3,5

**Obr. 2 Laboratorní pec pro termickou úpravu se vzorky****Stanovení hustoty**

Součástí experimentů bylo i stanovení objemové hustoty experimentálních vzorků jednotlivých technologií termowoodu. Hustota je velmi významná fyzikální vlastnost, která ovlivňuje jak mechanické tak i technologické vlastnosti. V případě měření drsnosti povrchu vzorků hraje hustota důležitou roli. Hustota má velký vliv na proces obrábění, v našem případě rovinného frézování, kde může velmi ovlivnit naše naměřené výsledky. Před frézováním vzorků bylo potřeba zjistit objemovou hmotnost (hustotu) materiálu. Z materiálu o rozměrech 500/100/25 mm se vymanipulovaly vzorky o rozměrech 20/20/30 mm podle normy ČSN 49 0103. Zjištěné hodnoty hustoty prezentuje tab.č.2.

Tab. 2 Hodnoty hustoty

tepelná úprava	Hustota ρ [kg.m ⁻³]	procentuální změna [%]
rostlé dř.	452	
160°C	421	6,86
180°C	404	4,04
210°C	376	6,93
240°C	365	2,93

Strojové zařízení

Experiment se realizoval na spodní vřetenové frézce FVS, výrobek společnosti Československé hudební nástroje, Hradec Králové s parametry: $n=3000-2000$ ot.min.⁻¹, $P_m=4$ kW. Podávání obrobku bylo zabezpečeno podávacím zařízením STEFF 2034 firmy MAGGI, s parametry příkon 0,6-0,8kW, $n=1400/2800$ /min, $v_f=4,8,11,22$ m/min, obr.3

**Obr. 3** Frézka s podávacím zařízením**Nástroj**

Při experimentálních zkouškách byly použité 3. nožové frézy s vyměnitelnými plochými noži s úhlovými parametry $\gamma=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ a s $\beta=45^\circ$ od firmy Staton s.r.o., Turany. Nože byly vyrobené z ocele MAXIMUM SPECIAL 55: 1985/5 o tvrdosti 64 HRC obr.4.

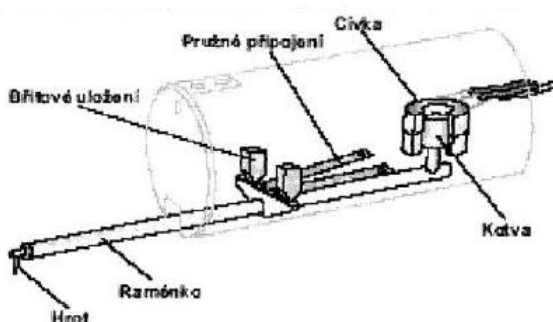
**Obr. 4** Frézovací hlavy použité při frézování

Měření drsnosti

Měření drsnosti se realizovalo na drsnoměru od firmy Taylor Hobson, Talysurf Series Intra 2 obr.5. Tento přístroj dokáže měřit drsnost, vlnitost nebo rozměrové parametry. Jedná se o přístroj s indukčním snímačem obr.6.



Obr. 5 Drsnoměr Talysurf Intra 2



Obr. 6 Princip indukčního snímače

Vizuální prohlídkou se odhadne parametr drsnosti R_a . Stanovila se základní délka pro R_a odhadnutá v prvním kroku. Přístrojem pro měření, který má již nastaveny hodnoty základní délky se získal měření R_a . Naměřená hodnota R_a se dále porovnávala s rozsahem hodnot R_a dle ISO 4288 odpovídající odhadnuté základní délce. V případě, že naměřené hodnoty byly mimo rozsah než doporučené normou, tak se musely nastavit hodnoty na větší nebo menší základní délku. Tímto způsobem se získaly reprezentativní měření parametry použitím mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích.

Experimentální měření

Vzorky byly frézované při třech posuvných rychlostech $v_f=4, 8, 11$ m/min, třech řezných rychlostech $v_c=20, 30, 40$ m.s⁻¹ a při třech frézovacích hlavách s úhly čela $\gamma=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$. Na mramorovou desku se položil drsnoměr, který stál na třech nohách zajišťující rovinnou stálost. Vzorky dřeva se řádně označily popisovačem. Na každém vzorku byly umístěny dvě značky, které byly 60 mm od každého kraje. Dále se vyznačily popisovačem šipky, které upozorňovaly na správný směr a stranu vzorku při frézování.

Průběh měření drsnosti představuje obr. 7 (Houska, 2013), kde pomocí ruční manipulace se rameno se snímacím (měřicím) hrotem umístilo na povrchu vzorku na předem vyznačené místo a přibližně uprostřed šířky vzorku. Tlak dotyku hrotu k povrchu

vzorku se vždy nastavil na střední velikost a aktivovalo se měření, kdy hrot přejížděl po povrchu vzorku nastavenou rychlostí pojezdu, zaznamenával nerovnosti a všechny veličiny nakonec vyhodnotil do dvou grafů, kde první se nazýval „Nezpracovaný profil“ a druhý „Nezměněný profil“. U druhého grafu se odfiltroval sklon při měření a dále zde byla vyhodnocena veličina R_a . Výsledky a grafy byly ukládány do počítače. Ruční manipulací vyjel snímací hrot nahoru, vzorek se obrátil a měření začalo znovu na druhém místě. Tímto způsobem se naměřily postupně všechny kombinace vzorků. Během měření se musely odbourat všechny rušivé elementy, jako jsou vibrace, které by zkreslovaly naměřené výsledky.



Obr.7 Průběh měření drsnosti

VÝSLEDKY A DISKUZE

Faktory ovlivňující výsledné hodnoty drsnosti

Výsledky naměřených hodnot při měření drsnosti se v některých případech velmi lišily a některé výsledky u stejných kombinací se velmi rozcházely. Na těchto odchylkách se výrazně podílela struktura dřeva našich vzorků. Při frézování se pro každou kombinaci ubral vždy 1 mm materiálu ze vzorků. To prakticky znamená, že pro každé měření drsnosti se nám nabízel jiný povrch obrobené plochy. Borovice lesní má výraznou změnu mezi jarním a letním dřevem, které vykazují jinou hustotu. V některých případech muselo rameno drsnoměru s diamantovým hrotem přejíždět napříč letokruhy jarního a letního dřeva, které se náhle objevily po několikanásobném úběru 1 mm materiálu, a tím mohly zkreslit výsledné hodnoty drsnosti R_a . Problematiku borovice jádro – běl se eliminovala, protože pro měření byla vždy vybrána strana běle.

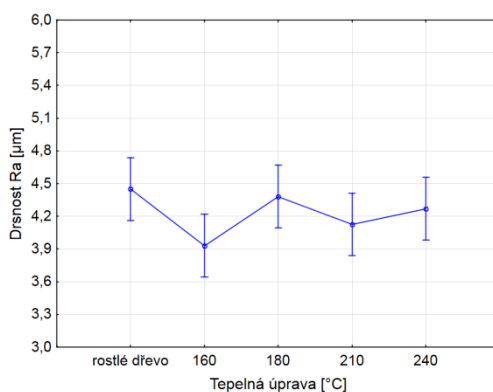
Zhodnocení výsledků drsnosti povrchu

Hlavním cílem ověřovacích experimentů bylo zjistit, který z technologických, nástrojových faktorů nebo faktorů změny termické úpravy materiálu má největší vliv na drsnost povrchu termicky upraveného borovicového dřeva. Zjištěné hodnoty byly zpracovány v programu MS Excel a dále byly převedeny do programu Statistica 10, kde v programu se z naměřených hodnot vygenerovaly více faktorovou analýzu rozptylu, grafy závislosti jsou uvedené v tabulce č.3 a grafech na obr. 8 až 11. Nejvíce ovlivňujícím faktorem je jednoznačně termická úprava materiálu, těsně za ním je úhlová geometrie a řezná rychlost. Faktor rychlosti posuvu má výrazně menší význam než tři předešlé faktory.

Tab. 3 Pořadí vlivů faktorů na drsnost povrchu vzorků dřeva borovice lesní

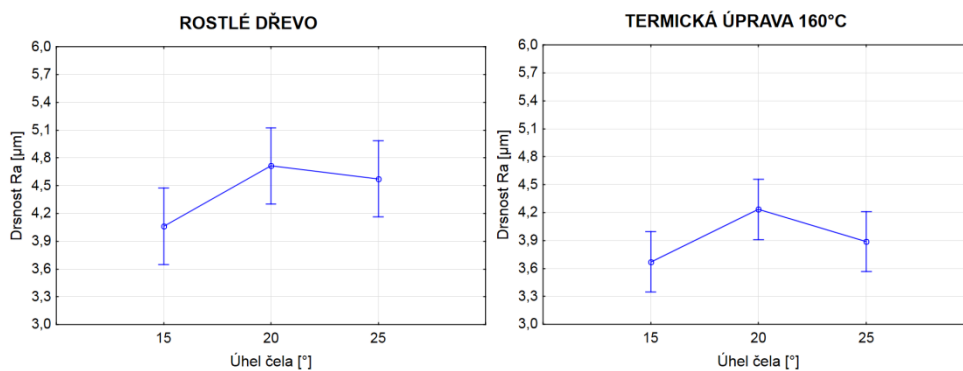
Vlivy na drsnost povrchu	Hladina významnosti p
1. Termická úprava materiálu	0,09119
2. Úhel čela	0,11948
3. Řezná rychlost	0,17782
4. Rychlost posuvu	0,31833

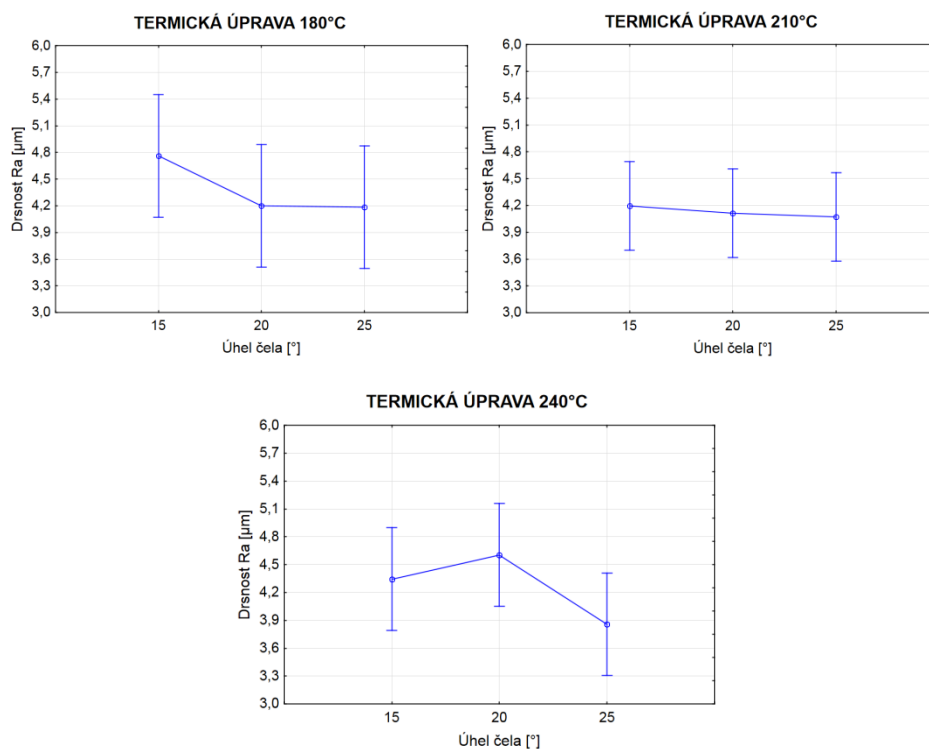
Vliv termické úpravy – nejvýraznější změna drsnosti závislá na materiálu (termické úpravě) se nejvíce projevuje u vzorků při termické úpravě 160°C, kde je rozdíl okolo 11° v porovnání s rostlým materiálem. Podobná změna drsnosti nastala i u termické úpravy 210°C. Naopak téměř identické hodnoty drsnosti u rostlého materiálu vykazuje termická úprava 180°C. Změnou termické modifikace dřeva se drsnost povrchu materiálu snižuje.



Obr. 8 Analýza drsnosti závislosti na tepelné úpravě materiálu

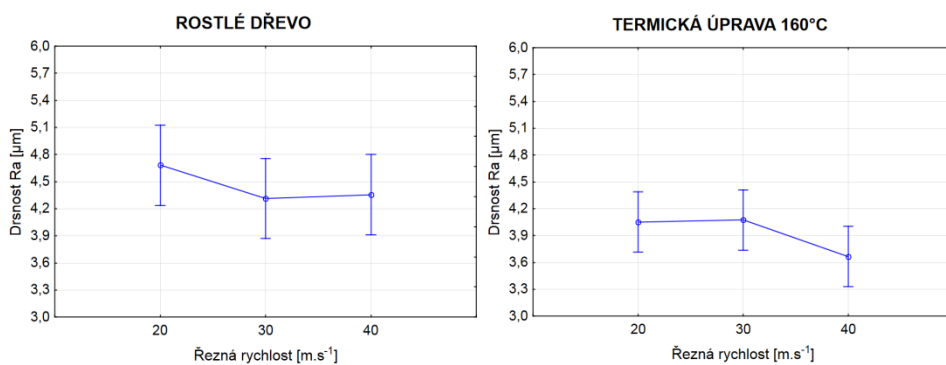
Vliv úhlové geometrie – druhým nejvýznamnějším faktorem je změna úhlu čela. Při změně úhlu čela z 15° na 20° se hodnoty R_a výrazně zvýšily u vzorků rostlého dřeva, termicky upraveného na 160°C a na 240°C v rozsahu 7-16 %. U zbylých dvou termických úprav se hodnoty drsnosti nepatrně snížily. Při změně úhlu čela z 20° na 25° se drsnost povrchu v všech vzorků snížila, nejvíce tato změna byla zaznamenána u vzorků termicky upraveného dřeva při 160°C – o 7,5 % a vzorků 240°C – o 16,5 %.

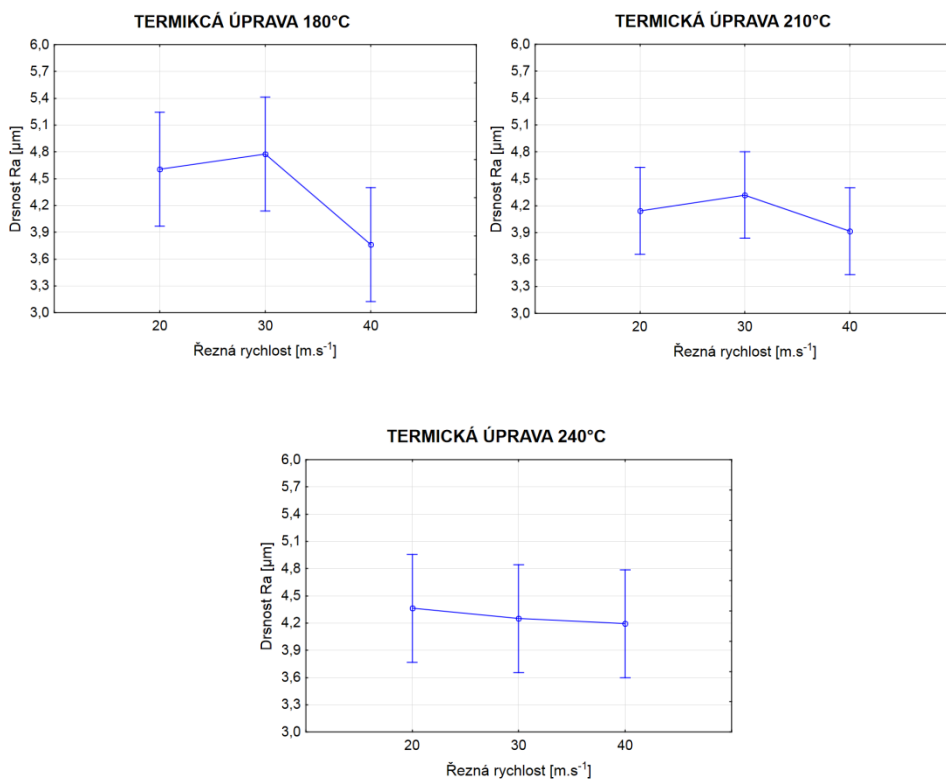




Obr. 9 Analýza rozptylu závislost drsnosti povrchu na úhlu čela

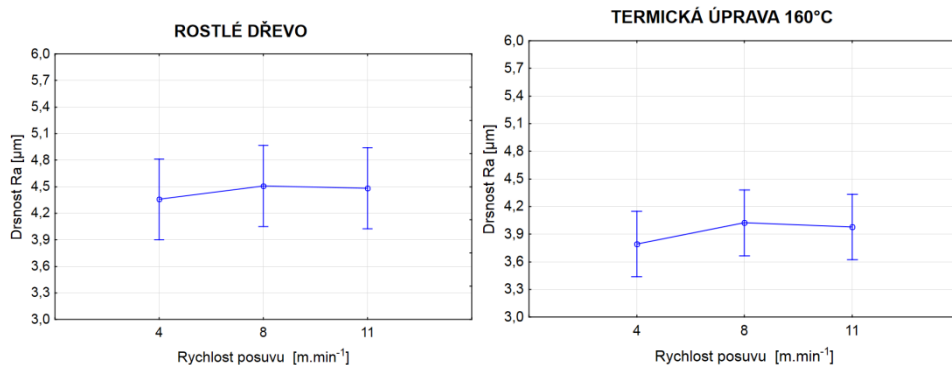
Vliv řezné rychlosti – Z analýzy naměřených hodnot lze usoudit, že dochází k velkému rozdílu mezi hodnotami dřeva a termicky upraveného dřeva. U rostlého dřeva během zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ dochází ke snižování drsnosti okolo 8% a během nárůstu řezné rychlosti z 30 na 40 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ se drsnost povrchu mírně zvyšuje. U vzorků termodřeva je tomu přesně naopak, kdy při zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ dochází k mírnému vzrůstu hodnot drsnosti R_a a při dalším zvýšení řezné rychlosti dojde k výraznému snížení hodnot drsnosti v rozpětí 10 až 20 % zejména u termické úpravy 180°C.

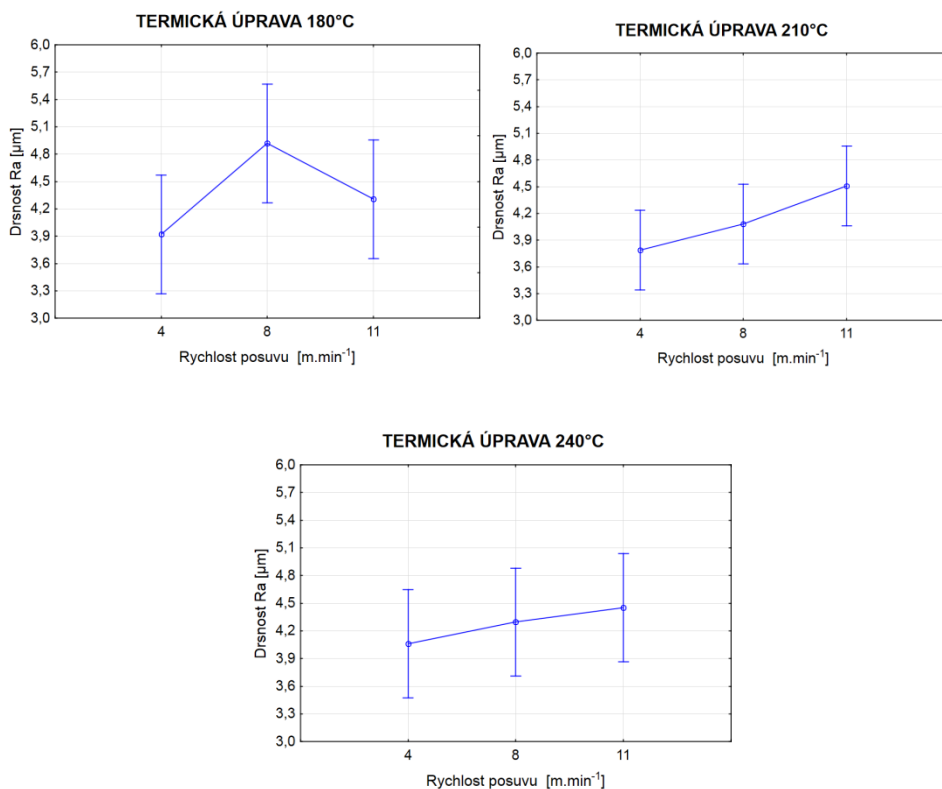




Obr. 10 Analýza rozptylu závislosti drsnosti povrchu řezné rychlosti

Vliv posuvné rychlosti – Je posledním faktorem v pořadí ovlivňujícím drsnost opracování termicky modifikovaného borovicového dřeva. Drsnost povrchu se zvyšuje při přechodu z rychlosti posuvu z 4 m.min⁻¹ na 8 m.min⁻¹ u každého vzorku. Při dalším nárůstu posuvné rychlosti se drsnost zvyšuje pouze u variant vzorků s teplotou 210°C a 240°C, u zbylých drsnost stagnuje nebo se mírně snižuje.





Obr. 11 Analýza rozptylu závislosti drsnosti povrchu na rychlosti posuvu

Porovnání výsledků s jinými pracemi

Ověřovací experimenty a jejich výsledky uveřejněné v tomto příspěvku byly zaměřené na zkoumání závislého parametru drsnosti t.j. opracování povrchu při rovinném frézování rostlého a termicky modifikovaného dřeva borovice lesní od nezávislých technologických a také nástrojových parametrů. S ohledem na výzkum sledování drsnosti povrchu termicky upraveného dřeva uvedené dřeviny v současnosti zatím nejsou publikované žádné práce s přímými poznatky, které by se mohly porovnat s výše uvedenými. Například (Barcík et al. 2004, 2009 a Pivolusková 2008), kde se ve svých pracích zabývali posouzením kvality opracování juvenilního dřeva, jako také (Rousek et al 2012). Obdobně je to s pracemi autorů (Baysal et al., 2014, Sogutlu 2010, Gündüz et al.2088 a Santos et al. 2012), kteří ve svých pracích řešili také kvalitu povrchu různých rodů borovice po termické úpravě avšak ne přímo po mechanickém opracování např. frézováním. V kontextu s uvedenými výsledky však ve všeobecnosti je odůvodněné konstatovat, že pro pochopení nastolené problematiky můžeme vycházet z poznatků a zákonitostí těchto prací.

ZÁVĚR

V předloženém příspěvku jsou prezentovány výsledky **ověřovacích**, experimentálních měření, kde hlavním cílem bylo zjištění vlivu vybraných parametrů na kvalitu obrobeného povrchu při rovinném frézování termicky upravené borovice lesní. V rámci kvality obrobeného povrchu po frézování byl posuzován závislý parametr – střední aritmetická odchylka profilu Ra. Sledovaný byl vliv nezávislých technologických parametrů ovlivňujících drsnost povrchu a to: technologie výroby termodřeva (teplota), řezná rychlost, posuvná rychlost a úhel čela nástroje.

Ze závěrů je možno jednoznačně definovat, že kvalita obrobeného povrchu závisí od sledovaných faktorů a to podle pořadí významnosti: 1. Termická úprava ($T^{\circ}\text{C}$), 2. Úhel čela (γ), 3. Řezná rychlost (v_c) a 4. Rychlost posuvu (v_f).

Celkově je potřebné zdůraznit, že termicky modifikované dřevo, jako předmět obrábění je značně nehomogenní a obráběný (frézovaný) povrch je závislý nejen od způsobu obrábění, ale výrazně také od jeho anatomické stavby. Závěrem je nutné konstatovat, že problematice obrábění termowoodu je doposud věnovaná malá pozornost a proto doufáme, že výsledky ověřovacích experimentů pomůžou jak dřevařské praxi jako také dalším výzkumům, kteří budou v tomto směru pokračovat.

LITERATURA

- [1] **Barcik, Š., Homola, T.:** 2004. Vplyv vybraných parametrov na kvalitu obrobeného povrchu pri rovinnom frézovaní juvenilného borovicového dreva. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2004. Zborník prednášok IV. MVK. Starý Smokovec – Tatry, p.p. 31-36, ISBN 80-228-1385-0.
- [2] **Rousek, M., Kopecký, Z., Novák, V., Kowalski, M.:** 2012. Hodnocení kvality povrchu dřeva po frézování. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2012. Zborník prednášok VIII MVK. Zvolen, p.p. 297-304, ISBN 978-80-228-2385-2.
- [3] **Dzurenda, L. a kol.:** 2008. Vplyv techniky na kvalitu deleného a obráběného dreva, Zvolen, TU vo Zvolene, 140s., ISBN 978-80-228-1923-7.
- [4] **Pivolusková, E.:** 2008. Vplyv vybraných technicko-technologických faktorov na tvorbu triesky a kvalitu opracovania povrchu pri rovinnom frézovaní juvenilného topoľového dreva. Doktorská práca, Zvolen, TU ve Zvolenu, 128s.
- [5] **Barcık, Š., Pivolusková, E., Wieloch, G., Kminiak, R.:** 2009. The influence of cutting speed and feed speed on surface at plane milling of poplar wood. In: Wood Research, 54/2, pp. 109-115. ISBN 1336 - 4561
- [6] **Houska, A.:** 2013. Vliv technologických a nástrojových faktorů na kvalitu opracování povrchu při frézování termicky upraveného dřeva. Diplomová práce, Praha, 97s.
- [7] **Cristiane M.T. dos Santos., Cláudio H.S. Del Menezzi., Mário R. de Souza.:** 2012. Properties of Thermo – mechanically treated Wood From Pinus Caribaea Var. Houdurensis. In: BioResources 7/2, pp. 1850 – 1865, ISSN 1930 – 2126
- [8] **Gündüz, G., Korkut, S., Korkut, D., S.:** 2008. The effects of heat treatment on physical technological properties and surface roughness of Camiyami Black Pine Wood. In: Bioresource Technolog 99, pp. 2275-2280, ISSN 0960-8524
- [9] **Sogutlu, C.:** 2010. The effect of the feeding direction and feeding speed of planing on the surface roughness of oriental beech and scotch pine woods. In: Wood Research 55/4, pp. 67-78, ISSN 1336-4561.

- [10] **Baysal, E., Degirmentepe, S., Toker, H.:** 2014. Some mechanical and physical properties of AD-KD 5 Impregnated and thermally modified scots pine Wood. In: Wood Research 59/2, pp. 283-296, ISSN 1336-4561.
- [11] **ČSN EN ISO 4288.** Geometrické požadavky na výrobky (GPS). Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1998.