

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva



**Vliv technologických a nástrojových faktorů na
kvalitu opracování povrchu při frézování termicky
upraveného dřeva**

Diplomová práce

Autor: Aleš Houska

Vedoucí práce: doc. Ing. Štefan Barcík, Csc.

2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra základního zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Houska Aleš

Dřevařské inženýrství

Název práce

Vliv technologických a nástrojových faktorů na kvalitu opracování povrchu při frézování termicky modifikovaného dřeva

Anglický název

Influence of technological and tool factors on quality of machining surface using milling technology of pine thermowood

Cíle práce

Cílem práce je experimentální sledování vlivu řezné a posuvné rychlosti jako také úhlových nástrojových parametrů na kvalitu obráběné plochy při rovinném frézování na různých stupních termicky modifikovaného borovicového dřeva.

Metodika

- 1/ Úvod
- 2/ Cíle práce
- 3/ Teoretická analýza současného stavu problematiky (rovinné frézování, termicky modifikované dřevo, kvalita - nerovinnost obráběné plochy)
- 4/ Metodika práce
- 5/ Experimentální část a sledování
- 6/ Výsledky a diskuse
- 7/ Přínos pro praxi a vědu

Harmonogram zpracování

Datum zadání práce : květen 2012

Datum odevzdání práce : duben 2013

Rozsah textové části

Rozsah textové části : 45 - 55 stran

Klíčová slova

řezná rychlost, posuvná rychlost, frézování, thermowood, nerovinnost, drsnost

Doporučené zdroje informací

1. Lisičan, J.: Teória a technika spracovania dreva, Zvolen, Matcentrum, 1996, 625 s., ISBN 80-967315-6-4
2. Prokeš, S.: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva, 3. vyd., Praha - SNTL, 1982, 584 s.
3. Beňo, J.: Teória rezania kovov, Vienaľa, Košice, 1999, ISBN 80-70099-429-0
4. Ľubčenko, V.I.: Rezanie drevesiny i drevesnych materiálov, Lesnaja promyšlennosť, Moskva, 1986
5. Káčiková, D., Kačík, F. (2011): Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave, ES, TU Zvolen, s. 71
6. Reinprecht, L., Vodholdová, Z.: Termodrevo - Priprava, vlastnosti a aplikace, TU Zvolen 2008
7. Odborné články k dané problematice

Vedoucí práce

Barcík Štefan, doc. Ing., CSc.

Termín odevzdání

duben 2013



doc. Ing. Štefan Barcík, CSc.
Vedoucí katedry



prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.
Děkan fakulty

V Praze dne 18.3.2013

"Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv technologických a nástrojových faktorů na kvalitu opracování povrchu při frézování termicky upraveného dřeva vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Štefana Barčíka, Csc a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Praze dne 15. 4. 2013



Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi s prací pomáhali, mému vedoucímu doc. Ing Štefanu Barčíkovi, Csc., jenž mě usměrňoval a u kterého jsem měl vždy dveře otevřené, a také děkuji za spolupráci Martinu Bohmovi. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat docentovi Yevgeni Razumovovi za poskytnutí a průběh tepelné úpravy dřeva potřebné pro tuto práci. Děkuji i svým rodičům, že mě během studia podporují, a proto se je snažím nezklamat.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vlivů na kvalitu opracování při frézování tepelně upraveného dřeva a jeho popisu barevného spektrálního složení. Práce obsahuje podrobný teoretický rozbor problematiky, který se věnuje popisu tepelně upraveného dřeva, frézování, drsnosti povrchu dřeva, a také koloristice. První experimentální část práce je zaměřená na měření spektrálního složení barev vzorků tepelně upraveného dřeva. Druhá experimentální část se zaměřuje na hodnocení nástrojových vlivů (úhlová geometrie), materiálu (rostlý materiál, termická úprava 160°C, 180°C, 210°C, 240°C), tak i technologických faktorů (řezná rychlost, rychlost posuvu) na ukazatele kvality opracování povrchu (střední aritmetická odchylka drsnosti povrchu R_a). Další kapitola popisuje metodiku práce obsahující informace o přípravě vzorků pro měření, a také tepelné úpravě vzorků. Těžištěm práce je kapitola prezentující výsledky a zhodnocení naměřených hodnot a k nim vyvozené závěry. Hlavním cílem této práce je najít, který z technologických nebo nástrojových faktorů má největší vliv na kvalitu povrchu tepelně upraveného dřeva při rovinném frézování. Druhým cílem práce bylo popsat spektrální složení vzorků dřeva pomocí veličin naměřených na spektrofotometru. Poslední částí jsou přínos pro praxi a vědu a závěr.

Klíčová slova:

Thermowood, kvalita opracování, frézování, koloristika.

Abstract:

This master's thesis describes issues influence of factors on quality of machining surface using milling technology of thermowood and describes colour's texture of wood. Master's thesis includes detailed teoretical analysis revers description of thermowood, milling, roughness of wood surface and colours. First experimental part focus on measurement spectral colour's composition of samples thermowood. Second experimental part focus on evaluation tool factors (angular geometry), material (thermal wood adjustment 160°C, 180°C, 210°C, 240°C) and technological factors (cutting speed, moving speed) on quality machining surface (middle arithmetical difference of roughness surface R_a). Next chapter describes methodology of this work contains informations about preparation samples for measurement and thermal wood adjustment. The most important chapter presents results and evaluation measured figures and conclusions. The main goal is find which one from technological and tool factors have the biggest influence on quality of machining surface using milling technology of thermowood. Second goal is about description colour's texture of wood using measured quantities with spectrofotometer. Last part is summary and contribution for praxis and science.

Keywords:

Thermowood, quality of surface, milling, colour's science.

Obsah

Úvod.....	11
Zdůvodnění výběru práce.....	11
Cíle práce.....	11
1. Tepelně upravené dřevo (Thermowood).....	12
1.1 Podstata termické modifikace tepelně upraveného dřeva.....	12
1.2 Použití tepelně upraveného dřeva.....	12
1.3 Proces výroby tepelně upraveného dřeva.....	13
1.4 Termická analýza.....	14
1.5 Změny ve struktuře dřeva a chemické reakce.....	15
1.5.1 Úbytek hmotnosti.....	16
1.5.2 Trhliny.....	16
1.6 Fyzikální vlastnosti tepelně upraveného dřeva.....	16
1.6.1 Hygroskopicitá.....	16
1.6.2 Rozměrová stabilita.....	17
1.6.3 Rovnovážná vlhkost.....	18
1.6.4 Hustota.....	18
1.6.5 Barva.....	19
1.7 Mechanické vlastnosti.....	20
1.7.1 Rázová houževnatost, pevnost a tvrdost.....	20
1.7.2 Rázová houževnatost dřeva.....	21
1.7.3 Ohybová pevnost.....	21
1.7.4 Tvrdost dřeva.....	22
1.8 Technické vlastnosti - práce s termodřevem.....	22
1.8.1 Obrábění (obecná rovina).....	22
1.8.2. Pílení.....	22
1.8.3. Frézování.....	23
2. Frézování.....	23
2.1 Teoretický rozbor procesu frézování.....	23
2.2 Plochy obrobku.....	26
2.3 Kinematika frézování.....	27
3. Drsnost povrchu.....	28
3.1 Nerovnost povrchu dřeva.....	34

3.2	Kvalita frézovaného povrchu.....	34
3.3	Vliv různých činitelů na kvalitu frézovaného povrchu	37
3.4	Vliv faktorů na drsnost povrchu.....	38
4.	Koloristika.....	39
4.1	Úvod.....	39
4.2	Vnímání barvy a barevný prostor.....	40
5.	Metodika práce.....	44
5.1	Metodika práce přípravy vzorků.....	44
5.1	Výběr a příprava vzorků.....	44
5.1.2	Tepelné ošetření materiálu.....	44
5.1.3	Stanovení hustoty.....	45
5.1.4	Měření hustoty.....	46
5.2	Metodika měření spektrálního složení barev.....	46
5.2.1	Popis přístroje.....	46
5.2.2	Příprava před měřením.....	47
5.2.3	Postup experimentálního měření.....	47
5.3	Metodika měření frézování.....	49
5.3.1	Popis strojního zařízení pro rovinné frézování.....	49
5.3.2	Popis frézy.....	50
5.3.3	Parametry (faktory) ovlivňující řezné podmínky.....	52
5.3.4	Popis vlastního frézování.....	52
5.4	Metodika měření drsnosti.....	53
5.4.1	Popis přístroje pro měření drsnosti povrchu.....	53
5.4.2	Postup měření drsnosti povrchu podle ČSN ISO 4288.....	54
5.4.3	Příprava před měřením.....	55
5.4.4	Nastavení veličin před měřením.....	56
5.4.5	Postup experimentálního měření.....	56
6.	Interpretace výsledků.....	59
6.1	Výsledky měření koloristiky.....	59
6.2	Výsledky měření drsnosti.....	61
6.2.1	Vliv tepelné úpravy na drsnost povrchu.....	61
6.2.2	Vliv rychlosti posuvu na drsnost povrchu.....	63
6.2.3	Vliv řezné rychlosti na drsnost povrchu.....	70

6.2.4 Vliv úhlu čela na drsnost povrchu.....	76
7. Zhodnocení výsledků.....	86
7.1 Zhodnocení výsledků koloristiky.....	86
7.2 Faktory ovlivňující výsledné hodnoty drsnosti.....	86
7.3 Zhodnocení výsledků drsnosti povrchu.....	86
8. Porovnání výsledků s jinými pracemi.....	88
9. Přínos pro vědu a praxi.....	89
10. Závěr.....	90

Úvod

Zdůvodnění výběru práce

Tuto práci jsem si vybral, protože bych rád popsal vliv technologických a nástrojových faktorů na kvalitu opracování tepelně upraveného dřeva při rovinném frézování. V dnešní době se tepelně upravené dřevo (thermowood) stále více prosazuje na trhu a roste jeho obliba díky svým specifickým vlastnostem. Struktura povrchu nejen thermowoodu má důležitý vliv na vlastnosti dřevěných výrobků. Stejně významnou roli má kvalita povrchu, která je rozhodující pro další operace a estetiku výrobku. Chtěl jsem také získat základní představu o tom, jaké hodnoty barevných souřadnic L , a , b jsou typické pro rostlé a termicky upravené dřevo.

Cíle práce

Cílem této práce bylo:

1. Popsat a sumarizovat informace o tepelně upraveném dřevě, rovinném frézování, jakosti opracování a koloristice.
2. Pomocí výzkumu bylo hlavním cílem této práce najít, který z technologických faktorů (řezná rychlost, rychlost posuvu), materiálu (termická úprava) nebo nástrojových faktorů (úhlová geometrie) má největší vliv na drsnost povrchu vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*) při rovinném frézování.
3. Popsat spektrální složení vzorků termicky upraveného dřeva pomocí veličin naměřených na spektrofotometru.

1. Tepelně upravené dřevo (Thermowood)

1.1 Podstata termické modifikace tepelně upraveného dřeva

Samostatnou skupinou technologických operací s dřevní hmotou jsou modifikace rostlého dřeva při teplotách 150 až 260°C – výroba termodřeva, kdy se záměrně upravuje jeho chemická struktura. Dřevo se přitom stává hydrofóbnější a současně i odolnější vůči biologickým škůdcům.

Hlavním záměrem termických modifikací rostlého dřeva na výrobu „Termodřeva“ je připravit takový materiál, který by vyváženě splnil tato kritéria:

- snížená hygroskopicita
- zvýšená rozměrová stabilita
- zvýšená odolnost proti dřevokazným houbám, plísním
- zvýšená odolnost proti dřevokaznému hmyzu
- zachování nebo zlepšení estetické stránky - barva, textura, minimální podíl trhlín (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.2 Použití tepelně upraveného dřeva

Termodřevo se v současné době vyrábí ve dvou variantách – buď pro použití v exteriéru (Thermo-D), kde je požadována vysoká odolnost a stabilita nebo pro použití v interiéru (Thermo-S), kde je důležitý vzhled a stabilita materiálu. Z termodřeva se vyrábí standardní sortiment drážkových podlahových desek. Tento materiál je výborným řešením na doplnění vzhledu k příjemnému prostředí v zahradě nebo na terase a je vhodný i na obklady budov. Vysoká úroveň odolnosti a rozměrová stabilita zaručuje, že v tomto materiálu probíhají jen minimální rozměrové změny po připevnění na nosnou konstrukci, což zaručuje jeho delší životnost. V interiérech lze termodřevo použít na parkety, obklady, vnitřní panely, kuchyňský nábytek. Termodřevo má redukovanou tepelnou vodivost, a proto se méně zahřívá při vzrůstu teploty a je vhodné jako přírodní materiál do sauny. V exteriérech se může použít na okna, dveře, konstrukce, sruby, garáže, protihlukové bariéry, dětská hřiště, ploty. (Kačíková, Kačík, 2011)



Obr. 1 Obložení domu
(www.buildingdiy.com)



Obr. 2 Venkovní terasa
(www.buildingdiy.com)

1.3 Proces výroby tepelně upraveného dřeva

Při procesu výroby se používá vlhká atmosféra při teplotách vyšších než 150 °C po dobu 2 až 10 hodin, přičemž se dosáhne víc než 3% ztráty hmotnosti. Úprava se vykonává plynem nebo parou s obsahem kyslíku 3-5 % bez zvýšeného tlaku a s rychlostí proudění plynného média nejméně 10 m.s⁻¹. Proces začíná rychlým vzrůstem teploty na 100 °C, potom následuje postupné zvyšování na hodnotu 130 °C, kterým se dosáhne téměř nulové vlhkosti (Fáze 1). Potom se termické působení vykonává při teplotách mezi 185 °C a 230 °C po dobu 2-3 hodin nebo 150 °C až 240 °C po dobu 0,5 až 4 hodin (Fáze 2). V závěrečné fázi teplota poklesne na 80 až 90 °C (Fáze 3).

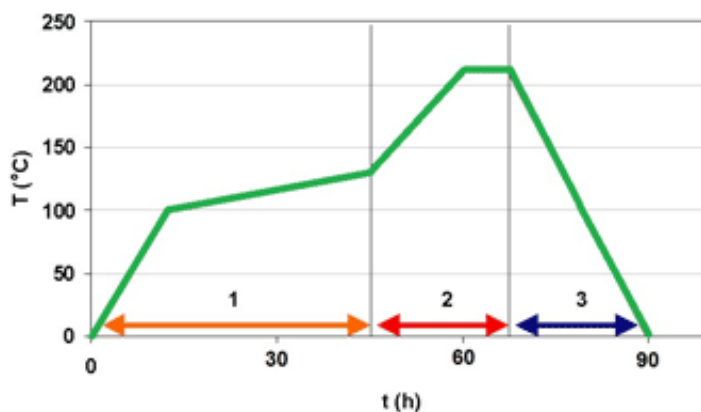
Celý proces zpracování dřeva na termodřevo (Thermowood), od sušení až po konečné zvlhčení tvoří jeden souvislý řetězec událostí. Výrobní proces zahrnuje šest kroků, kterými dřevo prochází. V prvních třech krocích se řezivo suší a připravuje pro vlastní fázi tepelného zpracování, které se uskutečňuje v následujícím kroku. Poslední dva kroky slouží na chlazení, zvlhčování, provzdušňování a konečnou normalizaci upravovaného dřeva. Normalizace potom pokračuje v teplých zastřešených prostorech po dobu 24 až 48 hodin pro vykonání dodatečných úprav. Mimo chemických změn, ke kterým dochází v průběhu zpracování se výrazně snižuje

schopnost rozměrových změn při změnách vlhkosti. Tím se zásadně zlepšuje rozměrová stálost dřeva po tepelném zpracování. V důsledku rozkladu hemicelulóz už dřevo neobsahuje dostatečné množství výživných látek pro podporu růstu hub způsobujících hnilobu. Schopnost tepelně upraveného dřeva absorbovat vodu je výrazně omezená a zvyšuje se odolnost vůči hnilobě bez použití škodlivých přísad. V průběhu zpracování získá dřevo rovnoměrně hnědé zabarvení. Intenzitu zabarvení je možné ovlivňovat aplikací různých teplot zpracování. Tmavnutí různých druhů dřeva je způsobené jejich přirozenými vlastnostmi. Termická úprava se může i záměrně používat na barvení dřeva. (Kačík, Kačíková , 2011)

Fáze 1: Zvýšení teploty a sušení

Fáze 2. Tepelná úprava

Fáze 3. Chlazení a úprava vlhkosti



Graf 1 Graf procesu výroby thermowoodu (www.lunawood.fi/cz/)

1.4. Termická analýza

Ze značného počtu experimentálních výsledků je zřejmé, že termicky nejlabilnějším komponentem dřev jsou hemicelulózy a naopak nejstabilnějším je lignin. (Reinprecht, 1996)

Nahříváním dřeva dochází k nárůstu mechanického pohybu jeho základních částic (tepelný pohyb), přičemž dochází k významným fyzikálním změnám v materiálu. Mírou tepelného pohybu je teplota. Nárůstem teploty v teplotním intervalu do 200°C se energetické hladiny atomů a molekul zvýší dostatečně na to, aby se vnitřní struktura molekul a atomů do určité míry modifikovala. Nárůst teploty

v této oblasti má za následek buď přechodné změny vlastností dřeva, což je zapříčiněné přechodnou změnou, nebo zanechává trvalé účinky, což je způsobené permanentní strukturální reorganizací. (Kúdela, 2005)

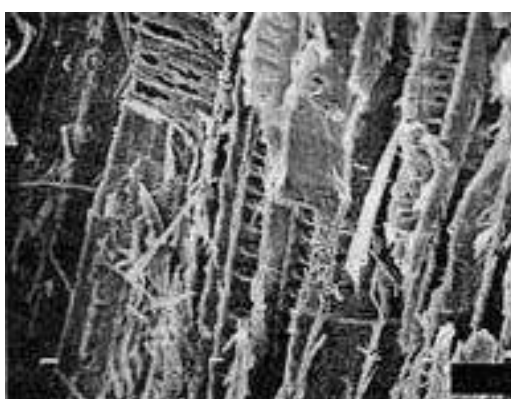
Výsledky z uskutečněných výzkumů ukázaly, že hlavním důvodem ztráty mechanických vlastností a změny fyzikálních vlastností dřeva po dobu termické úpravy je hydrolyza hemicelulóz. (Källander, Bengtsson, 2004)

Degradační mechanismus různých složek dřeva je také ovlivněný přítomností jiných složek. Právě to způsobuje, že hemicelulózy ve dřevě se degradují jiným způsobem než čisté hemicelulózy. Na degradační mechanismus mají vliv také faktory jako je velikost vzorků a teplotní prostředí. (Fengel, Wegener, 1983)

1.5 Změny ve struktuře dřeva a chemické reakce

Změny, které vznikají ve dřevě působením zvýšené teploty závisí na více faktorech (druh dřeviny, teplota, způsob ohřevu, doba působení, prostředí – vzduch, inertní plyn, vakuum, vlhkost apod.). Mění se mechanické i fyzikální vlastnosti, které úzce souvisí (a ve většině případů jsou nimi podmíněné) s chemickými změnami. (Kačíková, Kačík 2011)

Následující obrázky ukazují rozdílnou strukturu dřeva mezi tepelně upravenou a neupravenou borovicí.



Obr. 3 Tepelně neupravená borovice
(ThermoWood Handbook, 2003).



Obr. 4 Tepelně upravená borovice
(ThermoWood Handbook, 2003).

Tepelná úprava mění několik z chemických a fyzikálních vlastností. Změny vlastností jsou dány hlavně degradací hemicelulóz. Požadované změny se začínají

objevovat už okolo 150 °C a pokračují s dalším nárůstem teploty. Výsledkem je bobtnání a sesychání díky snižování vlhkosti, biologická odolnost se zvyšuje, barva se mění do tmavých odstínů, extraktní látky tečou ze dřeva ven, dřevo se stává lehčí, rovnovážná vlhkost klesá, pH klesá, a také se zlepšují tepelně izolační vlastnosti. Dále se mění tvrdost a pevnostní vlastnosti. (ThermoWood Handbook, 2003)

1.5.1 Úbytek hmotnosti

Úbytek hmotnosti dřeva při jeho termické úpravě je jednou z nejdůležitějších charakteristik a běžně se používá na vyjádření kvality. Úbytek závisí na druhu dřeviny, prostředí, teploty a času ohřevu. U smrkového dřeva byl úbytek hmotnosti (Alén et al. 2002) při teplotách 180°C až 225°C v rozsahu 1,5 % při 180°C (4h) a 12,5 % při 225°C. Zároveň byla zjištěna korelace mezi úbytkem hmotnosti a úbytkem sacharidů. (Kačíková, Kačík 2011)

1.5.2 Trhliny

Buňkové stěny dřeva s nepolymerizovanými polysacharidy a s oslabenou ligninosacharidickou maticí jsou křehčí a z tohoto důvodu se v nich častěji tvoří nanotrhliny, mikrotrhliny i volným okem viditelné mikrotrhliny. Trhliny různých velikostí se poměrně často tvoří v dvojtečkách i jiných typech ztenčenin, čímž se narušují a propustnost pro tekutiny narůstá. Ve spojení s tvorbou trhlinek ve střední lamelle se buňky vzájemně izolují. (Reinprecht, Vidholdová 2008)

1.6 Fyzikální vlastnosti tepelně upraveného dřeva

1.6.1 Hygroskopicita

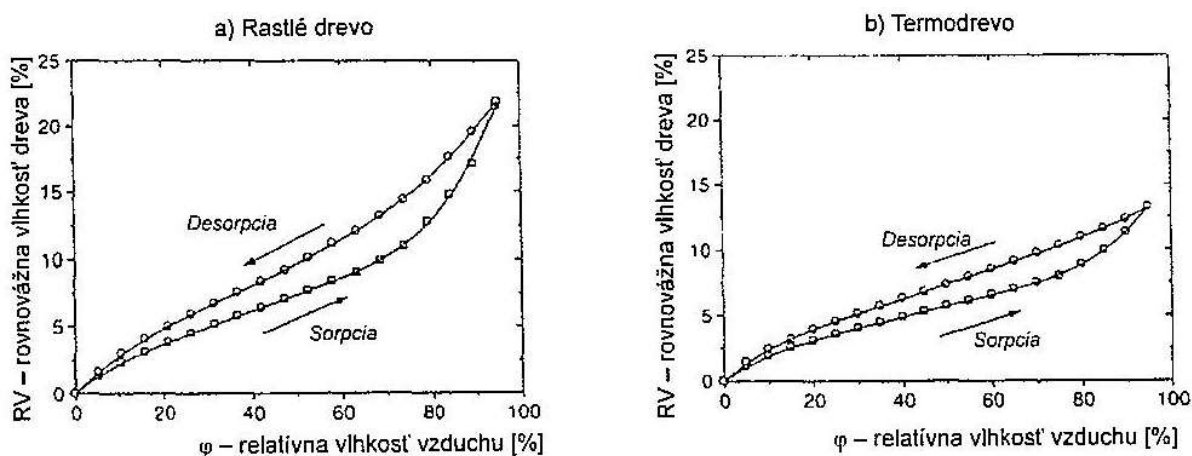
Tepelným působením se hygroskopicita sníží. Je to jedna z důležitých vlastností dřeva ovlivňující i jiné jevy. Nejvíce ovlivněna je rozměrová stabilita a odolnost proti biotickým škůdcům. Hygroskopicitu můžeme definovat jako schopnost přijímání a odevzdávání vody do okolního prostředí (vzduch), když máme konstantní (definovanou) rovnovážnou vlhkost a teplotu vzduchu. Termodřevo má nižší hygroskopicitu dřeva než rostlé dřevo.

Pokles hygroskopicity se zdůvodňuje těmito jevy:

- snížením počtu hemicelulóz
- snížením -OH skupin
- vysoká míra migrace lipidních a hydrofobních látek

Podíl hydroxylových skupin ve dřevě se při vyšších teplotách snižuje v důsledku kondenzačních reakcí nepolymerizovaných ligninů a hemicelulóz. Nárůst hydrofóbnosti vnějších povrchů vzorků dřeva ohřivaných teplotami 60 až 200°C po dobu 1 hodiny stanovili Podgorski a kol. (2000), a to nepřímo na základě zvětšených kontaktních úhlů s vodou od 65° (rostlé dřevo) až 145° (dřevo upravené při 200°C). Zvýšenou hydrofóbnost povrchu dřeva zdůvodnili jednak migrací tukových látek k povrchu, respektive při vyšších teplotách už i chemickými změnami ve dřevě ve spojení s poklesem počtu -OH skupin.

Sorpčně - desorpční hysterezní křivky termicky modifikovaného dřeva jsou plošší ve shodě dosáhnutím i nižší maximální hodnoty bodu nasycení vláken BNV. Hodnota BNV se snižuje obvykle o 30 až 70%. (Reinprecht, Vidholdová, 2008)



Obr. 5 Sorpčně - desorpční hysterezní křivky a) rostlého dřeva, b) termodřeva v prostředí dusíku při teplotě 250 °C po dobu 2 hodin. (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.6.2 Rozměrová stabilita

Pokles rovnovážné vlhkosti dřeva při termickém působení vede ke zlepšení jeho rozměrové stability. Při optimálním tlaku a teplotě se zlepšila deformace při nabobtnání ve smrkovém dřevě o 52 %. Podle výsledků Giebelera (1983) pokleslo nabobtnání mezi 50 až 80 % ve smrkovém dřevě po termické úpravě při teplotách mezi 180°C až 200°C v inertní atmosféře. Zlepšení rozměrové stability závisí od druhu dřeviny a od

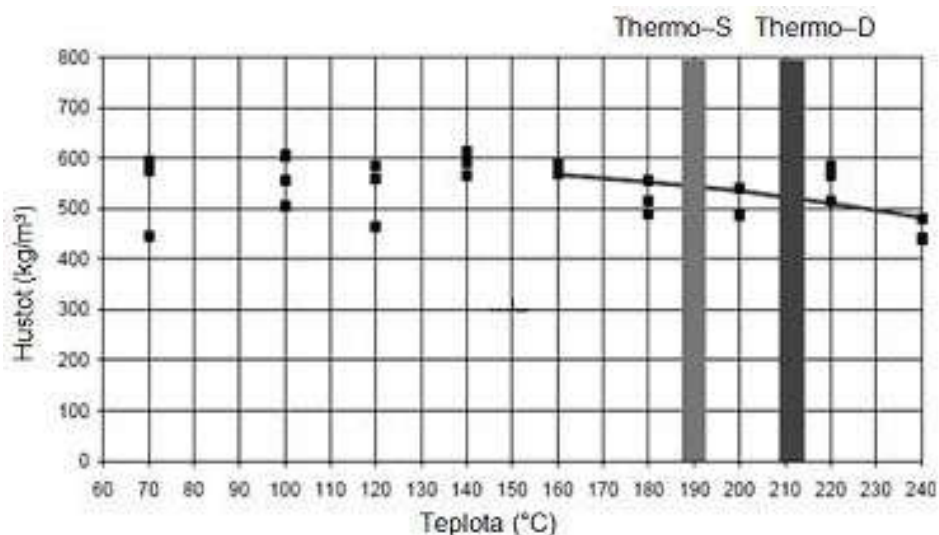
anatomického směru. Vzdělání rozměrové stability v termicky upraveném dřevě je způsobený také poklesem hygroskopie v důsledku chemických změn při zvýšené teplotě. Dalším důvodem zlepšení rozměrové stability může být ztráta metylových radikálů některých quajacylových a syringylových jednotek ligninu, která vede k vzdělání fenolických skupin a ke zvýšení strukturních jednotek s volnými orto polohami. Tyto chemické změny zvyšují reaktivitu ligninu a jeho větší zesíťování zvyšuje rozměrovou stabilitu. Zvýšením zesíťování se molekuly stávají méně elastické a mikrofibrily celulózy mají menší možnost expandovat a absorbovat vodu, což vysvětluje pokles rovnovážné vlhkosti a zvýšení rozměrové stability. (Kačíková, Kačík 2011)

1.6.3 Rovnovážná vlhkost

Hlavním efektem tepelného působení na dřevo je pokles jeho rovnovážné vlhkosti a následný pokles bobtnání a sesychání. Podobně jako je to při úbytku hmotnosti, tak i při rovnovážné vlhkosti závisí velikost účinku od druhu dřeviny, teploty, času a typu působení. (Kačíková, Kačík 2011)

1.6.4 Hustota

Hustota je stanovena měřením hmotnosti a rozměrů materiálu (vzorku). Tepelně upravené dřevo má nižší hustotu, než neupravené dřevo. Důvodem jsou změny materiálu během tepelné úpravy, kdy dřevo ztrácí hmotnost. Hodnoty umístěné v grafu ukazují, že hustota klesá s rostoucí teplotou. (ThermoWood Handbook, 2003)



Obr. 6 Změna hustoty termicky upraveného borovicového dřeva při teplotách od 160°C do 240°C po dobu 3 hodin. Průměrná hustota je 560 kg / m³ (ThermoWood Handbook 2003)

1.6.5. Barva

Typickým znakem termické úpravy dřeva je změna jeho barvy. Tato barevná změna se často považuje za chybu, a proto je důležité zjišťování barvy dřeva, jeho barevných změn a příčin vzniku těchto změn je důležité věnovat dostatečnou pozornost. Stupeň zbarvení řeziva je závislý hlavně od vlhkosti, teploty a času expozice. (Balkovský, Klement, Marko, 2006)

Změna barvy se dá charakterizovat jako odklon od původního barevného odstínu a často je považována za chybu, vzhledem k tomu, že může snížit v některých případech použitelnost dřeva. (Trebula, Klement, 2002)

Vliv teploty na barevné změny je intenzivnější při vyšší vlhkosti. (Schmidt, 1986)

Barva tepelně upraveného dřeva závisí na času a teplotách dané úpravy. S rostoucí teplotou se dřevo barví do tmavé barvy. Barva dřeva závisí na jarním a letním dřevě a hustotě dřeva. (ThermoWood Handbook 2003)



Obř. 7 Spektrum barev tepelně upravené borovice (120 -220 °C po 20 ° intervalech)
(ThermoWood Handbook 2003)

1.7 Mechanické vlastnosti

Nevýhodou termicky upraveného dřeva je zhoršování jeho mechanických vlastností, které omezují použití takto modifikovaného dřeva v některých aplikacích, zejména jako konstrukčního materiálu. Změny závisí od druhu dřeviny a podmínek úpravy, přičemž některé vlastnosti se zhoršují (rázová houževnatost, pevnost, tvrdost apod.), některé se můžou i zlepšit (modul pružnosti, tvrdost). Modul pružnosti se zlepšuje při mírnějších podmínkách termického působení, při tvrdších podmínkách se zhoršuje.

Degradace hemicelulóz je pravděpodobněji nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím změny mechanických vlastností termicky modifikovaného dřeva, zejména pevnost v ohybu a v tahu, ale změny krystalického a amorfního podílu celulózy můžou mít velký vliv na mechanické vlastnosti takto upraveného dřeva. Polykondenzační reakce v ligninu, které způsobují jeho zeditování mají pozitivní vliv hlavně v podélném směru. (Kačíková, Kačík 2011)

1.7.1 Rázová houževnatost, pevnost a tvrdost

Největší podíl na snížení pevnosti a rázové houževnatosti termodřeva má degradace stavebních polymerů. Tyto jevy vznikají zejména v hemicelulózách. Při ohřevu mokrého dřeva probíhají současně i fyzikálně-chemické plastifikační efekty v ligninu, vlivem kterým se aktuální pevnost ohřátého mokrého dřeva snižuje velmi razantně. Po vysušení se opět obnovuje, což se výhodně uplatňuje např. při výrobě

ohýbaného nábytku. Nejvíce však ovlivňují tyto změny teplota a doba působení tepla. S vyšší teplotou a časem trvání se snižují mechanické vlastnosti.

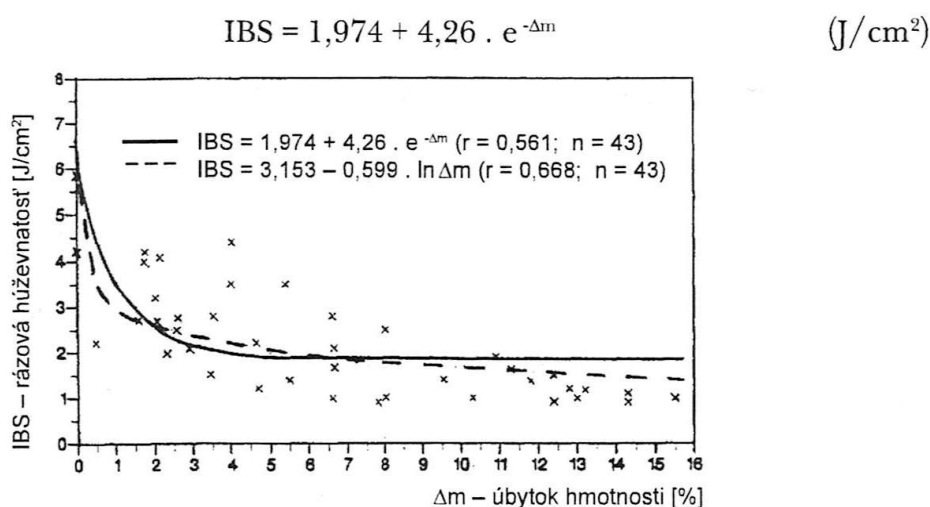
(Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.7.2 Rázová houževnatost dřeva

Rázová houževnatost po termické úpravě klesá a termodřevo je podstatně křehčí. Seborg a kol. (1953) stanovili při ohřevu dřeva na teplotu 300 °C velmi výrazný 90 % pokles houževnatosti. Dále Reinprecht (1992) při ohřevu topolového dřeva na teplotu 210°C/3h zjistil 61 % pokles rázové houževnatosti v ohybu. Současně po dobu mnohačetných typů chemicko - termických úprav topolového dřeva v přítomnosti kyseliny sírové zjistil výrazný pokles houževnatosti

(IBS = impact bending strength), a to už i při poměrně malých úbytcích hmotnosti charakterizovaným exponenciálním typem závislosti.

(Reinprecht, Vidholdová, 2008)



Obř. 8 Pokles rázové houževnatosti v ohybu topolového dřeva vzhledem k úbytku hmotnosti v přítomnosti kys. sírové (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.7.3 Ohybová pevnost

Millery a Gerhards zjistili měřením, že ohybová pevnost klesne o 20% při teplotě 155 °C za 3 dny, při teplotě 135°C asi za 2 týdny, respektive při teplotě 115 °C za 15 týdnů. Pevnost dřeva v ohybu upraveného při teplotě 220 °C po dobu 5 hodin

s etapami předohřevu a chlazení v celkovém čase 4 dní se sníží dokonce až o 50 %. (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.7.4 Tvrdost dřeva

S narůstající teplotou ohřevu v rozsahu 100 až 240°C se nemění nebo se dokonce mírně zvyšuje. Z praktického hlediska je to ale pouze zanedbatelné zlepšení.

Vliv poklesu houževnatosti a pevnosti termodřeva na technologický proces výroby je pro uživatele velmi důležitý. Platí zásada, že při snížení houževnatosti a ohybové pevnost dřeva o 30 až 50% (při režimech s vysokou teplotou a dlouhou dobou trvání) je pro většinu výrobků neslučitelné.

Opatření při výrobním procesu:

- dlouhodobě nepřesáhnout teplotu 220°C a zároveň omezení přístupu vzduchu
 - při překročení teploty 220°C se musí zamezit přístupu kyslíku
- (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.8 Technické vlastnosti - práce s termodřevem

1.8.1 Obrábění (obecná rovina)

Termicky upravené dřevo se lépe opracovává ručním i strojním způsobem (nástroje musí být dobře naostřené), řezné plochy jsou hladší a snižuje se i řezná síla. Problémem může být tvorba jemného prachu, který je třeba zachytávat do speciálních odsavačů, aby nedocházelo ke znečištění pracovního prostředí a nevyvolávalo zdravotní problémy obslužného personálu, respektive aby nedošlo k jeho vznícení. Po dobu řezání nebo frézování se uvolňují i prchavé látky, které lze cítit ve formě zápachu. (Reinprecht, Vidholdová 2008)

1.8.2. Pílení

Vhodnou tepelnou úpravou dřeva se uvolní vnitřní napětí, a tudíž jde materiál velmi dobře řezat. Tepelně upravené dřevo neobsahuje pryskyřici, a proto jsou nižší požadavky na nástroj a délka životnosti nástroje se tak prodlužuje.

Řezání tepelně upraveného dřeva se neliší od tepelně neupraveného. Jediný problém se kterým se můžeme setkat při řezání je dřevní prach. Dřevní prach termodřeva je velmi suchý, snadno se rozptýlí do okolního prostředí, a proto musí být použit velmi kvalitní odsávací systém.

Ostří pilového kotouče, kde jsou mezery mezi zuby může při řezání termodřeva způsobit úlomky (trhliny), proto jsou doporučovány nástroje s ostřím bez mezer mezi zuby. Pilové kotouče s karbidy prodlužují životní interval nástroje. (ThermoWood Handbook 2003)

1.8.3. Frézování

Při frézování musí být obzvlášť ostří nástroje velmi dobře naostřené, jinak mohou vzniknout trhliny. Větší výskyt trhlin může nastat, když frézujeme dřevo napříč vláken. Největší problém trhliny ovšem nastane na začátku a na konci frézování, když fréza opustí obrobek. Obecně frézování tepelně upraveného dřeva je velmi podobné jako frézování těžkého, tvrdého dřeva. (ThermoWood Handbook 2003)

2. Frézování

2.1 Teoretický rozbor procesu frézování

Frézování je velmi rozšířenou metodou třískového obrábění. Předností frézování je poměrně velká výkonnost při dobré kvalitě vytvořeného povrchu. Používá se při obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch, při obrábění drážek různých profilů a i ozubení.

Frézování je proces řezání dřeva s řeznými hranami na obvodě rotujícího nástroje s posuvem dílce ve směru kolmém nebo přibližně kolmém na osu rotace nástroje při řezné výšce (hloubce úběru) menší než tloušťka dílce a poloměr nástroje s cykloidním indikovaným řezným pohybem a tloušťkou třísky. Přejídná plocha je cykloidní a není totožná s obrobenou plochou. (Lisičan, 1996)

Frézování je obrábění otáčejícím se nástrojem (frézou, frézovací hlavou apod.), při kterém se nominální tloušťka třísky mění po dobu záběru od 0 do h_{\max} a posuv je ve směru kolmém k ose otáčení.

Tento způsob obrábění volíme k dosažení hladkého povrchu a přesným rozměrům obrobku (srovnávacími frézami, tloušťkovacími frézami) nebo

k vytvoření tvarových ploch (spodní frézky, vrchní frézky, trojstranné a čtyřstranné frézky). Obrobek se v praxi při různých operacích frézuje ve všech směrech vzhledem k průběhu dřevních vláken, nejčastěji však ve směru podélném až podélně - příčném (srovnávací frézky, tloušťkovací frézky, trojstranné a čtyřstranné frézky). Frézovací nástroj se otáčí většinou proti směru posuvu (frézování protiběžné), v některých případech ve směru posuvu (frézování souběžné).

(Prokeš, 1982)

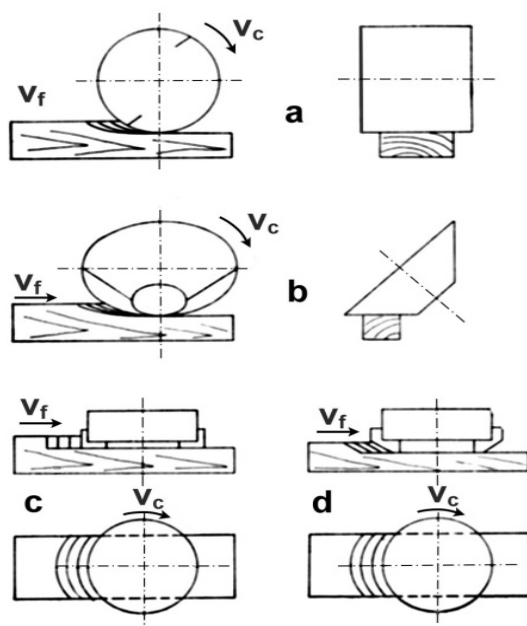
Podle polohy osy otáčení a podle ploch, které při frézování opisují řezné klíny nástroje, rozlišujeme čtyři druhy frézování (Prokeš, 1982):

1) válcové - osa otáčení nástroje je rovnoběžná s obrobenou plochou, řezné klíny nástroje opisují válcovou plochu (obr. 9a),

2) kuželové - osa otáčení nástroje je skloněná pod určitým úhlem k obrobené ploše a řezné klíny nástroje opisují kuželovitou plochu (obr. 9b),

3) čelní - osa otáčení nástroje je kolmá k obrobenému povrchu, řezné klíny nástroje opisují válcovou plochu, boční řezné klíny pracují na principu válcového frézování a to přibližně kolmo ke směru dřevních vláken. Tento způsob se používá u některých tvarových a stopkových fréz (obr. 9c),

4) čelně-kuželové - osa otáčení je kolmá k obráběnému povrchu, avšak na rozdíl od předcházejícího způsobu jsou řezné klíny nástroje skloněné k obráběnému povrchu pod určitým úhlem (obr. 9d).



Obr. 9 Rozdělení frézování (Prokeš, 1982)

Frézování jako proces mechanického povrchového opracování obrobku je charakteristické tím, že je procesem třískotvorným s prvotním přířezem malé tloušťky třísky, přičemž se tloušťka třísky mění od 0 po určité maximum. Malá tloušťka třísky má nepříznivý vliv na trvanlivost ostří nožů.

Druhým základním rysem frézování je nerovný, ale vlnitý vzhled frézované plochy, zákonitě vyplývající z cykloidního tvaru třísky indikovaného pohybu řezné hrany na obrobku. Z toho vyplývá, že ani odfrézováním není možné dosáhnout ideálně hladkého povrchu obrobku.

Z těchto důvodů se frézování používá v dřevařské praxi buď jako povrchová úprava dílce pod nátěry, nebo jako příprava dílce k dalšímu povrchovému opracování broušení. (Lisičan, 1984)

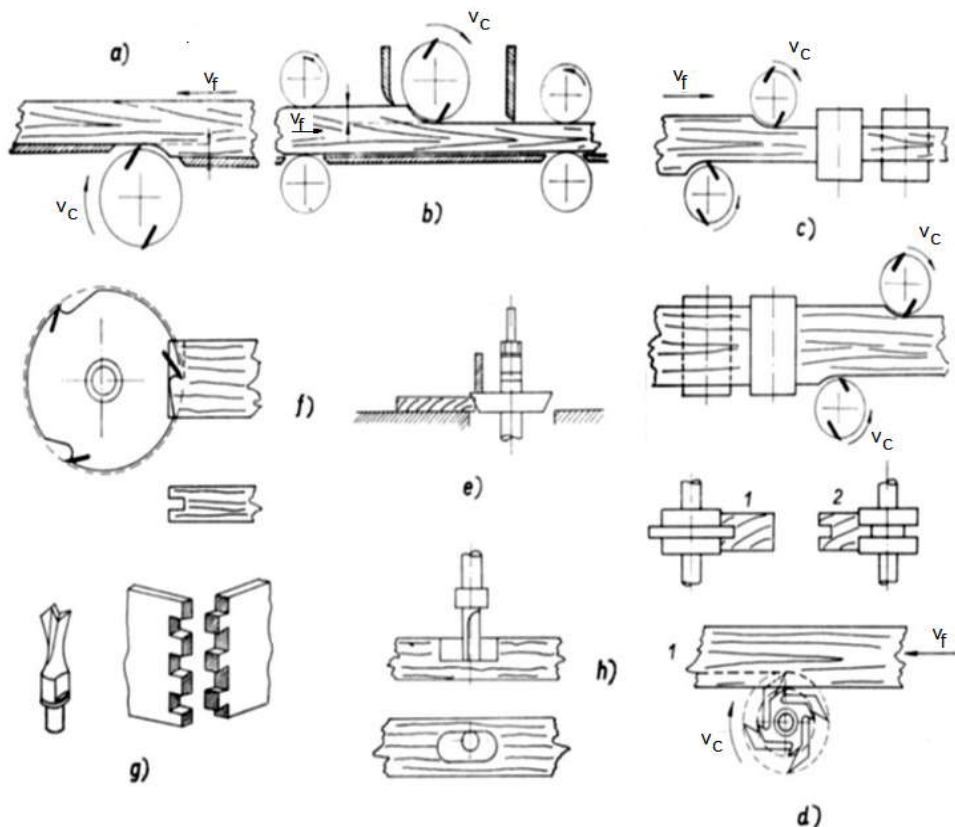
Frézovací stroje obrábějí dřevo a dřevní materiály otáčivým pohybem nástroje, který je upnutý v mechanismu hlavního pracovního pohybu (hřídel, hlava, vřeten, atd.), zabezpečujícím materiálům hladký povrch, požadovaný tvar a rozměr.

Tato jejich univerzálnost jim dává široké uplatnění v dřevozpracujícím průmyslu (hlavně v nábytkářském a stavebně - stolařském odvětví). (Barcík, 2009)

Technologické způsoby frézování v dřevařství jsou rozdílné:

- rovinné (srovnávání a tloušťkování),
- křivoploché (frézování křivé plochy),
- profilování (vytváření různých profilů na dílci),
- speciální (např. frézování reliéfů apod.).

Různé konstrukce strojů využívají uvedené základní modely frézování. Nejčastější způsoby využívané v dřevařství na obr. 10.



Obr. 10 Hlavní druhy frézování (Prokeš, 1982)

a – srovnávání (nožovým hřídelem), b – tloušťkování, c – dvoustranné frézování, d – frézování pera (2) a drážky (1), e – frézování úhlovou frézou, f – čepování, g – frézování spojů rybinovací frézou, h – frézování vrchní frézou.

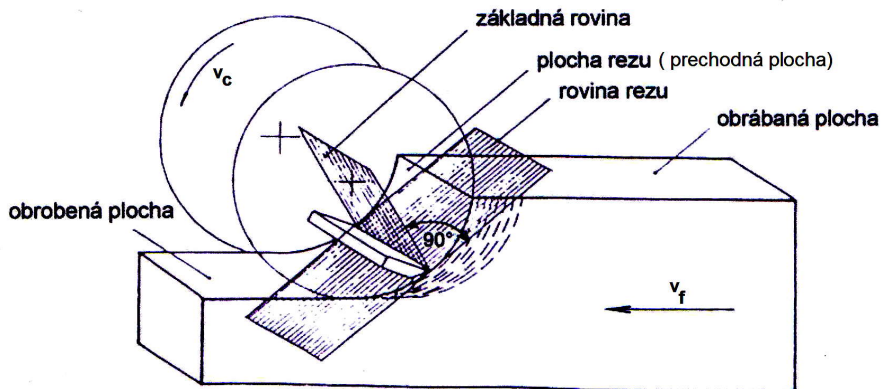
2.2 Plochy obrobku

Při studiu procesu obrábění a při určování vzájemné polohy nástroje a obrobku rozeznáváme tyto plochy:

- a) **obráběnou plocha**, ze které budeme snímat třísku nebo řadu třísek
- b) **obrobenou plochu**, která vznikne na obrobku po sejmutí třísky nebo řady třísek
- c) **plochu řezu**, která vznikne na obrobku relativním pohybem břitu a obráběného materiálu a je vytvořena dráhami řezného pohybu jednotlivých bodů břitu
- d) **rovinu řezu**, která je tečná k ploše řezu v místě styku břitu s plochou řezu.
U tvarovacích fréz (se zakřiveným profilem) odpovídá každé poloze břitu na ploše řezu křivá plocha řezu tečná k ploše řezu. (Prokeš, 1982).

Základní rovina je rovina kolmá k rovině řezu procházející břítem.

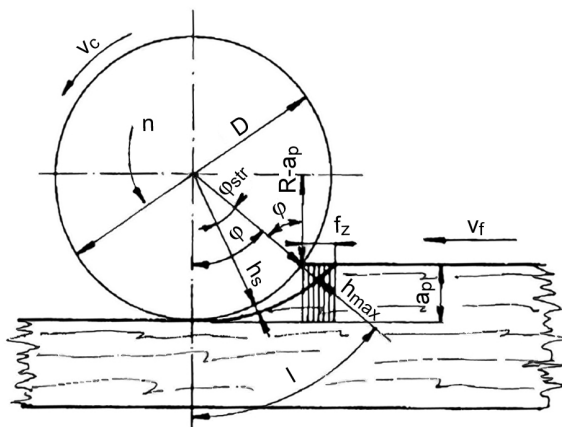
Při přímočarém pohybu břítu je obrobená plocha totožná s plochou řezu a rovinou řezu. Při rotačním pohybu břítu je plocha řezu zakřivená a je přechodem mezi obrobenou a obráběnou plochou, určité poloze břítu na ploše řezu odpovídá určitá rovina řezu (Prokeš, 1982).



Obr. 11 Hlavní plochy při obrábění (Prokeš, 1982)

2.3 Kinematika frézování

Kinematika oddělování třísky při frézování znázorňuje obr. 11. V praxi se však skutečný přířez třísky může odlišovat adnominálního přířezu vlivem opotřebení řezného klínu, nepřesnosti chodu vřetena, odchylek řezného klína od řezné kružnice, nepravidelností chodu podávacího zařízení a především vlivem odštipování a nestejnorodosti hmoty obrobku. (Prokeš, 1982)



Obr. 12 Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Prokeš, 1982)

Dráha řezného klínu tvoří cykloidu, řezná rychlost je však u větších průměrů frézovacích nástrojů v poměru k rychlosti posuvu velmi vysoká, takže na úseku záběru řezného klínu můžeme s dostatečnou přesností předpokládat, že jeho řezná dráha tvoří kružnici. Řezný klín je během jedné otáčky v záběru na délce oblouku l , který přísluší středovému úhlu $\varphi' + \varphi$. Úhel φ' je velmi malý, proto se při výpočtu délky třísky l většinou uvažuje úhel φ . (Prokeš, 1982)

3. Drsnost povrchu

Kvalitou řezného procesu se rozumí výsledek činnosti nástroje jako celku (ten může mít jen jednu, ale i mnoho řezných hran) na celkové kvalitě produktu podmíněné třemi druhy přesnosti: tvarové, rozměrové a povrchové (míře drsnosti).

Tvarová a rozměrová přesnost obrobku jsou ovlivňované hlavně tuhostí nástroje, přesností celého řezacího a podávacího mechanismu stroje, přesností nastavení nožů v mnohanožovém nástroji. Drsnost povrchu se projevuje jako opakovaný výsledek řezné činnosti samotné řezné hrany na řezném klínu. Zvýšená pozornost si vyžaduje zejména povrchová drsnost frézovaných dílců, které se podrobují v dalším technologickém sledu povrchové úpravy. (Lisičan, 1996)

Struktura povrchu – opakované nebo náhodné úchyly od geometrického povrchu, které tvoří třírozměrnou topografii povrchu. Strukturu povrchu (na omezené ploše) tvoří drsnost povrchu, vlnitost povrchu, stopy po technologických procesech (např. obrábění), nedokonalosti povrchu a úchyly tvaru.

Skutečný povrch – povrch omezující těleso a oddělující jej od okolního prostředí.

Souřadnicový systém – systém, ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu. Obvykle je používán pravoúhlý souřadnicový systém, ve kterém osy tvoří pravotočivou kartézskou soustavu – osa X ve směru snímání je souběžná střední čarou, osa Y leží na skutečném povrchu kolmo na směr snímání a osa Z směřuje z povrchu (z materiálu do okolního prostředí jsou v ní rozpoznány a registrovány nerovnosti charakterizující profil povrchu).

Profil povrchu – 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)

Základní profil – úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru λ_s . Tento profil je základem pro hodnocení parametrů základního profilu.

Profil drsnosti – profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru λ_c . Tento profil je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti.

Profil vlnitosti – profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f (potlačující dlouhovlnné složky) a filtru profilu λ_c (potlačující krátkovlnné složky) na základní profil (Dzurenda a kol., 2008)

V normě [ISO 4287-1:1994] byla použita značka Rz pro udání „výšky nerovností z deseti bodů“. Pro měření drsnosti povrchu na přístrojích, které měří dřívější parametr Rz je nutno věnovat pozornost při používání existující technické a výkresové dokumentace, protože rozdíly výsledků nemusí být vždy zanedbatelné.

Na základě doporučení platných norem lze stanovit na základě platných norem různé parametry drsnosti, parametr Rz je nahrazen dále uvedenými parametry. (Dzurenda a kol., 2008)

Průměrná aritmetická úchylka povrchu:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z(x)_i|$$

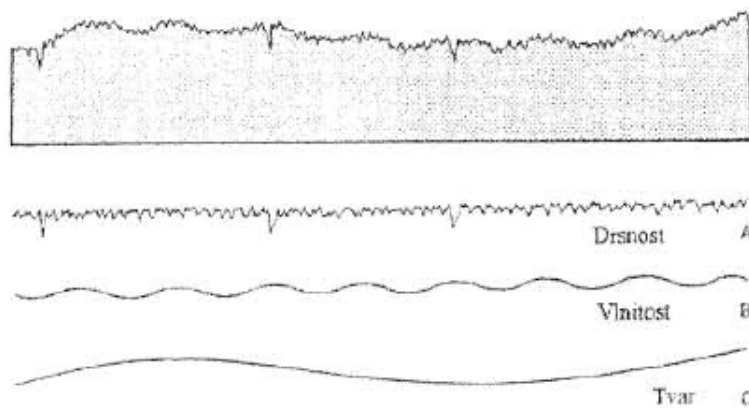
Průměrná kvadratická úchylka profilu:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx}$$

Povrch součástí představuje prostorový útvar tvořený nerovnostmi různých velikostí a roztečí. Pro potřeby hodnocení povrchu je zpravidla využíván profil povrchu získaný řezem kolmým ke kontrolovanému povrchu. Dosud nejpoužívanějším způsobem snímání profilu je dotyková metoda při které je měřicí hrot posouván po povrchu. Získaný digitalizovaný profil je základem popisu povrchu normalizovanými i nenormalizovanými parametry hodnocení. Reálný povrch je podle

velikostí a rozložení nerovností většinou tvořen kombinací drsnosti, vlnitosti a úchylek tvaru.

Praktické rozlišení jednotlivých složek povrchu závisí i na velikosti povrchu součástí. Proto se ukazuje účelné členit nerovnosti povrchu podle zdroje jejich vzniku na profil drsnosti, vlnitosti a tvaru (obr. 13)



Obr. 13 Profil povrchu – drsnost (A), vlnitost (B), tvar (C) (Dzurenda a kol., 2008)

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.

Drsnost povrchu je hodnocená v systému, ve kterém je prostorový charakter nerovností, které na povrchu vznikly v procesu realizace, redukovány do roviny. V této rovině je získáný profil, který je vyhodnocovaný vzhledem k střední čáře profilu. (Dubovská, 2000)

Vlnitost – představuje rozměrnější nerovnosti na které je superponována drsnost a většinou jsou způsobeny technologií obrábění (např. u frézování), kmitáním nebo deformací obrobku, příp. pnutí v materiálu. Vlnitost je dále přisuzována především vlastnostem obráběcího stroje a nástroje např. nevyváženost a nepřesnost seřízení nástroje, házivost hřídele apod.

Tvar - největší nerovnosti povrchu, které vznikají bez ohledu na drsnost a vlnitost. Úchyly tvaru povrchu nejčastěji způsobuje nedostatečné tuhé upnutí obráběné součásti nebo úchyly (nepřímoty) vodících ploch strojů, příp. deformace součásti.

Povrch obrobeného dřevního materiálu je charakteristický drsností, která se projevuje tím, že dřevní částičky více nebo méně pravidelně vystupují z obrobeného povrchu nebo vlnitostí, které způsobují stopy po nástroji, vyplývající z kinematiky nástroje nebo z jeho porušení, z nepřesnosti upnutí nástroje apod. Rozměry povrchové nerovnosti (drsnosti a vlnitosti) určují stupeň hladkosti povrchu.

(Siklienka, 2004)

Je třeba zdůraznit, že vedené tři typy nerovností se na povrchu neobjevují izolovaně, ale vždy v určité kombinaci. Každý popsaný typ nerovností je třeba měřit a hodnotit samostatně. Měřicí přístroje používají řadu filtrů, kterými rozčlení strukturu povrchu na složky podle rozteče nerovností. Správná volba filtrů je základem hodnověrného měření. (Dzurenda a kol., 2008)

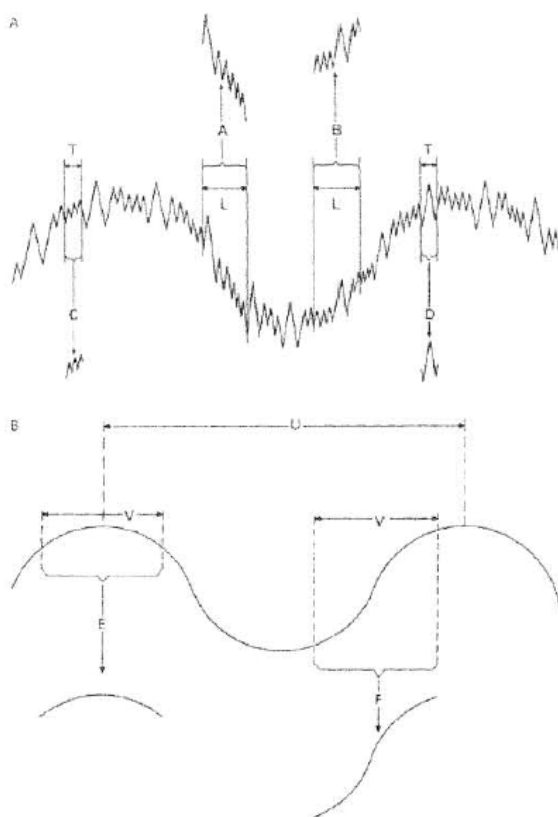
Podle ČSN EN ISO 11 562 určují filtry profilu rozhraní takto:

Filtr λs - rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln,

Filtr λc - rozhraní mezi drsností a vlnitostí,

Filtr λf - rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln.

Pro objektivní kontrolu povrchu má velký význam volba správné hodnoty *základní délky*, kterou se rozlišují nerovnosti charakterizující vyhodnocovaný profil (obr. 14)



Obr. 14 Stanovení základní délky (Taylor Hobson, 2009)

Profil povrchu A zahrnuje drsnost i vlnitost povrchu. Nerovnosti v místě A lze považovat za typické pro celý povrch, s minimálními odchylkami od místa B, stejné délky L . Je-li vybrán kratší úsek, ozn. T , je zřejmé, že se profil nerovností v místech C a D značně liší. Při posuzování vlnitosti povrchu (B) je zřejmé, že profil nerovností má rozteč U . Při volbě menší základní délky, ozn. V , je vlnitost v místech E a F výrazně menší.

Základní délka musí být dostatečně velká, aby v jejím rozsahu byly naměřené parametry statisticky významné, ale současně ne tolik, aby zahrnovala irelevantní detaily profilu. Výběh vhodných základních délek doporučila norma ČSN EN ISO 4288. Základní délka pro drsnost l_r a pro profil vlnitosti l_w mají číselnou hodnotu stejnou jako charakteristické vlnové délky profilového filtru λ_c a λ_f . Základní délka pro základní profil l_p se rovná vyhodnocované délce.

Poněvadž výškové a délkové složení nerovností, které tvoří drsnost není většinou pravidelné je standardně stanoveno, že vyhodnocovaná délka pro parametry drsnosti l_n sestává z pěti základních délek l_r ($l_n = 5 \cdot l_r$). Při hodnocení s jiným počtem základních délek musí být toto vyznačeno. Proto jsou pro měření struktury povrchu definovány následující délky:

Základní délka (sampling length), l_p, l_r, l_w – délka, na které jsou měřeny jednotlivé parametry.

Vyhodnocovaná délka (evaluation length), l_n – délka pro vyhodnocování profilu, obsahuje jednu nebo více základních délek, výsledek měření je průměrná hodnota ze všech základních délek.

Délka snímání – délka dráhy měřícího hrotu (traverse length), L – odpovídá vyhodnocované délce zvětšené o krátký rozběh (L_r) a doběh (L_d), které mají vyloučit mechanicky a elektricky nestabilní režimy měřícího systému.

Pro kontrolu struktury povrchu je dále významná správná volba **mezní vlnové délky (cut-off)**. Mezní vlnová délka je parametrem měřícího přístroje, která je ekvivalentní a stejně důležitá jako již uvedená základní délka. Zatímco základní délka je fyzikální veličinou (délka kontrolovaného povrchu), mezní vlnová délka (cut-off) je funkcí profilometru, která upravuje převod profilu povrchu na odpovídající elektrický signál c rozmezí základní délky. Vlnové délky v měřeném signálu závisí na nerovnostech povrchu. Při použití krátkovlnného filtru, který vyloučí vlnové délky větší než 0,25 mm, zůstanou ve filtrovaném signálu zastoupeni jen nerovnosti s roztečí 0,25 mm a menší, což je podmínkou k získání základní délky 0,25 mm. Měřící systém odřezává nerovnosti s roztečí 0,25 mm, což je označováno mezní vlnovou délkou (cut-off). Při volbě mezní vlnové délky je rozhodující charakter struktury kontrolovaného povrchu. (Dzurenda a kol., 2008)

Tab. 1 Směrné hodnoty mezních vlnových délek pro vybrané metody
(Dzurenda a kol., 2008)

Dokončovací metody	Mezní vlnové délky (mm)				
	0,25	0,8	2,5	8	25
Frézování		ano	ano	ano	
Řezání		ano	ano		
Broušení	ano	ano	ano		
Leštění	ano	ano			

Zpravidla existuje jedna hodnota mezní vlnové délky, která nejlépe odpovídá charakteristice povrchu. Např. mezní vlnová délka 0,8 mm může být použita pro téměř všechny povrchy, ale nemusí být zcela vyhovující pro hodnocení některých specifických vlastností povrchu. Proto je vhodné při volbě mezní vlnové délky

zvažovat i účel připravovaného měření. Frekvence signálu (tvarových kmitů) závisí nejen na roztečích nerovností, ale i rychlosti posuvu snímače. (Dzurenda a kol., 2008)

3.1 Nerovnost povrchu dřeva

Každý předmět je z materiálu, kterého povrch je složený z miniaturních vrcholů a prohlubní. Velikost a prostorové rozložení těchto vrcholů a prohlubní má vliv na specifické vlastnosti povrchu (Koch, 1964)

Povrch obrobeného materiálu je charakterizovaný drsností, která se projevuje tím, že dřevní částičky více nebo méně pravidelně vystupují z obrobeného povrchu nebo vlnitostí, které způsobují stopy po nástroji, vyplývající z kinematiky nástroje nebo z jeho porušení, z nepřesnosti upnutí nástroje apod. Rozměry povrchové nerovnosti (drsnoti a vlnitosti) určují stupeň hladkosti povrchu. Každý způsob obrábění zanechává na povrchu charakteristické uspořádání nerovnosti (vzhledově jsou odlišné plochy obrobené pilou v porovnání s frézou), i kdyby byly rozměry stejné. Nerovnosti povrchu jsou rozdílné ve směru řezného pohybu a ve směru kolmém na tento pohyb.

Na obrobeném povrchu při zkoumání geometrických odchylek skutečného povrchu od ideálního je možné v kolmé rovině na obrobený povrch stanovit mikrometrické a mikrometrické druhy odchylek. (Javorek-Oswald, 1998)

Drsnost povrchu, stupeň vytrhávání povrchu při frézování dřeva je závislý především na směru dřevních vláken, na tloušťce třísky, geometrii a mikrogeometrii bříty a u nožových hlav a hřídely na tvaru a stavu lamače třísek. Nejzávažnější je vliv směru vláken a tloušťky třísky. Nejnepříznivější je úhel styku 20 až 50°, kdy je nevyhnutelné pro dosažení minimální drsnosti zmenšit posuv řezného klínu na hodnotu $f_z = 0,1$ až $0,2$ zvětšit řeznou rychlost až na $70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a použít na nástroji úhel řezu 75°. (Adamcová, 2010)

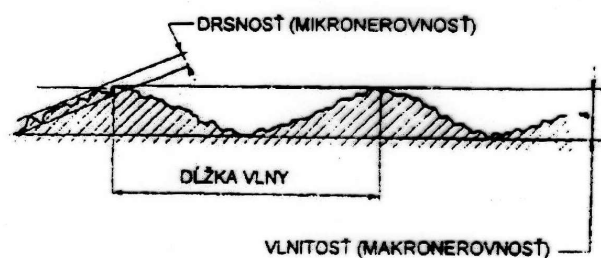
3.2 Kvalita frézovaného povrchu

Drsnoti povrchu při frézování se vytváří rotačním pohybem řezné hrany a přímočarým pohybem obrobku. Obrobená plocha se od ploch zadaných výkresem liší především vlivem:

- pružných a plastických deformací v čase tvoření třísky
- kmitání vznikajícího v technologické soustavě
- třením hřbetu nože o obrobenou plochu
- přesností zařízení

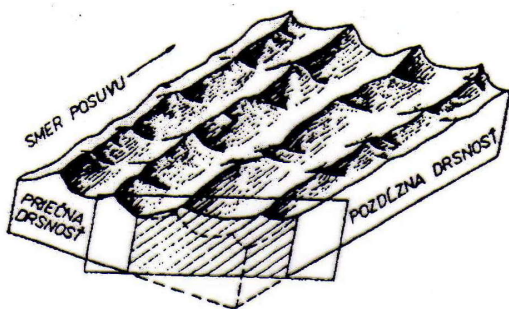
Na obrobeném povrchu při zkoumání geometrických odchylek skutečného povrchu od ideálního v rovině kolmé na obrobený povrch stanovit následující druhy odchylek.

- a) mikrogeometrické
- b) makrogeometrické



Obr.15 Geometrické charakteristiky (ČSN ISO 4287-1)

Mikrogeometrické odchylky jsou dané stopami, které na obrobeném povrchu zanechává nástroj a jsou charakterizované drsností. Hodnoty drsnosti v různých směrech se od sebe odlišují, rozlišuje se drsnost podélná (ve směru řezu) a příčná (kolmá na směr řezu) (Obr. 16). V praxi se většinou zajišťuje jen příčná drsnost, která závisí od tvaru řezného klínu a jeho posuvu vzhledem na obrobek.



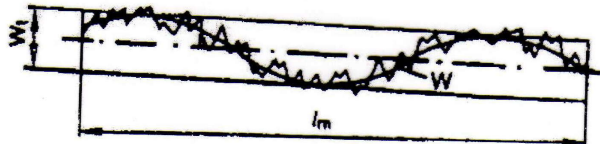
Obr. 16 Příčná a podélná drsnost frézovaného povrchu (ČSN ISO 4287)

Makrogeometrické odchylky nejsou zapříčiněné jen nástrojem, ale společným působením soustavy stroj-nástroj-obrobek a kinematiku obrábění.

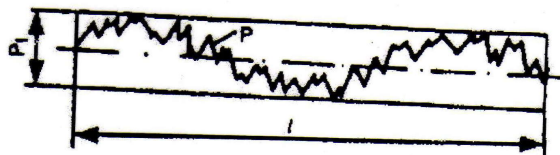
Mezi tyto odchylky můžeme zařadit vlnitost, kterou je možné na výkrese ohraničit pomocí tolerancí tvaru.

Charakteristické parametry vlnitosti jsou:

- **hloubka vlny** - vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem z vyrovnaného vlnového profilu, při odfiltrování drsnosti, v rozsahu vyhodnocované délky l_m (obr. 17)
- **hloubka profilu** - nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými hraničními přímkami z nefiltrovaného profilu vyhodnocované délky l_t (obr. 18)



Obr. 17 Hloubka vlny (ČSN ISO 4287)



Obr.18 Hloubka profilu (ČSN ISO 4287)

Při nesouběžném frézování a dodržení rovnoměrných hodnot v , u , R vznikne vlnkovitý profil povrchu ořezovaného dílce se vzdálenostmi vrcholů vlnek.

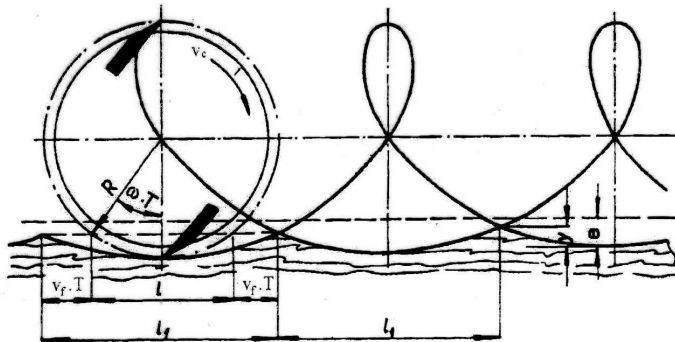
$$l_1 = f_z = \frac{v_f}{nz} \quad [\text{mm}]$$

a hloubkou vlnek

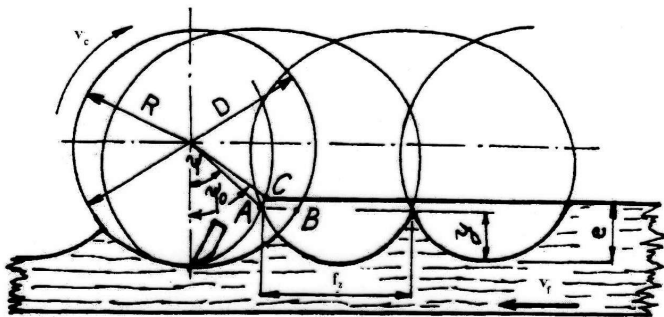
$$y = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{f_z}{2}\right)^2} \doteq \frac{f_z^2}{8R} \quad [\text{mm}]$$

Při souběžném frézování vznikne v podmínkách v , u , $R = \text{konst.}$ větší hloubka vlnkování:

$$y = \frac{D}{16} \left(\frac{f_z}{R - \frac{f_n}{2\pi}} \right)^2$$



Obr. 19 Kinematický profil povrchu při nesouběžném frézování.



Obr. 20 Kinematický profil povrchu při souběžném frézování.

3.3. Vliv různých činitelů na kvalitu frézovaného povrchu

Kvalita (drsnost) obrobeného povrchu závisí od následujících parametrů:

- Posuv na zub
- Řezná rychlost
- Posuvná rychlost
- Dřevo (je rozdíl, zda je dřevo juvenilní nebo dospělé)
- Fréza jako celek
- Úhel ostří (dílčí parametr frézy)
- Úhel hřbetu(dílčí parametr frézy)
- Úhel čela (dílčí parametr frézy)
- Otupení ostří

- Vlhkost obrobku

Posuv na zub je nejmýraznějšý faktor ovlivňující drsnost povrchu a jeho nárůst způsobuje zvýšení drsnosti povrchu.

Vliv posuvné rychlosti na kvalitu povrchu je nepřýmo úměrný. Přijatelné povrchy vznikají při $u_z = 0,1 - 0,15$ mm.

Řezná rychlost se na kvalitě povrchu projevuje v menší míře než posuvná rychlost. Platí však, že nárůst řezné rychlosti snižuje drsnost.

Vliv na drsnost má i druh dřeva (zda se jedná o dospělé nebo juvenilní dřevo).

Z pozorování vlivu řezného úhlu (δ) na kvalitu frézovaného povrchu některých autorů vyplývá, že při podélném frézování a malých posuvech (do 1,65 mm na zub) je účelné frézovat s vyšším řezným úhly okolo $\delta = 75^\circ$, při vyšších posuvech je efektivní snížit $\delta = 65^\circ$. S dalším snižováním řezného úhlu kvalita povrchu klesá a výsledky jsou nejhorší při $\delta = 35 - 40^\circ$. Při čelním a tangenciálním frézování je zvyšování řezného úhlu nevhodné.

Projevem zvyšování otupení ostří je zvýšení hloubky tlakové deformace dřeva čímž se následně zhoršuje kvalita povrchu.

Výrazný vliv na kvalitu povrchu má i směr vláken v dílci. Kvalitnější povrch je při frézování po vláknech tak proti vláknům kde dochází k výraznému vytrhávání vláken.

Pokud jde o vliv vlhkosti, tak nejhorší výsledky vznikají při $w = 30\%$.

(Barcík, Homola, 2004)

3.4. Vliv faktorů na drsnost povrchu

Anatomie dřeva – díky anatomické stavbě dřeva a jeho pórovité struktuře není možné dosáhnout dokonale hladkého povrchu.

Kresba vláken – během obrábění dřeva jsou anatomické elementy přeřezávány řezným nástrojem. Povrch dřeva má specifickou mikrogeometrii díky kresbě vláken.

Vlhkost – i malé změny vlhkosti dřeva mají velký vliv na geometrii povrchu a následně i na drsnost, hladkost i rovinnost. Malá vlákna a třísky (zbytky po obrábění) mají tendenci zvětšovat své rozměry.

Hustota (pórovitost) dřeva – z hlediska hodnocení opracovaného povrchu je pórovitost dřeva rozhodující indikátor, který značně ovlivňuje povrchové vlastnosti. Tvrdost, která je úzce spojena s hustotou, má vliv na odolnost povrchu vůči

deformacím působeným tlakem snímače v případě, že se povrch vyhodnocuje kontaktní metodou.

Kinematika řezného procesu – na základě použitých parametrů řezného procesu se vytvoří různé typy reliéfů. Každý povrch má jiný tvar, profil, délku a výšku vlnek. Veškeré tyto charakteristiky závisí na geometrii nástroje, směru řezání a technologických parametrech.

Podmínky stroje – vliv faktorů vztahujících se ke stroji a nástroji: konstrukce stroje, vibrace stroje, opotřebení nástroje, údržba stroje a další faktory (Adamcová, 2010)

Jiné faktory

Mezi ostatní faktory můžeme zahrnout teplotu, vlhkost vzduchu, konečnou úpravu (nástržik, nátěr), chemický rozklad (oxidace, degradace), biologický rozklad (hniloba), a poškození povrchu jako následek aktivity hmyzu. (Sandak, Negri, 2006)

4. Koloristika

4.1. Úvod

Základní atributy charakterizující barvu jsou: barevný tón, barevná sytost a světlost. Aby si mohli lidé vyměňovat informace o barvě, je potřebné přesně určit o jakou barvu jde. Musíme umět barvu odměřit a číselně vyjádřit nejlépe pomocí barevných souřadnic v mezinárodní soustavě CIE (Mezinárodní komise pro osvětlování). Na měření barev využíváme měřicí přístroje, které se nazývají spektrofotometry a kolorimetry.

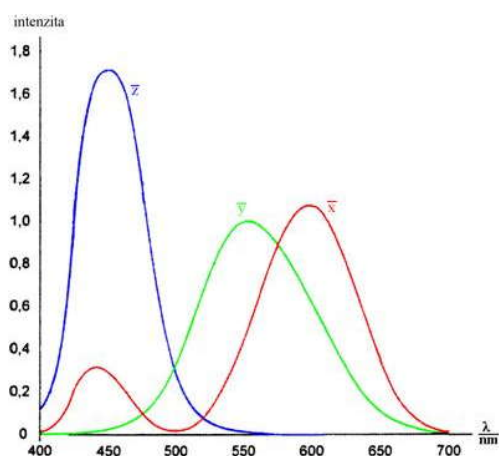
Barva dřeva je důležitá charakteristika jeho vzhledu především při takových výrobcích jakými je nábytek, umělecké dřevěné předměty a mnoho dalších. Změny zbarvení určitých částí dřeva může pomoci i při zjišťování a hodnocení chyb dřeva, zejména pokud jde o jeho napadnutí plísněmi a houbami. (Babiak a kol., 2004)

Dřevo má schopnost pohlcovat a odrážet světelné paprsky, přičemž odražené světelné paprsky mají jiné spektrální složení jako dopadající. Složení odražených světelných paprsků vytváří zrakový barevný vjem. Barva dřeva patří mezi základní optické vlastnosti dřeva. Tato vlastnost charakterizuje vzhled dřeva a určují je jeho chemické složky – celulóza, hemicelulózy, lignin a extraktivní látky. Více závisí od její výraznosti než od jejich celkového objemového nebo hmotnostního podílu. Např.

celulóza má sice nejvyšší procentuální zastoupení, ale bílou barvu může překrýt barva extraktivních látek, které zabírají jen malé procento z hmotnosti dřeva. (Požgaj a kol., 1997)

4.2 Vnímání barvy a barevný prostor

Světlo je elektromagnetické vlnění, přičemž lidské oko reaguje na jeho úzkou oblast a to od 380 nm do 770nm. Tento úsek se uvádí i jako spektrum viditelnosti. Světlo dopadající do oka vytváří obraz na sítnici, která představuje světelný detektor. Nervové impulzy potom postupují příslušnými nervy a vnímání obrazu se uskutečňuje prostřednictvím sensorické oblasti mozku. Na sítnici jsou umístěné elementární sensorické buňky citlivé na světlo – tyčinky a čapíky. Tyčinky umožňují černo-bílé vidění, čapíky jsou zodpovědné za barevné vidění. Barevné vidění můžeme vysvětlit podle Youngově- Helmholtzové teorie, podle které je lidské oko trichromatické, vnímá tedy barvu prostřednictvím tří sensorických mechanismů reprezentovaných čapíky. Každý z těchto třech sensorických mechanismů zodpovídá příslušné křivce citlivosti $\bar{x}(\lambda)$ - pro červenou, $\bar{y}(\lambda)$ - pro zelenou a $\bar{z}(\lambda)$ - pro modrou barvu, která představuje odezvu daného mechanismu na světlo a vlnovou délku λ (typickou pro příslušnou barvu). Funkce $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ nazýváme trichromatické činitele definované CIE roku 1931 a jsou zobrazené na obr. 21.



Obr. 21 Trichromatické činitele – (osa x: λ (nm), osa y: křivka poměrného spektrálního složení barevného podnětu) (<http://fyzika.jreichl.com>)

Barevné souřadnice x, y, z jsou použité na zostřování rovinného diagramu chromatičnosti CIE, jako je znázorněné na obr. 23. Tento diagram je vytvořen na

základě úvahy o aditivním skládání barev třech světél (červené, zelené, a modré barvy), kterých vzájemným mícháním v určitém poměru získáme světlo libovolné barvy.

Tón barvy – je reprezentovaný sytými barvami znázorněnými body na obvodě Diagramu chromatičnosti. Každému tónu odpovídá určitá dominantní vlnová délka světla. Mimo achromatických barev (bílá, černá barva), má tón každá barva.

Sytost – charakterizuje, kolik nepestré (achromatické) složky daná barva obsahuje. Sytost se snižuje, když postupujeme směrem do středu k bílé (neutrální oblasti a uprostřed diagramu se nachází bílá, jedna z achromatických barev. Achromatické barvy mají tedy nulovou sytost.

Diagram chromatičnosti má dvě nezávislé souřadnicové osy. Chromatičnost je dvourozměrná veličina a teda je funkcí dvou proměnných. Může to být x , y nebo tón a sytost, nebo ekvivalentně veličiny definované v barevné rovině. Avšak na komunikaci o barvě to není dostačující, proto bylo potřebné zavést ještě jednu proměnou. Tím je při charakterizování barvy tělesa jeho světlost (která je ekvivalentem jasů). Pomocí světlosti můžeme rozlišovat světlé a tmavé barvy. Čím více světla předmět odráží, tím je barva světlejší.

Pro potřeby vybudování vhodného prostoru pro uspořádání barev tělesa a na překlenutí některých omezení diagramů chromatičnosti, zavedla CIE dvě alternativní barevné prostory:

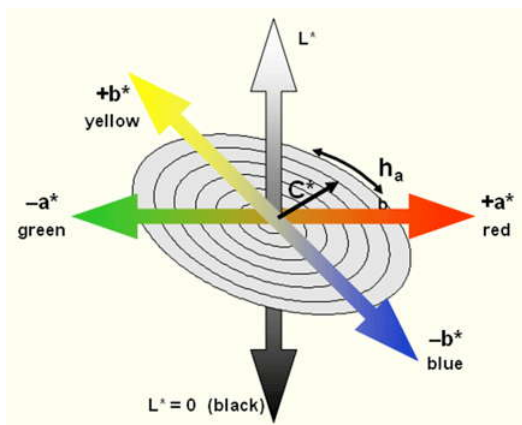
- CIE 1976 L^*a^*b (CIELAB).
- CIE 1976 L^*u^*v (CIELUV).

Konstrukce barevných prostorů CIELAB a CIELUV jsou založené na teorii protikladných barev, která hovoří, že barvu vnímáme v kombinaci vzruchů jako černou a bílou (L), červenou a zelenou (a), a žlutou a modrou (b).

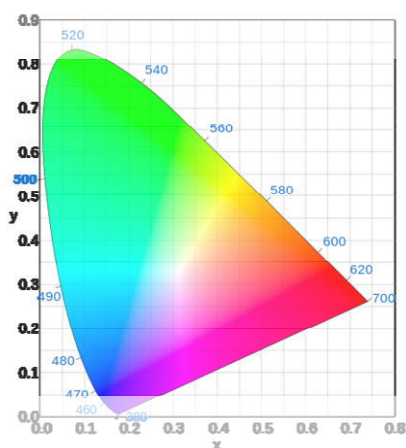
Když je barva vyjádřena v CIELAB, osa L^* určuje světlost, osa a^* hodnotu červená/zelená a osa b^* hodnotu žlutá/modrá.

Na obr. 22 je schématicky znázorněná struktura os systému CIELAB.

(Babiak a kol., 2004)



Obr. 22 Struktura os L^* , a^* , b^* v souřadnicovém systému CIELAB
(<http://www.globalspec.com>)



Obr. 23 Diagram chromatičnosti CIE 1931(x,y)
(<http://www.cie.co.at/cie/>)

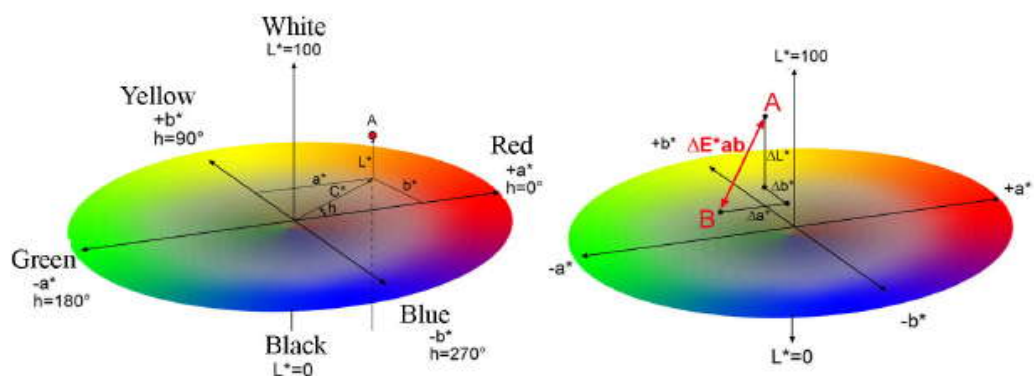
Často používaným pojmem při měření barev je Euklidovská vzdálenost nazývaná barevná odchylka ΔE^* . Používá se na určení odchylky dvou barev. Odchylka do $\Delta E^* \leq 3$ se považuje za shodnou pro pozorovatele neodlišitelnou barvu. Barevná diference ΔE^* mezi barvou dřeviny před sušením a po sušení se stanovuje podle metody CIE 1976 a vypočítává se podle vztahu (Marko, 2008):

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

L - černá až bílá ($\check{c} = 0$, $b = 100$)

a - červená (+60) až zelená (-60)

b - žlutá (+60) až modrá (-60)



Obř. 24 Grafické znázornění Euklidovské vzdálenosti v barevném prostoru CIE $L^*a^*b^*$ (Klement, Marko, 2006)

Barevná diference ΔE^* může být klasifikovaná podle pravidel rozdělení barevných změn uvedených v tab. 2.

Tab. 2 Rozsah barevné diference ΔE^* (Marko, 2008)

$0,2 < \Delta E^*$	Neviditelný rozdíl
$0,2 < \Delta E^* < 2$	Malý rozdíl
$2 < \Delta E^* < 3$	Barevná změna viditelná s vysoko kvalitním filtrem
$3 < \Delta E^* < 6$	Barevná změna viditelná se středně kvalitním filtrem
$6 < \Delta E^* < 12$	vysoké barevní změny
$\Delta E^* > 12$	odlišná barva

5. Metodika práce

5.1 Metodika práce přípravy vzorků

5.1.1 Výběr a příprava vzorků

Výchozí materiál a průběh tepelné úpravy byl zabezpečen docentem Razumovem z katedry dřevozpracujícího průmyslu Fakulty Lesnické VOLGA STATE UNIVERZITY 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 upravily 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.

5.1.2 Tepelné ošetření materiálu

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. 3 Fáze jednotlivých tepelných úprav (Razumov)

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. 25 Pec pro termickou úpravu se vzorky (Razumov)

5.1.3 Stanovení hustoty

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. Změřily digitálním posuvným měřidlem s přesností na 0,01 mm, a také se zvažily na laboratorní váze s přesností na 0,01 g. Hodnoty se zapsaly a výsledná hustota se vypočítala pomocí vzorce $\rho_w = m_w/V_w$.

5.1.4 Měření hustoty

Hustota dřeva je jedna z nejdůležitějších fyzikálních vlastností dřeva. Hustota velkým způsobem ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Měřením hustoty jsme porovnávali hodnoty rostlých vzorků borovice se vzorky tepelně upravenými (160°C, 180°C, 210°C, 240°C). Naměřené hodnoty nám ukazují, že největší hustotu má rostlý materiál a hustota klesá s větším stupněm termické úpravy. (tab. 4)

Tab. 4 Měření 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

5.2 Metodika měření spektrálního složení barev

5.2.1 Popis přístroje

Hodnocení barevných změn tepelně upraveného dřeva se uskutečnilo pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-600d (obr. 26). Osvětlovací systém byl nastavený na režim měření včetně rozptýlených složek (SCI). Měření spektrálního složení barev vycházelo z barevného prostoru CIELAB, kde se vyhodnocovaly souřadnice $L^*a^*b^*$ u vzorků při tepelné úpravě: 160°C, 180°C, 210°C, 240°C a přirozeného dřeva borovice.



Obr. 26 Spektrofotometr Konica Minolta CM-600d (autor)

5.2.2 Příprava před měřením

Pro každou tepelnou úpravu jsem měl k dispozici 2 vzorky o rozměrech 500x100x25 mm. Měřená tělesa byly vymanipulované jako středové radiální řezivo. Ze dvojice vzorků byl vybrán takový vzorek, který neměl příliš velké difference v barvě (jádro versus běl, letokruhy, skvrny). U těchto vybraných vzorků se měřila pouze běl. Na každý vzorek se pro lepší vyznačení umístila nálepka s danou termickou úpravou pro přehlednější orientaci při měření (obr. 27)

5.2.3 Postup experimentálního měření

Každý vzorek byl měřen na třech místech. Snažil jsem se měřit na místech bez velkých barevných odstínů a rovnoměrně přibližně uprostřed a u obou krajů vzorku. Každý vzorek byl tedy měřen na třech místech. Vlastní měření probíhalo tak, že jsem přiložil přístroj rovnoměrně ke vzorku, zmáčknu na několik sekund tlačítko spuštění a následně přístroj vygeneroval požadované veličiny L^* , a^* , b^* . Po každém měření jsem si hodnoty L^* , a^* , b^* zapsal na papír. Ze tří naměřených hodnot pro každý vzorek jsem vypočítal výslednou hodnotu aritmetickým průměrem. Tyto hodnoty jsem následně vyhodnocoval.



Obr. 27 Příprava vzorků pro měření (autor)



Obr. 28 Měření (autor)

5.3 Metodika měření frézování

5.3.1 Popis strojního zařízení pro rovinné frézování

Výzkum diplomové práce probíhal v prostorách truhlárny fakulty Lesnické a dřevařské v Praze. Pro rovinné frézování bylo použita spodní vřetenová frézka FVS, a také podávací zařízení STEFF 2034 (obr. 29). Vzorky termicky upraveného dřeva byly obráběny nesousledným frézováním. Následující tabulky nám popisují základní parametry těchto strojů. (tab. 5 a tab. 6)

Tab. 5 Parametry spodní svislé frézky FVS

Proudová soustava	360/220 (V)
Příkon	4 (kW)
Kmitočet	50 (Hz)
Rok výroby	1975
Výrobce	Československé hudební nástroje Hradec Králové
Otáčky stroje	3000, 4500, 6000, 9000 ot./min
Řezná rychlost	20, 30, 40, 60 (m/s)



Obr. 29 Frézka s podávacím zařízením (autor)

Tab. 6 Parametry podávacího zařízení

Výrobce	MAGGI
Typ	STEFF 2034
Motor	400 (V)
Příkon	0,6 - 0,8 (kW)
Otáčky	1400/2800 ot./min
Podávací rychlost	4, 8, 11, 22 (m/min)
Rok výroby	2005

5.3.2 Popis frézy

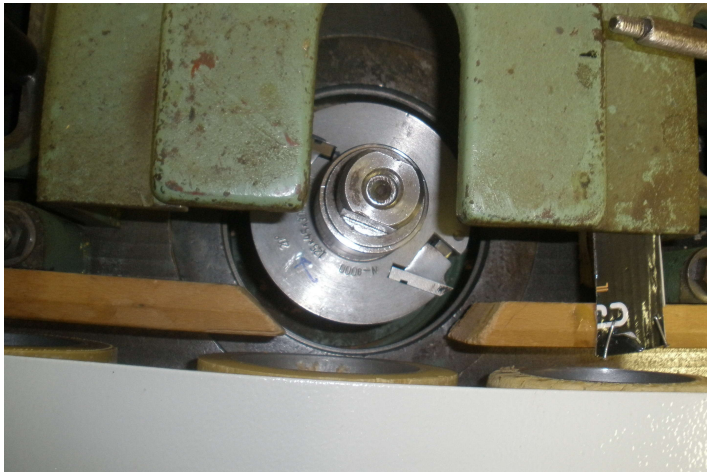
K dispozici pro rovinné frézování jsme měli 3 frézovací hlavy. Každá frézovací hlava byla opatřena dvěma noži. Jeden nůž byl připevněn tak, aby záběr nože byl 1 mm. Druhý nůž byl zasunutý ve frézovací hlavě na doraz. Jeho funkcí bylo pouze vyvážení nástroje. Každá frézovací hlava měla jiný úhel čela (15°, 20°, 25°). Tím se změnila úhlová geometrie nástroje. Nože před osazením do frézovací hlavy byly naostřeny a jejich úhel břitu měl hodnotu 45°.

Tab. 7 Popis frézy

Výrobce	STATON
Průměr frézy	125 (mm)
Šířka frézy	45 (mm)
Průměr upínacího otvoru	30 (mm)
Počet nožů	2
Maximální otáčky	8000 ot./min
Průměr frézy s noži	130 (mm)



Obr. 30 Frézovací hlavy s úhlem čela 15°, 20° uložené v krytu po měření (autor)



Obr. 31 Frézovací hlava s úhlem čela 25° upnutá na frézce při měření (autor)

Tab. 8 Úhlová geometrie frézovacích hlav

Fréza	Úhel čela(α)	Úhel břitu(β)	Úhel hřbetu(χ)	Řezný úhel(δ)
1	15	45	30	75
2	20	45	25	70
3	25	45	20	65

5.3.3 Parametry (faktory) ovlivňující řezné podmínky

Frézování nám ovlivňovalo několik parametrů. První z nich jsou nástrojové parametry jako je úhlová geometrie nástroje, kde úhel čela byl k dispozici u frézovacích hlav 15°, 20°, 25°. Dalšími parametry ovlivňující proces frézování byly technologické parametry jako jsou řezná rychlost, která se nastavovala na 20, 30 a 40 m.s⁻¹ a rychlost posuvu s možností nastavení 4, 8, 11 m.min⁻¹. Výsledná tloušťka úběru byla vždy 1 mm. Pro měření bylo použito 5 vzorků z borovice. Jeden z nich byl rostlý (tepelně neupravený) vzorek a další po termické úpravě 160°C, 180°C, 210°C, 240°C. Po analyzování všech parametrů tedy při frézování vychází 135 různých kombinací povrchů vzorků.

Tab. 9 Parametry (faktory) ovlivňující řezné podmínky

Úhel čela (°)	15, 20, 25
Řezná rychlost (m.s ⁻¹)	20, 30, 40
Rychlost posuvu (m. min ⁻¹)	4, 8, 11
Termická úprava (°C)	rostlý, 160, 180, 210, 240

5.3.4 Popis vlastního frézování

Do spodní vřetenové frézky byla osazena frézovací hlava s úhlem čela 15°. Řezná rychlost byla nastavena na 20 m.s⁻¹ a rychlost posuvu na 4 m.min⁻¹. Při těchto parametrech se odfrézovalo všech 5 vzorků dřeva. Frézování vzorků a měření drsnosti vzorků probíhalo kontinuálně. Po každém odběru vrstvy o tloušťce 1 mm z materiálu u všech vzorků se vzorky přesunuly k drsnoměru a změnila se drsnost povrchu. Po měření drsnosti se vzorky přesunuly zpět ke spodní vřetenové frézce. Tento režim probíhal po celou dobu měření. Při stejném úhlu čela 15° a řezné rychlosti 20 m.s⁻¹ se zvýšila rychlost posuvu na 8 m.min⁻¹, následně se frézovalo všech 5 vzorků a byla změněna drsnost. Potom se zvýšil posuv na 11 m.min⁻¹. Řezná rychlost se přepnula na 30 m.s⁻¹ a vzorky se opět frézovaly s rychlostmi posuvu 4, 8, 11 m.min⁻¹. Tento průběh následoval i při řezné rychlosti 40 m.s⁻¹. Po měření se vyměnila frézovací hlava, která měla úhel čela 20°. Následovalo opět měření při všech kombinacích řezných rychlostí s rychlostmi posuvu. Tento způsob

měření se použil i u poslední frézovací hlavy s úhlem čela 25°. Po ukončení měření se přístroje vypnuly a proces byl ukončen.

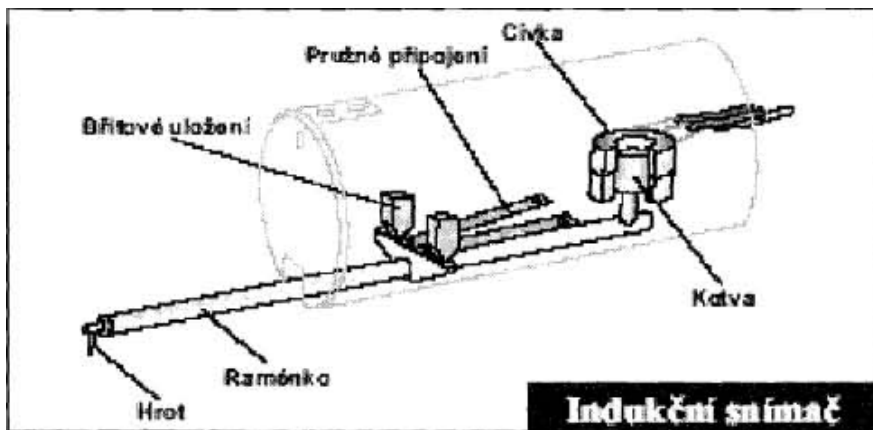


Obr. 32 Vzorky připravené k frézování (autor)

5.4 Metodika měření drsnosti

5.4.1 Popis přístroje pro měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti probíhalo na drsnoměru od firmy Taylor Hobson Form Talysurf Series Intra 2. Přístroj na měření povrchu je přenosný, což usnadňuje práci. Tento přístroj dokáže měřit drsnost, vlnitost nebo rozměrové parametry. Jedná se přístroj s indukčním snímačem. Princip je takový, že je posouván rameno s diamantovým hrotem, který je zasunutý na raménku po povrchu dřeva. Při přechodu prohlubní a výstupků je pohyb diamantového hrotu převeden na elektrický signál.



Obr. 33 Princip indukčního snímače (Dzurenda a kol., 2008)



Obr. 34 Drsnoměr Talysurf Intra 2 (autor)

5.4.2 Postup měření drsnosti povrchu podle ČSN ISO 4288

Vizuální prohlídkou se odhadne parametr drsnosti R_a . Odhadne se základní délka pro R_a odhadnutá v prvním kroku. Přístrojem pro měření, který má již nastaveny hodnoty základní délky se získá měření R_a . Naměřená hodnota R_a se dále porovná s rozsahem hodnot R_a uvedené v tabulce č. 10 odpovídající odhadnuté základní délce. V případě, že naměřené hodnoty jsou mimo rozsah než doporučené v tabulce č. 10, tak se musí nastavit hodnoty na větší nebo menší základní délku. Tímto způsobem se získá reprezentativní měření parametry použitím mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích.

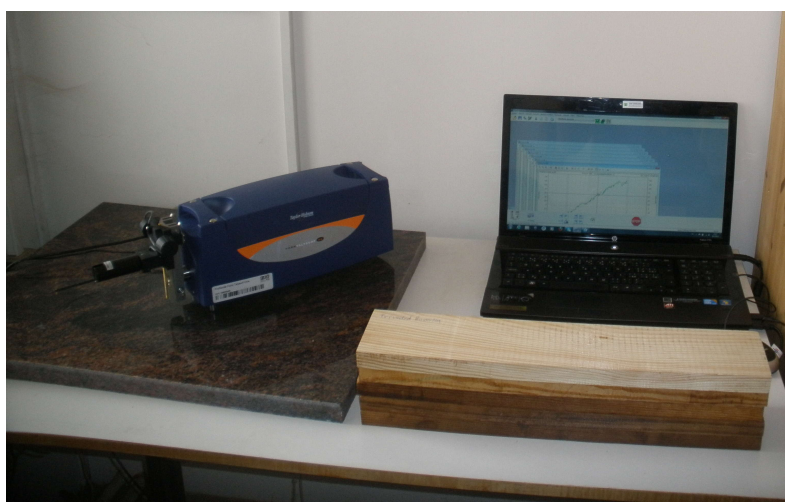
Tab. 10 Doporučené hodnoty cut-off (ISO 4288)

L_c – cut off, l_r – základní délka, L – pojezdová délka

RSm (mm)	Rz (μm)	Ra (μm)	lc (mm)	lr (mm)	L (mm)
0,013 - 0,04	do 0,1	do 0,02	0,08	0,08	0,4
0,04 - 0,13	0,1 - 0,5	0,02 - 0,1	0,25	0,25	1,25
0,13 - 0,4	0,5 - 10	0,1 - 2,0	0,8	0,8	4
0,4 - 1,3	10. - 50	2. - 10	2,5	2,5	12,5
1,3 - 4,0	nad 50	nad 10	8	8	40

5.4.3 Příprava před měřením

Prvním krokem přípravy byla instalace software od firmy Taylor Hobson na počítač a následné propojení počítače s přístrojem. Pracovní plocha se skládala z mramorové desky kvůli stabilitě a vyloučení případných odchylek při měření. 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.



Obr. 35 Propojení počítače s přístrojem (autor)

5.4.4 Nastavení veličin před měřením

Důležitým parametrem pro nastavení je *filtr profilu*. Tento parametr rozčlení podle rozteče nerovností strukturu povrchu na drsnost, vlnitost, tvar. Nastavil se tak, že bude měřena drsnost. Zatímco základní délka l_r je délka kontrolovaného povrchu, tak mezní vlnová délka (cut-off) je softwarová funkce. Podle předběžných hodnot drsností R_a , od 2 do 10 μm . Podle hodnot R_a nám podle tabulky vychází, že mezní vlnová délka (cut off) má hodnotu 2,5 a vyhodnocovaná délka bude mít hodnotu 12,5 mm. Další parametr, který se musel nastavit byla rychlost pojezdu. Zkušební měření se poměřovaly odchylky hodnot drsností R_a podle rychlosti 1 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ a 2 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto hodnoty byly nakonec téměř totožné. Vzhledem k velkému množství kombinací měření jsem se rozhodl pro co nejvyšší rychlost pojezdu (2 mm/s) hlavně z důvodu úspory času. Tolerance pro přechod (délka rozjezdu) se nastavila na 0,3 mm.

Tab. 11 Nastavené veličiny v programu ultra

základní délka l_c	2,5 mm
pojezdová délka L	12,5 mm
rychlost pojezdu	2 mm/s
velkost přechodu	0,3 mm

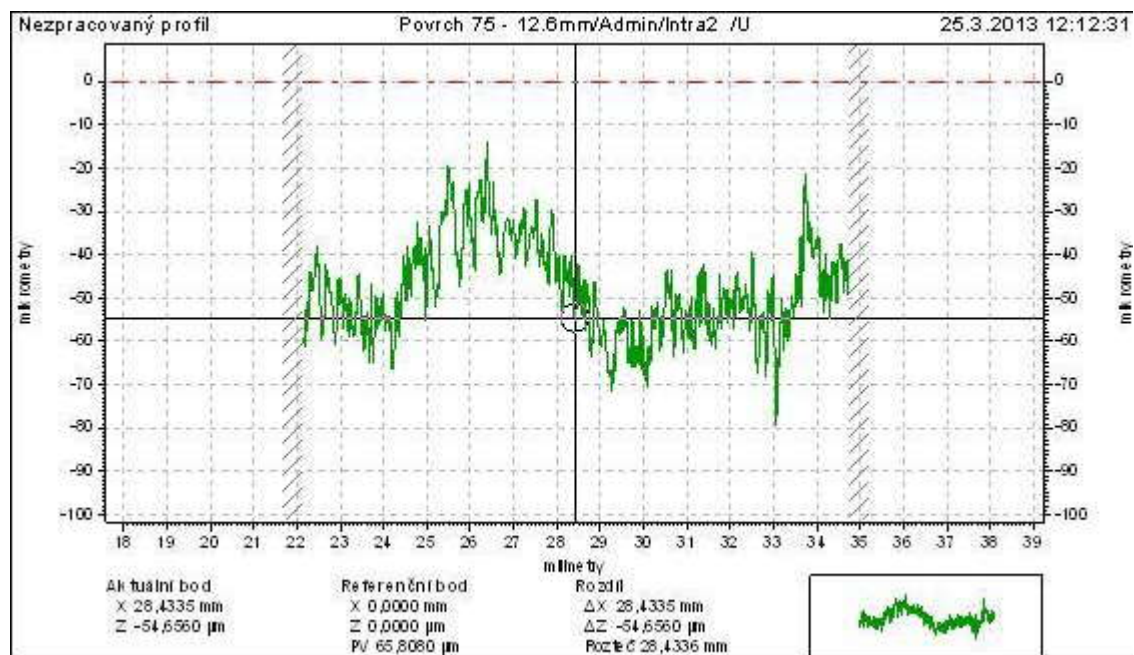
5.4.5 Postup experimentálního měření

Pomocí ruční manipulace se rameno se snímacím (měřícím) hrotem umístilo na povrchu vzorku na předem vyznačené místo (60 mm od hrany) a přibližně uprostřed šířky vzorku. Tlak dotyku hrotu k povrchu vzorku se vždy nastavil na střední velikost. Tlačítkem GO se aktivovalo měření, kdy hrot přejížděl po povrchu vzorku nastavenou rychlostí pojezdu, zaznamenával nerovnosti a všechny veličiny nakonec vyhodnotil do grafu nazývaným „Nezpracovaný profil“. Za okamžik se ukázal další graf, který byl pojmenovaný jako „Nezměněný profil“. U druhého grafu se odfiltroval sklon při měření a dále zde byly vyhodnoceny veličiny, které jsme si před měřením zde mohli zadat, v našem případě hodnota R_a . Výsledky a grafy byly ukládány do počítače. Hodnoty drsností R_a jsem si raději i napsal na papír. Ruční manipulací vyjel snímací hrot nahoru, vzorek se obrátil a měření začalo znovu na druhém místě (60 mm od

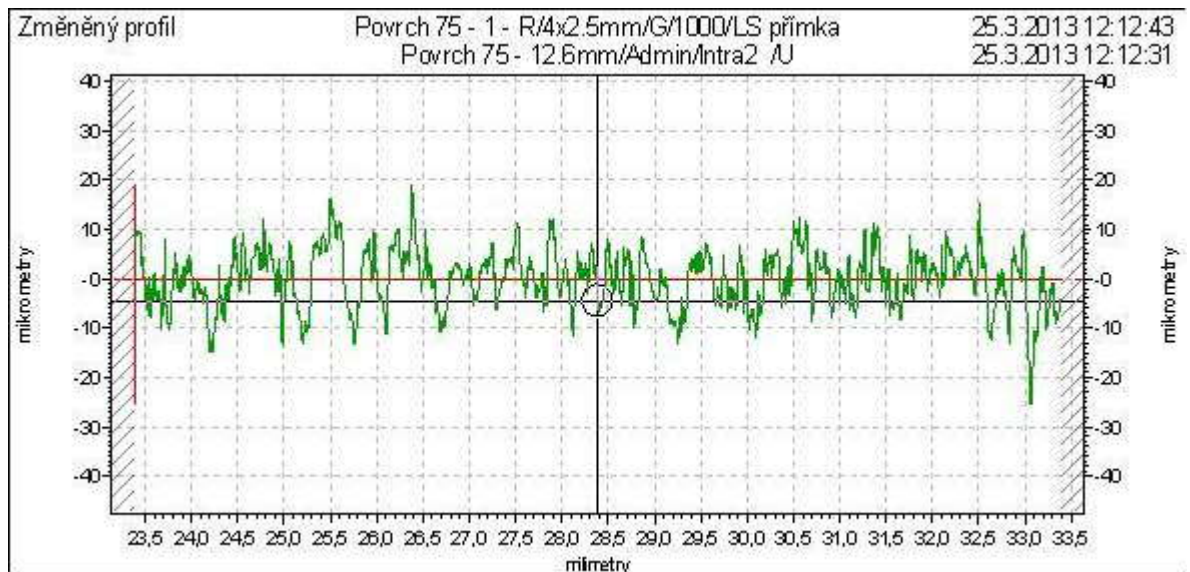
kraje). Tímto způsobem se naměřili postupně všechny kombinace vzorků. Samozřejmostí byla skutečnost, že během měření se musely odbourat všechny rušivé elementy jako jsou vibrace, které by nám mohly zkreslit naměřené výsledky



Obr. 36 Detail měřícího hrotu při měření (autor)



Graf 2 Zaznamenané nerovnosti v grafickém provedení (výstup programu Ultra)



Graf 3 Odfiltrování sklonu na stejném vzorku (výstup programu Ultra).



Obr. 37 Průběh měření drsnosti (autor)

6. Interpretace výsledků

6.1 Výsledky měření koloristiky

Z naměřených hodnot vyplývá, že při termických úpravách došlo k výraznému zbarvení vzorků. K největší změně dochází při porovnání vzorků rostlého dřeva a vzorků s termickou úpravou 160°C. Hodnota souřadnice L reprezentující světlost se s rostoucí teplotou při termické úpravě snižuje. Můžeme si všimnout, že mezi vzorky při teplotách 180°C a 210°C není veliký rozdíl ve světlosti. Barevné spektrum reprezentují hodnoty a^* a b^* . Znamená to, že barva jde do červena a do žluta. Obě hodnoty se při termické úpravě dřeva zvýšily. Čím vyšší stupeň tepelné úpravy, tím se tyto hodnoty mírně snižují.

Na vyhodnocení barevných změn při jednotlivých tepelných úpravách vzorků jsme použili Euklidovskou vzdálenost. Podle tabulky č. 2 mezi vzorkem přirozeného dřeva a vzorkem s úpravou 160°C, a také mezi vzorky 160° a 180 °C vychází „odlišná změna barvy“. Mezi vzorky 180°C a 210°C je výsledkem „barevná změna viditelná středně kvalitním filtrem“. A mezi vzorky 210°C a 240°C nám barevná odchylka popisuje „vysokou změnu barvy“. Tyto hodnoty samozřejmě souvisí s teplotními režimy tepelně upraveného dřeva.

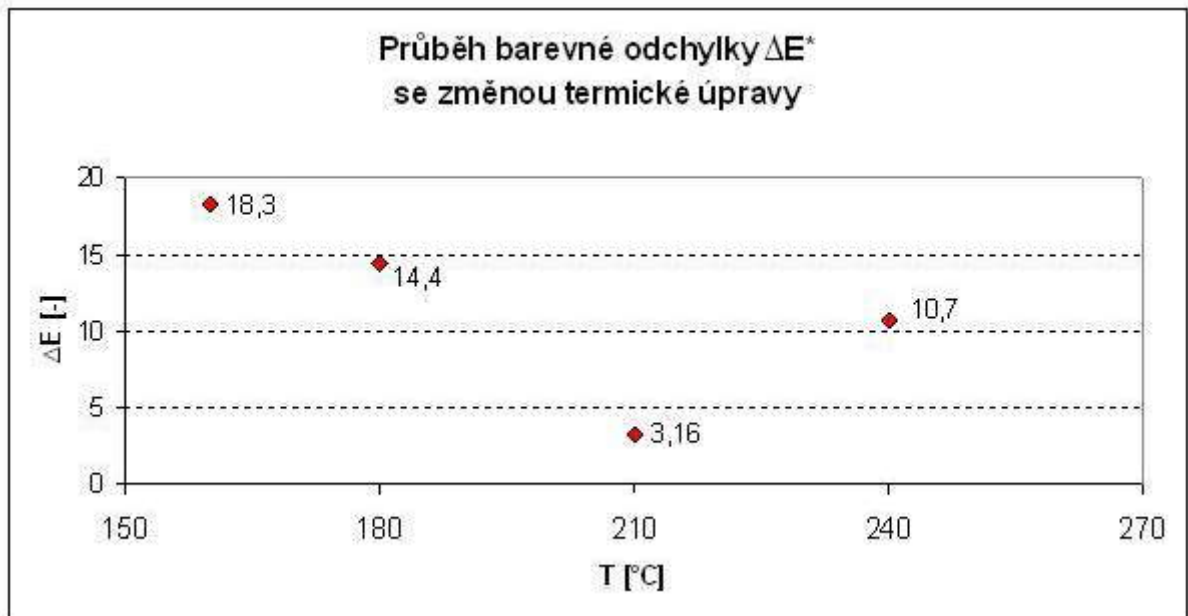
Tab. 12 Změna barvy dřeva (hodnoty naměřených barevných souřadnic)

Tepelná úprava:	L	a	b	ΔE^*
přírodní borovice	84,12	4,1	23,52	
160°C	63,04	10,32	26,47	18,3
180°C	48,72	10,56	22,6	14,4
210°C	46,22	9,97	20,63	3,16
240°C	36,94	8,86	15,11	10,7

Tab. 2 Rozsah barevné difference ΔE^* (Marko, 2008)

$0,2 < \Delta E^*$	Neviditelný rozdíl
$0,2 < \Delta E^* < 2$	Malý rozdíl
$2 < \Delta E^* < 3$	Barevná změna viditelná s vysoko kvalitním filtrem
$3 < \Delta E^* < 6$	Barevná změna viditelná se středně kvalitním filtrem
$6 < \Delta E^* < 12$	vysoké změny barvy
$\Delta E^* > 12$	odlišná barva

Tab. 13 Závislost ΔE na termické úpravě.

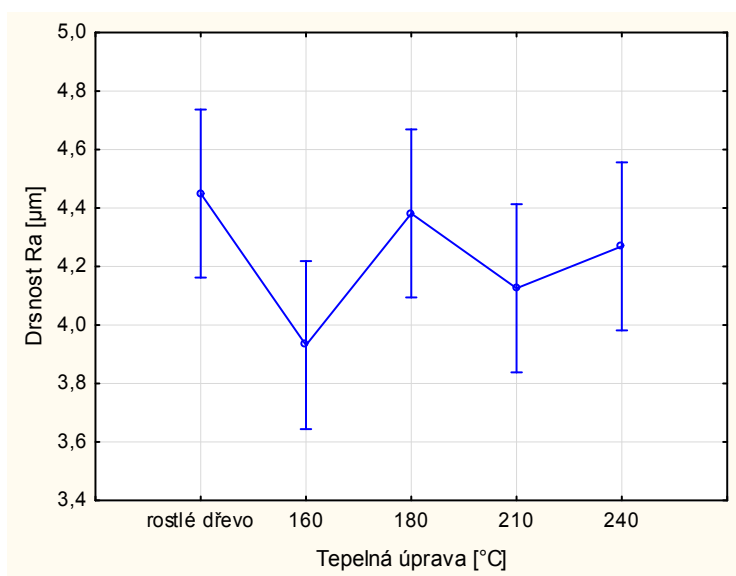


6.2 Výsledky měření drsnosti

Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu MS Excel a dále byly převedeny do programu Statistica 10. V programu se z naměřených hodnot vygenerovaly vícefaktorovou analýzou rozptylu grafy a závislosti.

6.2.1. Vliv tepelné úpravy na drsnost povrchu

Vliv tepelné úpravy materiálu na drsnost povrchu vzorků při procesu frézování hraje jednu z nejpodstatnějších úloh. Porovnáváme mezi sebou vzorky přírodní (rostlé) borovice se vzorky borovice termicky upravené na 160°C, 180°C, 210°C, 240°C. Tabulka č. 4 z kapitoly 5.1.4 nám ukazuje, že s vyšší teplotou termické úpravy se snižuje hustota, a tím se mění fyzikální a mechanické vlastnosti, které mají velký vliv na měření drsnosti povrchu.



Graf 4 Analýza drsnosti v závislosti na tepelné úpravě materiálu

Z grafu č. 4 lze vyčíst, že drsnost se velmi liší podle stupňů termické úpravy. Nejvyšší drsnost povrchu se projevuje u vzorků rostlého dřeva, a také u vzorků s úpravou 180°C. Nejnižší drsnost je naopak u termické úpravy 160°C. Z celkového měřítka vidíme mírný pokles drsnosti u vzorků termicky upraveného dřeva oproti rostlému materiálu.

Tab. 14 Procentuální změna průměrné drsnosti povrchu v závislosti na termické

úpravě při různých variantách rychlosti posuvu, řezné rychlosti a úhlu čela

V_f [m.min ⁻¹]	γ [°]	rostlé	160 °C	180°C	210°C	240°C	změna [%]	změna [%]	změna [%]	změna [%]
		Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]				
4	15	3,87	3,64	3,92	3,61	4,24	-5,94	1,29	-6,72	9,56
8		4,39	3,73	5,85	4,49	4,51	-4,6	33,26	2,28	2,73
11		3,91	3,69	4,52	3,34	4,28	-5,63	15,6	-14,5	9,46
4	20	4,64	4,39	4,05	3,91	4,47	-5,39	-12,7	-15,73	-3,66
8		5,07	4,29	4,55	4,27	4,46	-15,38	-10,26	-15,78	-12,03
11		4,41	4,6	3,99	4,13	4,89	4,31	-9,52	-6,35	10,88
4	25	4,57	3,87	3,79	3,85	3,46	-15,32	-17,7	-15,75	-24,29
8		4,06	4,13	4,33	3,43	3,92	1,72	6,65	-15,52	-3,45
11		5,07	3,64	4,41	4,9	4,19	-28,21	-13,02	-3,35	-17,3
Průměrná změna:							-8,27	0,71	-10,15	-3,12

V_f [m.min ⁻¹]	V_c [m.s ⁻¹]	rostlé	160 °C	180°C	210°C	240°C	změna [%]	změna [%]	změna [%]	změna [%]
		Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]				
4	20	4,48	3,89	3,88	3,71	3,66	-13,17	-13,21	-17,98	-18,3
8		4,87	4,09	5,23	4,23	4,64	-16,02	7,39	-13,14	-4,72
11		4,69	4,16	4,71	4,48	4,78	-11,3	0,43	-4,48	1,92
4	30	4,79	3,93	3,99	3,65	3,94	-17,95	-16,71	-23,8	-17,75
8		3,91	4,1	5,78	4,44	4,31	4,86	47,83	13,55	10,23
11		4,22	4,15	4,55	4,81	4,49	-1,66	7,82	13,98	6,4
4	40	3,79	3,49	3,87	3,98	4,56	-7,92	2,11	5,01	20,13
8		4,74	3,88	3,74	3,54	3,94	-18,14	-21,11	-25,3	-16,88
11		4,5	3,63	3,64	4,18	4,07	-19,33	-19,11	-7,11	-9,56
Průměrná změna:							-11,18	0,51	-6,57	-3,17

V_c [m.s ⁻¹]	γ [°]	rostlé	160 °C	180°C	210°C	240°C	změna [%]	změna [%]	změna [%]	změna [%]
		Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]	Ra [μm]				
20	15	4,13	3,6	5,52	4,1	4,88	-12,83	33,66	-0,73	18,16
30		4,02	4,13	5,1	4,56	4,21	2,74	26,87	13,43	4,73
40		4,02	3,29	3,65	3,89	3,94	-18,16	-9,21	-3,23	-1,99
20	20	5,13	4,76	3,92	4,19	4,68	-7,21	-23,59	-18,3	-8,77
30		4,46	4,02	4,86	3,79	4,25	-9,86	8,97	-15,02	-4,71
40		4,52	3,92	3,82	4,31	4,66	-13,27	-15,49	-4,65	3,1
20	25	4,77	3,77	4,37	4,12	3,53	-20,96	-8,39	-13,63	-26
30		4,44	4,08	4,37	4,56	4,29	-8,11	-1,56	2,7	-3,38
40		4,51	3,79	3,79	3,49	3,74	-15,96	-15,96	-22,62	-17,07
Průměrná změna:							-11,51	-0,52	-6,89	-4,33

Tabulka č. 14 se skládá ze tří částí, kde jsou vypsány kombinace jednotlivých parametrů tedy hodnoty potřebné pro analýzu těchto faktorů pro drsnost materiálu. Pravá část tabulky nám vždy ukazuje změnu určité termické úpravy vždy od vzorku rostlého dřeva. Tím docílíme velikost změny drsnosti povrchu vzorků každé termické úpravy s přírodním rostlým materiálem.

Shrnutí

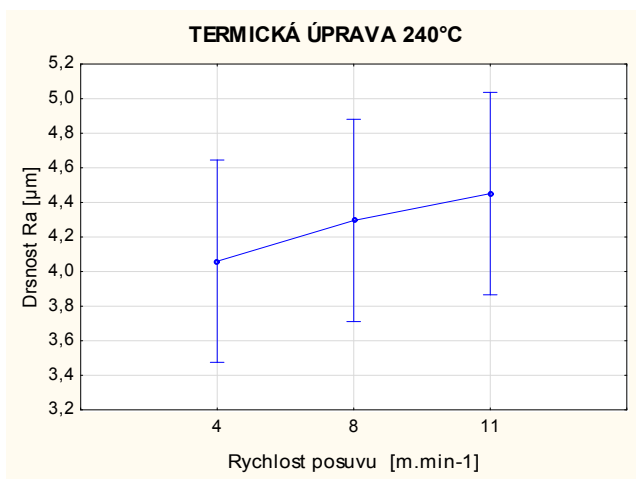
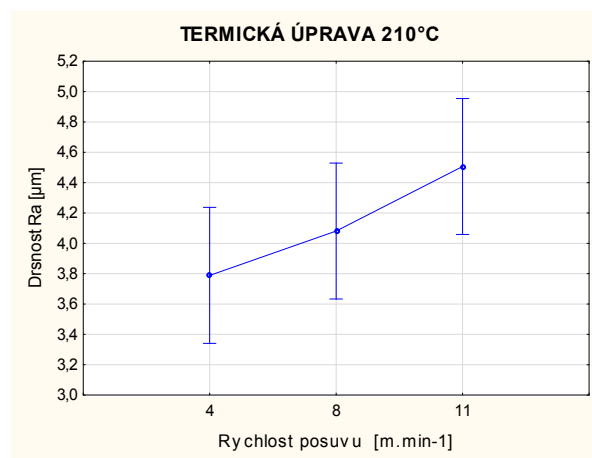
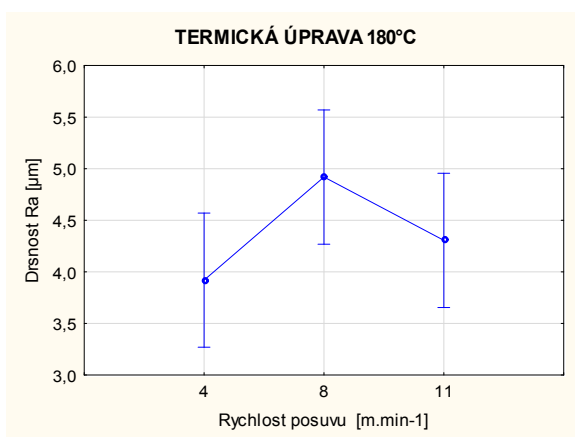
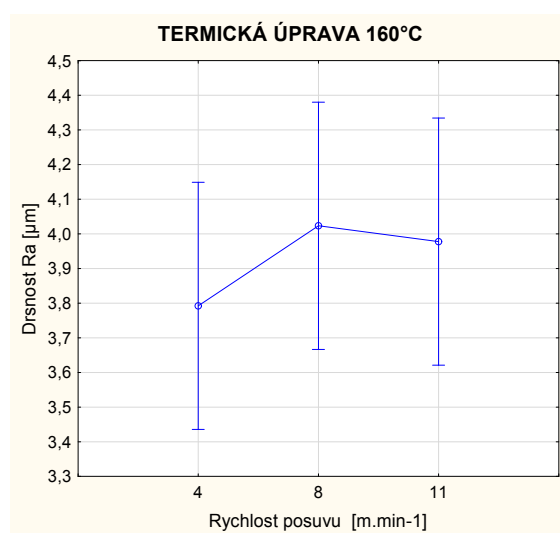
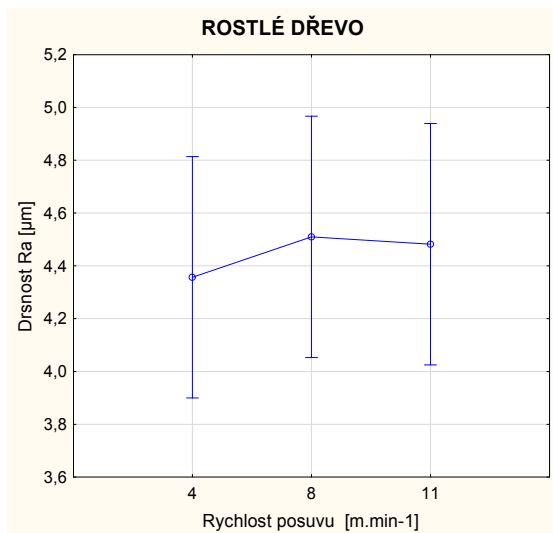
Zejména tabulka č. 14 nám ukazuje, že největší změna drsnosti závislá na materiálu (termické úpravě) se nejvíce projevuje u vzorků při termické úpravě 160°C, kde vidíme rozdíl okolo 11 procent v porovnání s rostlým materiálem. Podobná změna drsnosti nastala i u termické úpravy 210 °C. Naopak téměř identické hodnoty drsnosti s rostlým materiálem vykazuje termická úprava 180°C. Závěrem mohu konstatovat, že drsnost materiálu se při termické modifikaci dřeva snižuje, v našem případě nikoliv konstantně.

6.2.2 Vliv rychlosti posuvu na drsnost povrchu

Další z faktorů, který ovlivňuje drsnost povrchu materiálu je rychlost posuvu. Graf 5 nám ukazuje, že při zvýšení rychlosti posuvu se zvyšuje i drsnost povrchu. Nejvyšší nárůst drsnosti je při přechodu rychlosti posuvu ze 4 m.min⁻¹ na 8 m.min⁻¹ u všech variant. U rostlého dřeva vidíme mírný nárůst drsnosti při zvýšení rychlosti posuvu s průměrnou změnou okolo 5 %, u termického dřeva 180°C je tento nárůst markantnější okolo 26 %. U vzorků s termickou úpravou 210°C a 240°C dochází i k dalšímu nárůstu z rychlosti posuvu 8 m.min⁻¹ na 11 m.min⁻¹, zatímco u zbylých vzorků došlo k mírnému poklesu drsnosti.

Shrnutí

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.



Graf 5 Analýza rozptylu pro závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu

Tab. 15 Procentuální změna průměrné drsnosti povrchu a rychlosti posuvu při různých kombinacích úhlu čela a řezné rychlosti

Rostlé dřevo							
V_c [m.s ⁻¹]	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	8m.min ⁻¹	11m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	4,48	4,87	8,71	20	4,87	4,69	-3,7
30	4,79	3,9	-18,6	30	3,9	4,22	8,21
40	3,79	4,75	25,3	40	4,75	4,51	-5,1
Průměrná změna:			5,15	Průměrná změna:			-0,18

TERMICKÁ ÚPRAVA 160°C							
V_c [m.s ⁻¹]	4m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	3,83	4,09	6,79	20	4,09	4,16	1,71
30	3,97	4,1	3,27	30	4,1	4,15	1,22
40	3,49	3,88	11,2	40	3,88	3,63	-6,4
Průměrná změna:			7,08	Průměrná změna:			-1,2

TERMICKÁ ÚPRAVA 180°C							
V_c [m.s ⁻¹]	4m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	8m.min ⁻¹	11m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	3,88	5,23	34,8	20	5,23	4,71	-9,4
30	3,93	5,78	47,1	30	5,78	4,55	-21
40	3,87	3,74	-3,36	40	3,74	3,64	-2,7
Průměrná změna:			26,1	Průměrná změna:			-11,1

TERMICKÁ ÚPRAVA 210°C							
V_c [m.s ⁻¹]	4m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	8m.min ⁻¹	11m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	3,71	4,22	13,8	20	4,22	4,48	6,16
30	3,65	4,44	21,6	30	4,44	4,81	8,33
40	3,97	3,53	-11,1	40	3,53	4,18	18,4
Průměrná změna:			8,1	Průměrná změna:			10,96

TERMICKÁ ÚPRAVA 240°C							
V_c [m.s ⁻¹]	4m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	8m.min ⁻¹	11m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	3,66	4,64	28,9	20	4,64	4,79	3,23
30	3,94	4,31	9,39	30	4,31	4,49	4,18
40	4,56	3,94	-13,6	40	3,94	4,07	3,3
Průměrná změna:			8,22	Průměrná změna:			3,53

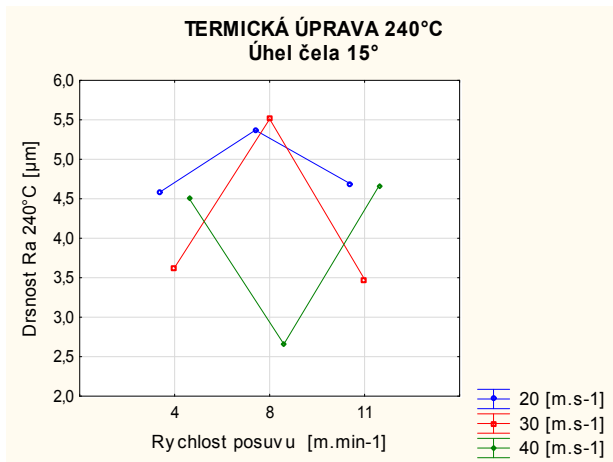
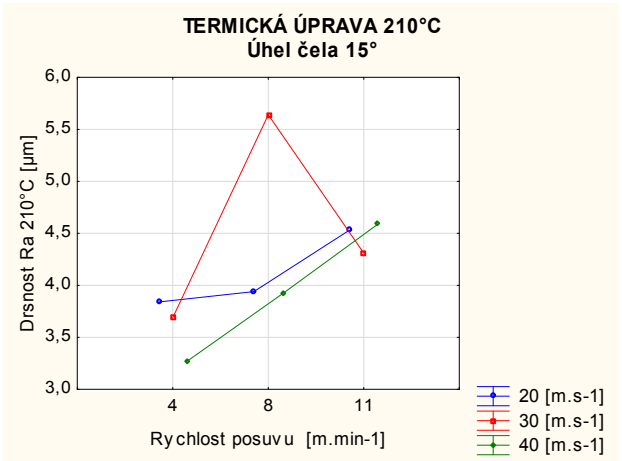
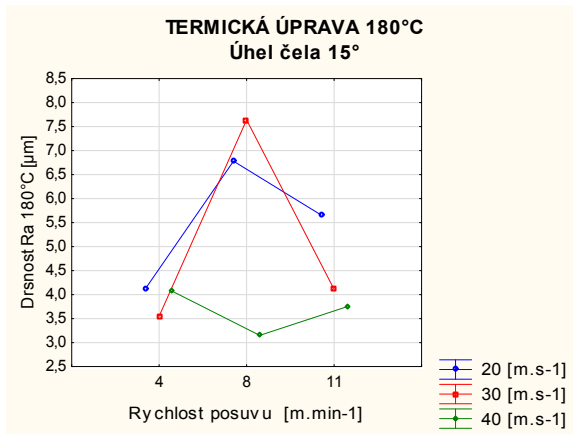
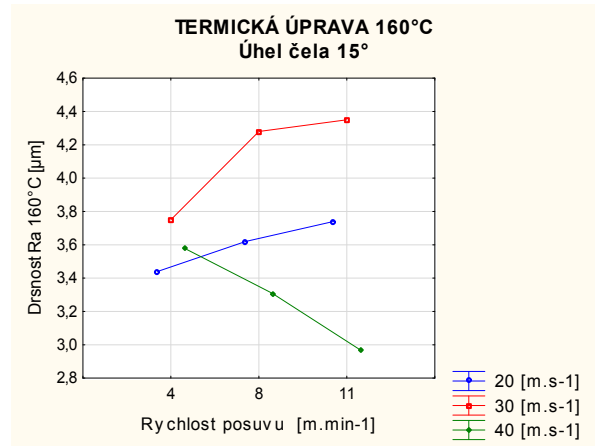
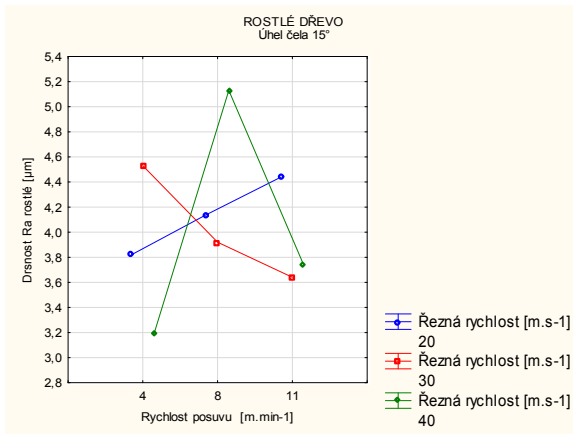
Rostlé dřevo							
γ [°]	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	γ [°]	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	3,85	4,39	14,03	15	4,39	3,94	-10,25
20	4,64	5,07	9,27	20	5,07	4,41	-13,02
25	4,59	4,06	-11,55	25	4,06	5,07	24,88
Průměrná změna:			0,58	Průměrná změna:			0,53

TERMICKÁ ÚPRAVA 160°C							
γ [°]	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	$\bar{\gamma}$ [°]	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	3,59	3,74	4,18	15	3,74	3,67	-1,87
20	3,89	4,2	7,97	20	4,2	4,61	9,76
25	3,88	4,13	6,44	25	4,13	3,64	-11,86
Průměrná změna:			6,19	Průměrná změna:			1,32

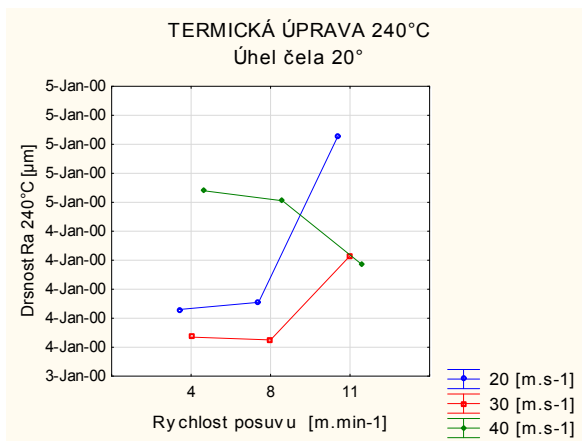
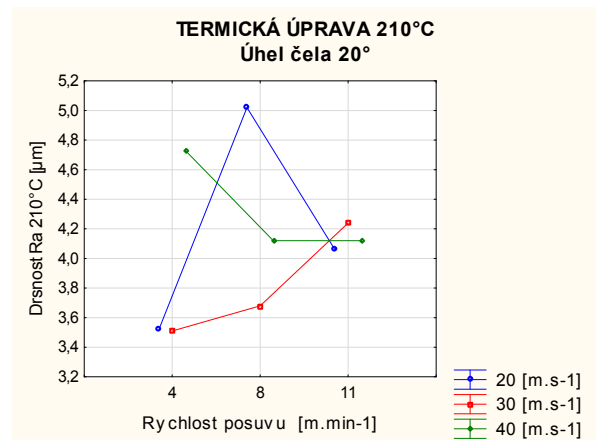
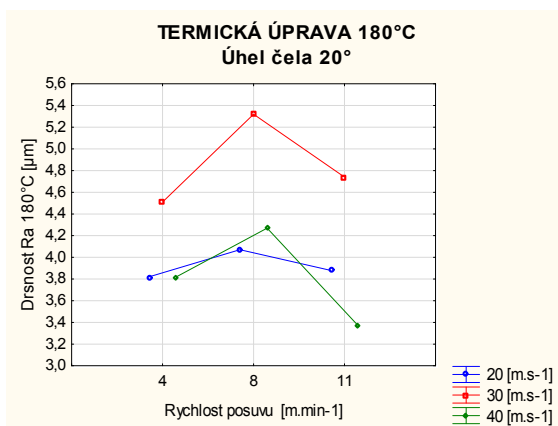
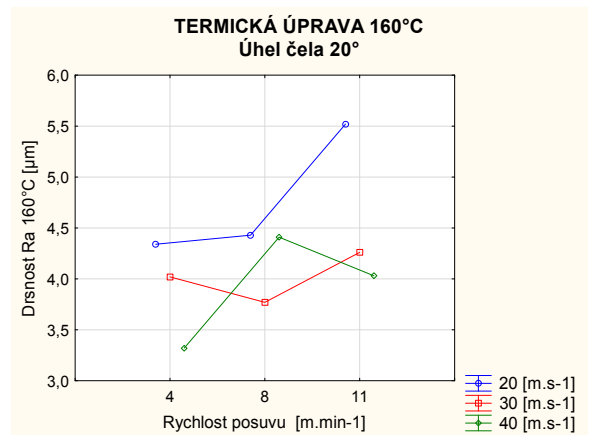
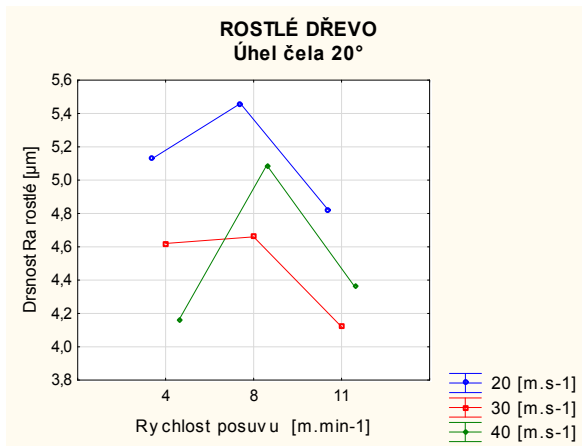
TERMICKÁ ÚPRAVA 180°C							
γ [°]	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	γ [°]	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	3,92	5,86	49,49	15	5,86	4,5	-23,21
20	4,05	4,55	12,35	20	4,55	3,99	-12,31
25	3,79	4,35	14,78	25	4,35	4,4	1,15
Průměrná změna:			25,54	Průměrná změna:			-11,46

TERMICKÁ ÚPRAVA 210°C							
γ [°]	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	γ [°]	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	3,6	4,49	24,72	15	4,49	4,45	-0,89
20	3,77	4,27	13,26	20	4,27	4,46	4,45
25	3,85	3,43	-10,91	25	3,43	4,9	42,86
Průměrná změna:			9,02	Průměrná změna:			15,47

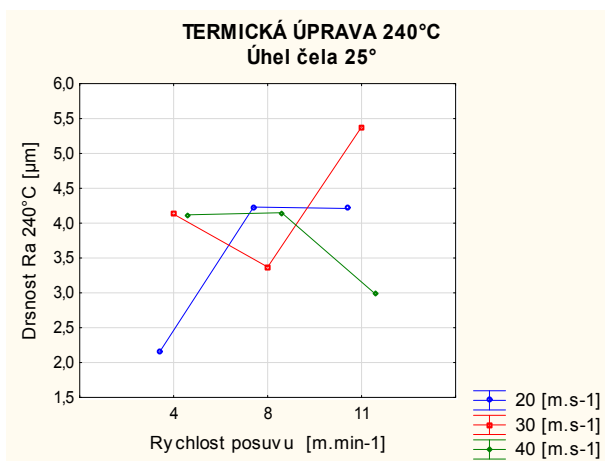
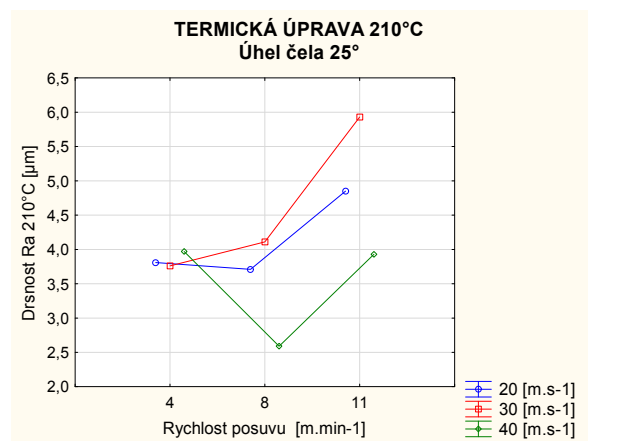
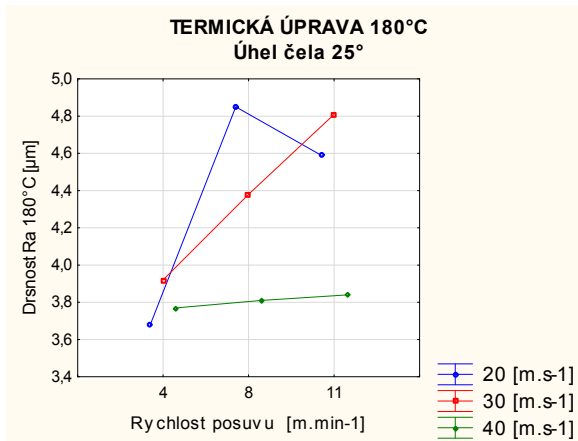
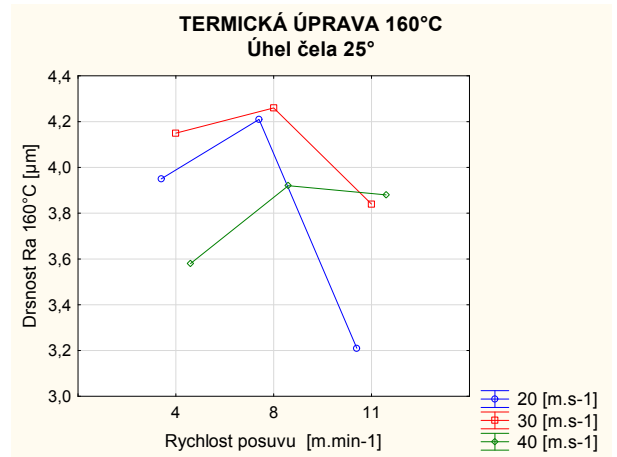
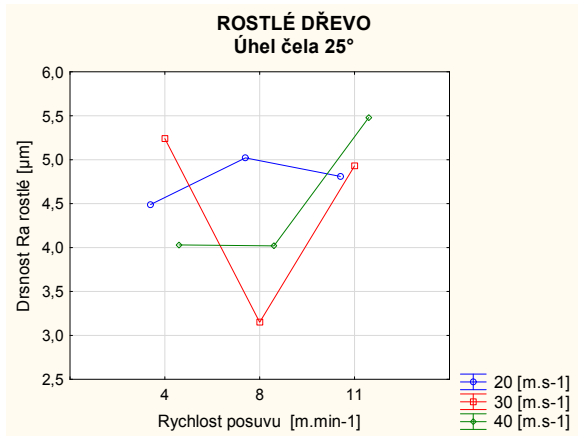
TERMICKÁ ÚPRAVA 240°C							
γ [°]	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	změna [%]	γ [°]	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	4,24	4,51	6,37	15	4,51	4,28	-5,1
20	4,47	4,46	-0,22	20	4,46	4,89	9,64
25	3,46	3,92	13,29	25	3,92	4,19	6,89
Průměrná změna:			6,48	Průměrná změna:			3,81



Graf 6 Závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu při různých variantách řezné rychlosti, termické úpravy při úhlu čela 15°.



Graf 7 Závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu při různých variantách řezné rychlosti, termické úpravy při úhlu čela 20°.

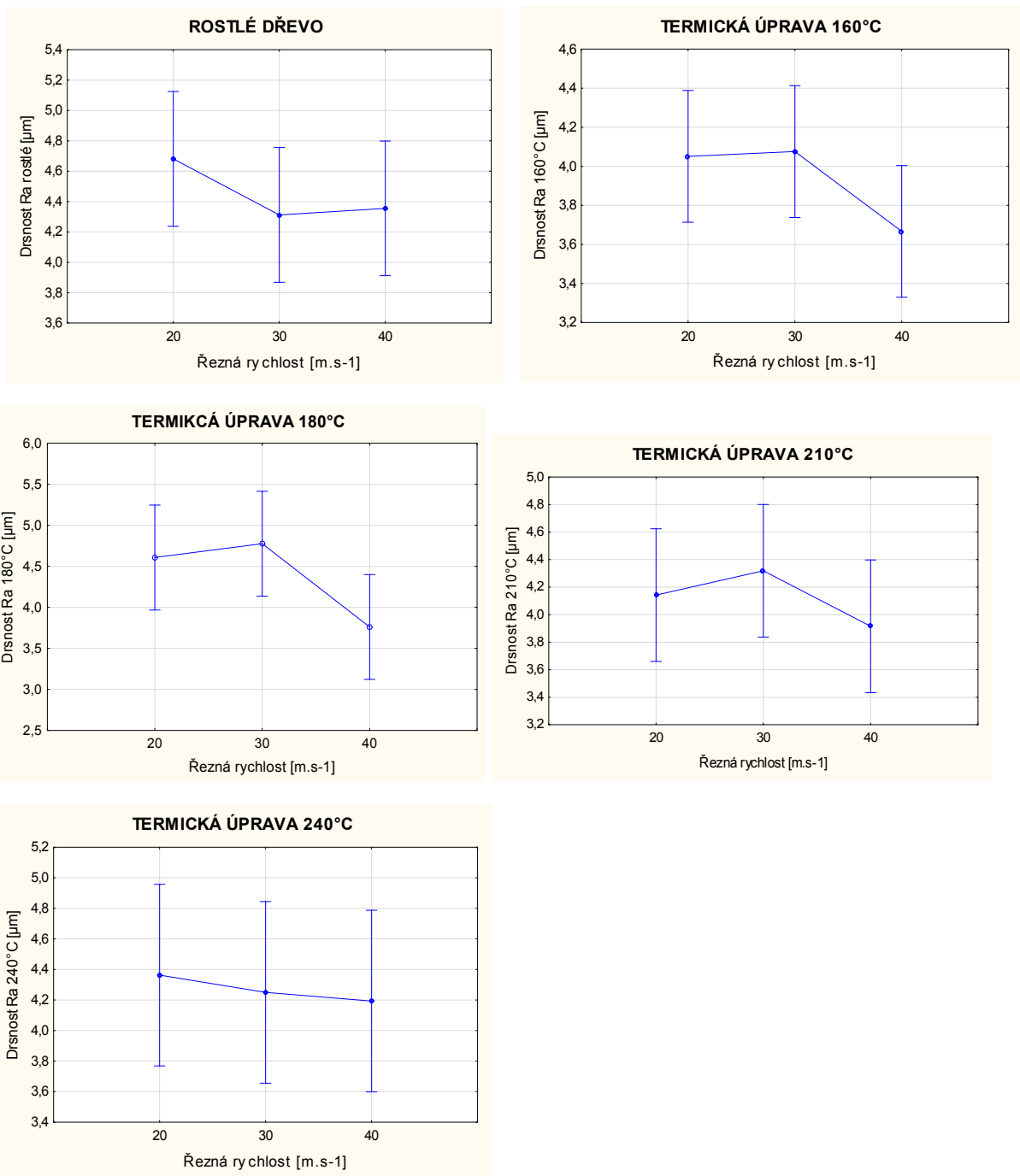


Graf 8 Závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu při různých variantách řezné rychlosti, termické úpravy při úhlu čela 25°.

6.2.3 Vliv řezné rychlosti na drsnost povrchu

Další z vlivů při měření drsnosti povrchu vzorků při rovinném frézování je řezná rychlost. Řezná rychlost se měnila ve třech hodnotách 20, 30 a 40 m.s⁻¹

Z celkového měřítka se drsnost povrchu snižuje se zvyšující se řeznou rychlostí. Hlavní důvod je ten, že při vyšší řezné rychlosti se zrychluje úběr materiálu, a tím by měl být povrch obrobené plochy hladší (nižší drsnost).



Graf 9 Analýza rozptylu pro závislost drsnosti povrchu v závislosti na řezné rychlosti během celého měření.

Tab. 16 Procentuální změna průměrného řezného příkonu u řezných rychlostí při různých kombinacích rychlostí posuvu a úhlu čela.

Rostlé dřevo							
V_f [m.min ⁻¹]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	4,48	4,79	6,92	4	4,79	3,79	-20,88
8	4,87	3,9	-19,92	8	3,9	4,75	21,79
11	4,69	4,22	-10,02	11	4,22	4,51	6,87
Průměrná změna:			-7,67	Průměrná změna:			2,59

TERMICKÁ ÚPRAVA 160°C							
V_f [m.min ⁻¹]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,89	3,97	2,06	4	3,97	3,49	-12,09
8	4,09	4,11	0,49	8	4,11	3,88	-5,6
11	4,16	4,15	-0,24	11	4,15	3,63	-12,53
Průměrná změna:			0,77	Průměrná změna:			-10,07

TERMICKÁ ÚPRAVA 180°C							
V_f [m.min ⁻¹]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,88	3,99	2,84	4	3,99	3,89	-2,51
8	5,23	5,78	10,52	8	5,78	3,75	-35,12
11	4,71	4,55	-3,39	11	4,55	3,64	-20
Průměrná změna:			3,32	Průměrná změna:			-19,21

TERMICKÁ ÚPRAVA 210°C							
V_f [m.min ⁻¹]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,72	3,65	-1,88	4	3,65	3,98	9,04
8	4,22	4,44	5,21	8	4,44	3,54	-20,27
11	4,48	4,81	7,37	11	4,81	4,18	-13,1
Průměrná změna:			3,56	Průměrná změna:			-8,11

TERMICKÁ ÚPRAVA 240°C							
V_f [m.min ⁻¹]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,67	3,94	7,36	4	3,94	4,56	15,74
8	4,64	4,31	-7,11	8	4,31	3,94	-8,58
11	4,79	4,49	-6,26	11	4,49	4,07	-9,35
Průměrná změna:			-2	Průměrná změna:			-0,73

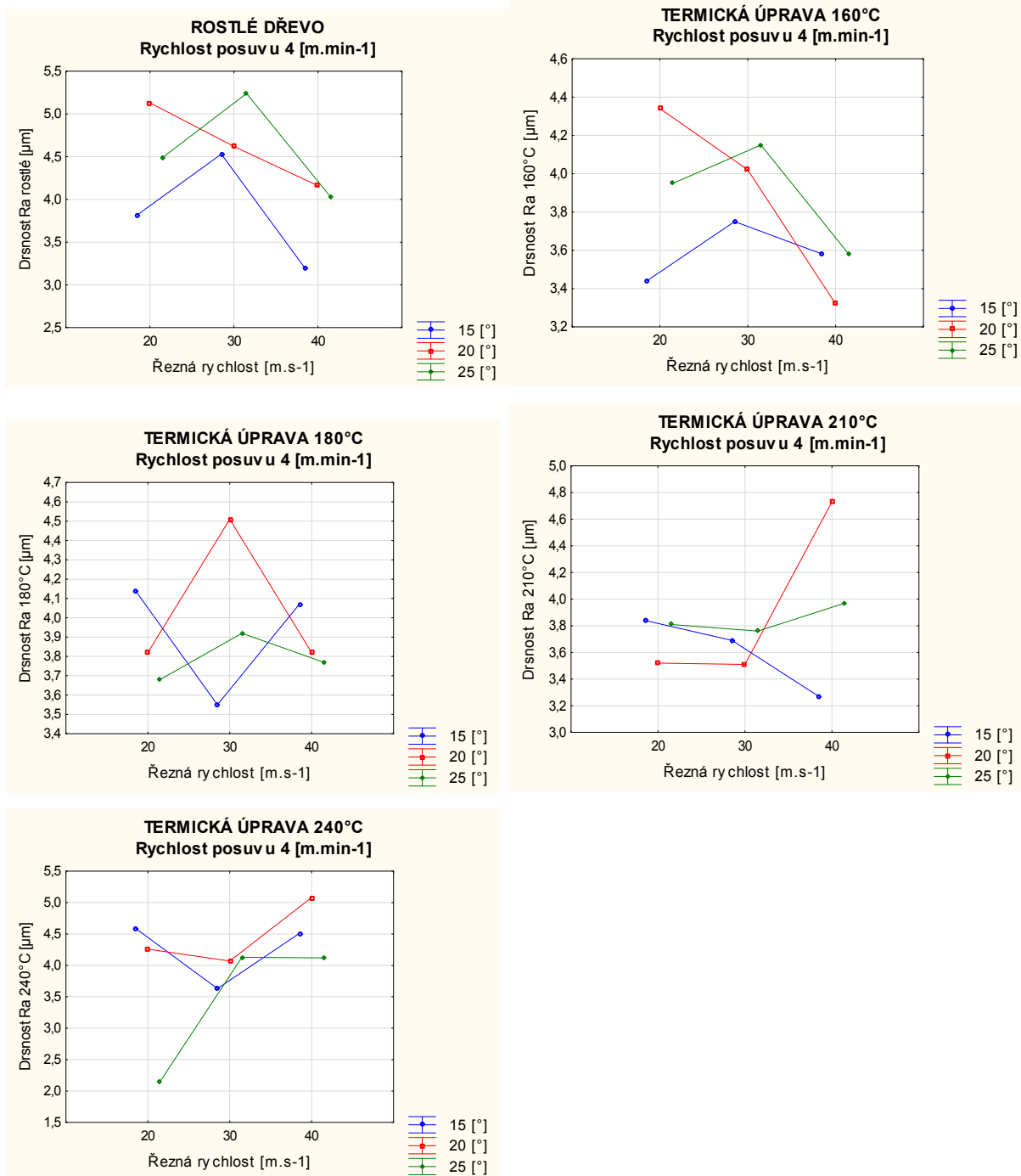
Rostlé dřevo							
γ [°]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	γ [°]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	4,14	4,03	-2,66	15	4,03	4,02	-0,025
20	5,14	4,46	-13,23	20	4,46	4,52	1,35
25	4,77	4,44	-6,92	25	4,44	4,51	4,58
Průměrná změna:			-7,6	Průměrná změna:			1,97

TERMICKÁ ÚPRAVA 160°C							
γ [°]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	γ [°]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	3,6	4,13	14,72	15	4,13	3,29	-20,34
20	4,76	4,02	-15,55	20	4,02	3,92	-2,48
25	3,77	4,08	8,22	25	4,08	3,92	-3,92
Průměrná změna:			2,46	Průměrná změna:			-8,91

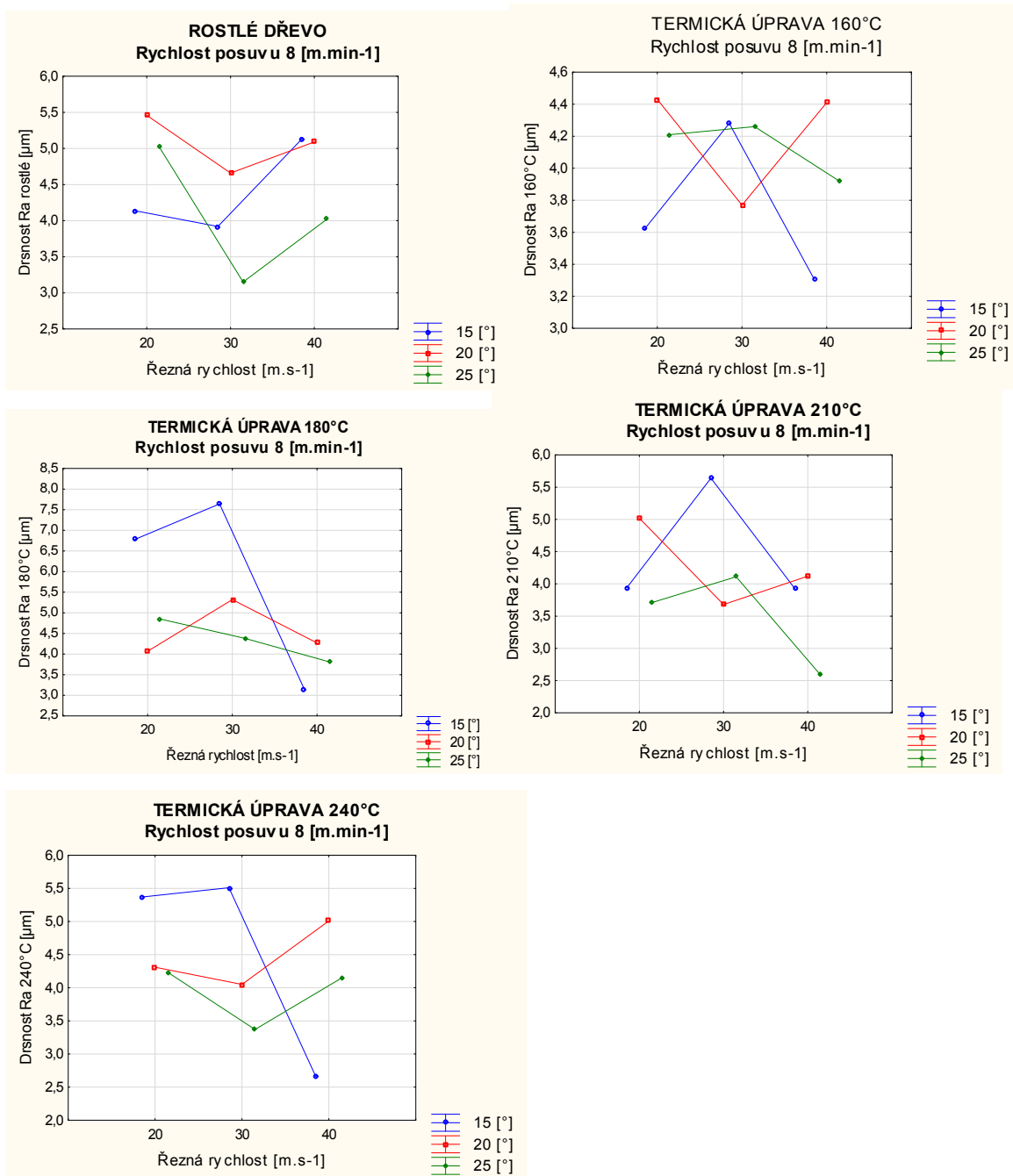
TERMICKÁ ÚPRAVA 180°C							
$\square \gamma$ [°]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	γ [°]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	5,53	5,1	-7,78	15	5,1	3,66	-28,24
20	3,92	4,86	23,98	20	4,86	3,82	-21,44
25	4,37	4,37	0	25	4,37	3,79	-13,27
Průměrná změna:			5,4	Průměrná změna:			-20,98

TERMICKÁ ÚPRAVA 210°C							
γ [°]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	γ [°]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	4,1	4,55	10,98	15	4,55	3,89	-14,51
20	4,19	3,79	-9,55	20	3,79	4,31	13,72
25	4,12	4,56	10,68	25	4,56	3,49	-23,46
Průměrná změna:			4,04	Průměrná změna:			-8,08

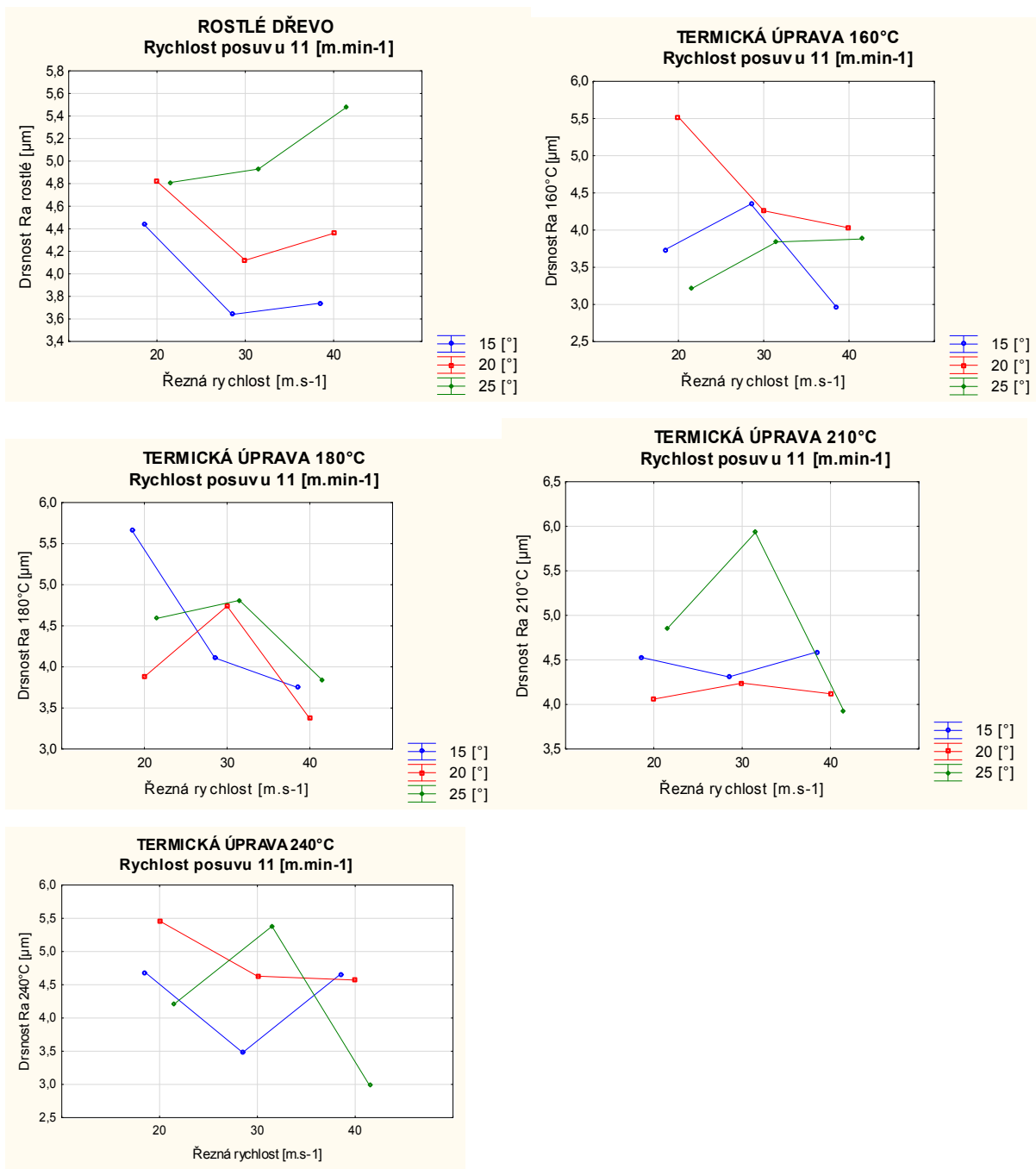
TERMICKÁ ÚPRAVA 240°C							
γ [°]	20 m.s ⁻¹	30 m.s ⁻¹	změna [%]	γ [°]	30 m.s ⁻¹	40 m.s ⁻¹	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
15	4,88	4,21	-13,73	15	4,21	3,95	-6,18
20	4,68	4,25	-9,19	20	4,25	4,86	14,35
25	3,53	4,29	21,53	25	4,29	3,74	13,68
Průměrná změna:			-0,46	Průměrná změna:			7,28



Graf 10 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela a rychlosti posuvu 4 m.min⁻¹



Graf 11 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela a rychlosti posuvu 8 m.min⁻¹



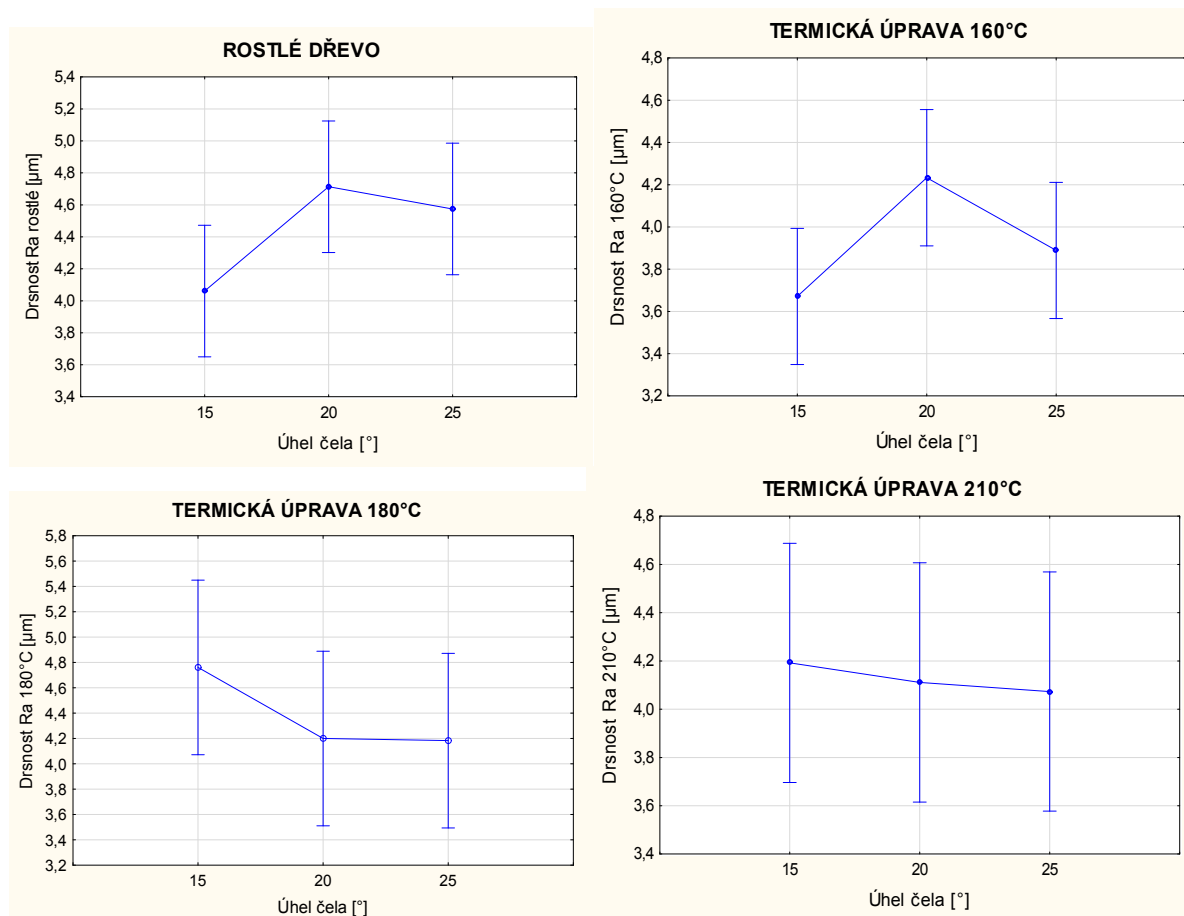
Graf 12 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela a rychlosti posuvu 11 m.min⁻¹

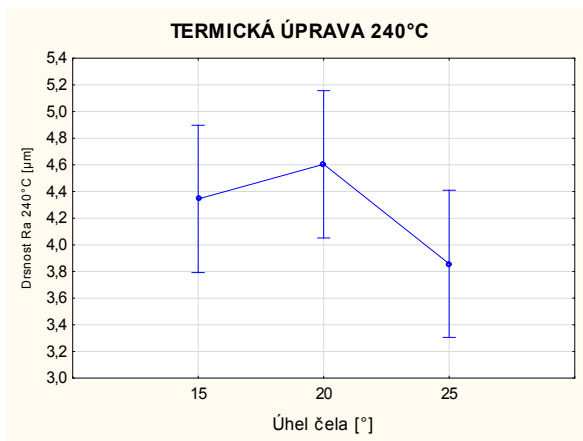
Shrnutí

Z hodnot z výše uvedených tabulek a grafů lze usoudit, že dochází k velkému rozdílu mezi hodnotami rostlého dřeva a termicky upraveného dřeva. U rostlého dřeva během zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m.s⁻¹ dochází ke snižování drsnosti okolo 8 % a během nárůstu řezné rychlosti z 30 na 40 m.s⁻¹ se drsnost povrchu mírně zvyšuje. U vzorků termodřeva je tomu přesně naopak, kdy při zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m.s⁻¹ dochází k mírnému vzrůstu hodnot drsnosti Ra a při dalším zvýšením řezné rychlosti dojde k výraznému snížení hodnot drsnosti v rozpětí 10 až 20 % zejména u termické úpravy 180°C.

6.2.4. Vliv úhlu čela na drsnost povrchu

Vliv úhlu čela je jeden z nejvýznamnějších vlivů na drsnost při rovinném frézování. Úhlová geometrie nástroje se totiž přímo podílí na procesu obrábění a ovlivňuje i kvalitu povrchu obrobku. Změna úhlové geometrie byla měřena při úhlu čela s 15°, 20°, 25°.





Graf 13 Analýza rozptylu pro závislost drsnosti povrchu na úhel čela

Shrnutí

Při změně úhlu čela z 15° na 20° se hodnoty Ra 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 se nepatrně snížily. Při změně úhlu čela z 20° na 25° se drsnost povrchu u 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 %.

Tab. 17 Procentuální změna drsnosti povrchu na úhlu čela při různých kombinacích řezných rychlostí a rychlostí posuvu

Rostlé dřevo							
V_f [m.min ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,84	4,64	20,83	4	4,64	4,59	-1,08
8	4,39	5,07	15,49	8	5,07	4,06	-19,92
11	3,94	4,4	11,68	11	4,4	5,07	15,23
Průměrná změna:			16	Průměrná změna:			-1,92

TERMICKÁ ÚPRAVA 160°C							
V_f [m.min ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,59	3,89	8,36	4	3,89	3,88	-0,26
8	3,74	4,2	12,3	8	4,2	4,13	-1,67
11	3,69	4,6	24,66	11	4,6	3,64	-20,87
Průměrná změna:			15,1	Průměrná změna:			-7,6

TERMICKÁ ÚPRAVA 180°C							
V_f [m.min ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,92	4,05	3,32	4	4,05	3,79	-6,42
8	5,85	4,55	-22,22	8	4,55	4,34	-4,62
11	4,51	3,99	-11,53	11	3,99	4,4	10,28
Průměrná změna:			-10,14	Průměrná změna:			-0,25

TERMICKÁ ÚPRAVA 210°C							
V_f [m.min ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	3,6	3,9	8,33	4	3,9	3,85	-1,28
8	3,19	4,27	33,86	8	4,27	3,43	-19,67
11	4,46	4,13	-7,4	11	4,13	4,9	18,64
Průměrná změna:			11,59	Průměrná změna:			-0,77

TERMICKÁ ÚPRAVA 240°C							
V_f [m.min ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_f [m.min ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
4	4,24	4,47	5,42	4	4,47	3,46	-22,6
8	4,51	4,45	-1,33	8	4,45	3,92	-11,91
11	4,28	4,89	14,25	11	4,89	4,19	-14,31
Průměrná změna:			6,11	Průměrná změna:			-16,27

Rostlé dřevo

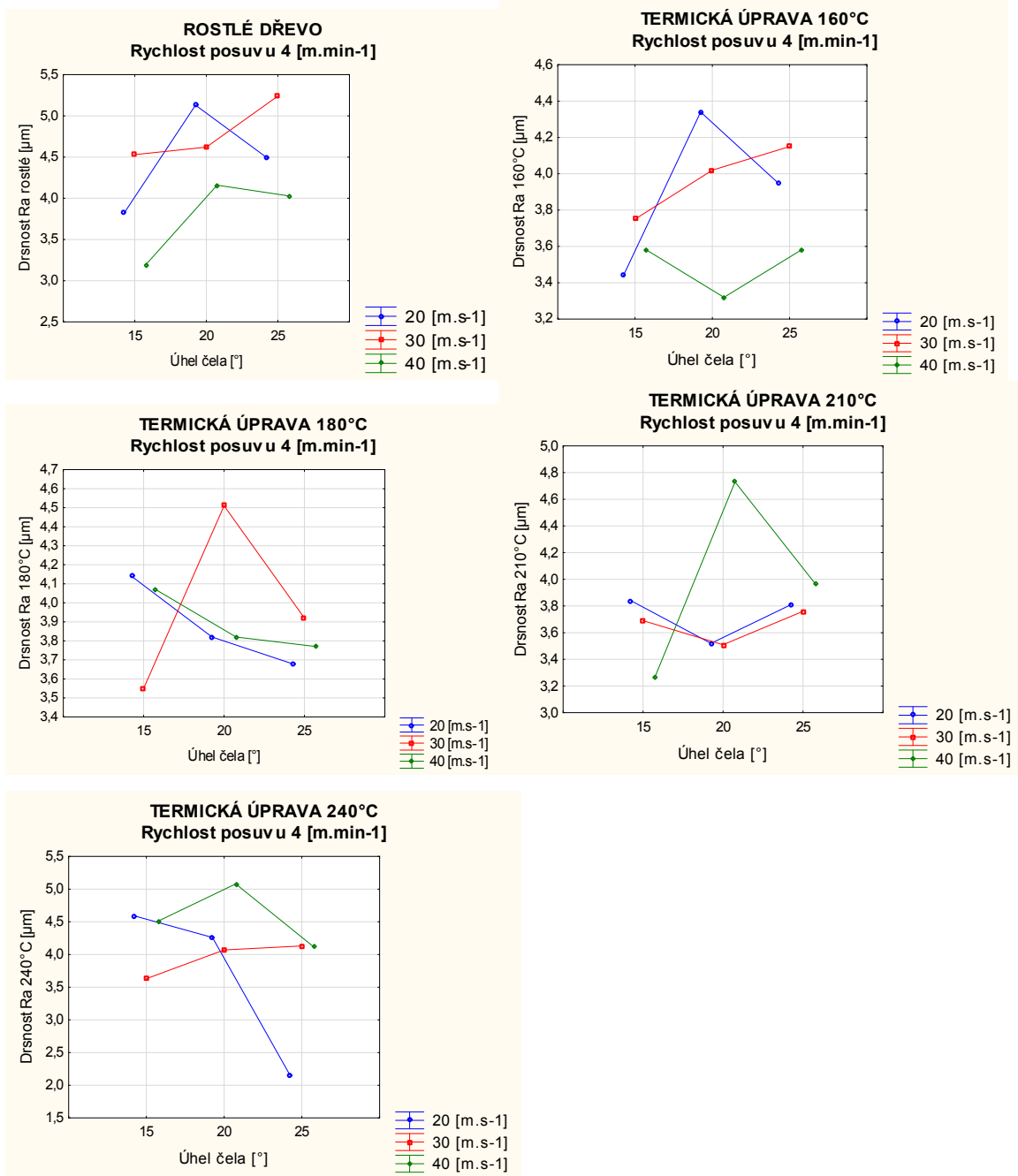
V_c [m.s ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	4,14	5,14	24,15	20	5,14	4,77	-7,2
30	4,02	4,46	10,95	30	4,46	4,44	-0,45
40	4,02	4,52	12,44	40	4,52	4,51	-0,22
Průměrná změna:			15,85	Průměrná změna:			-2,62

TERMICKÁ ÚPRAVA 160°C							
V_c [m.s ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	3,6	4,76	32,22	20	4,76	3,77	-20,8
30	4,13	4,02	-2,66	30	4,02	4,08	1,49
40	3,29	3,92	19,15	40	3,92	3,79	-3,32
Průměrná změna:			16,24	Průměrná změna:			-7,54

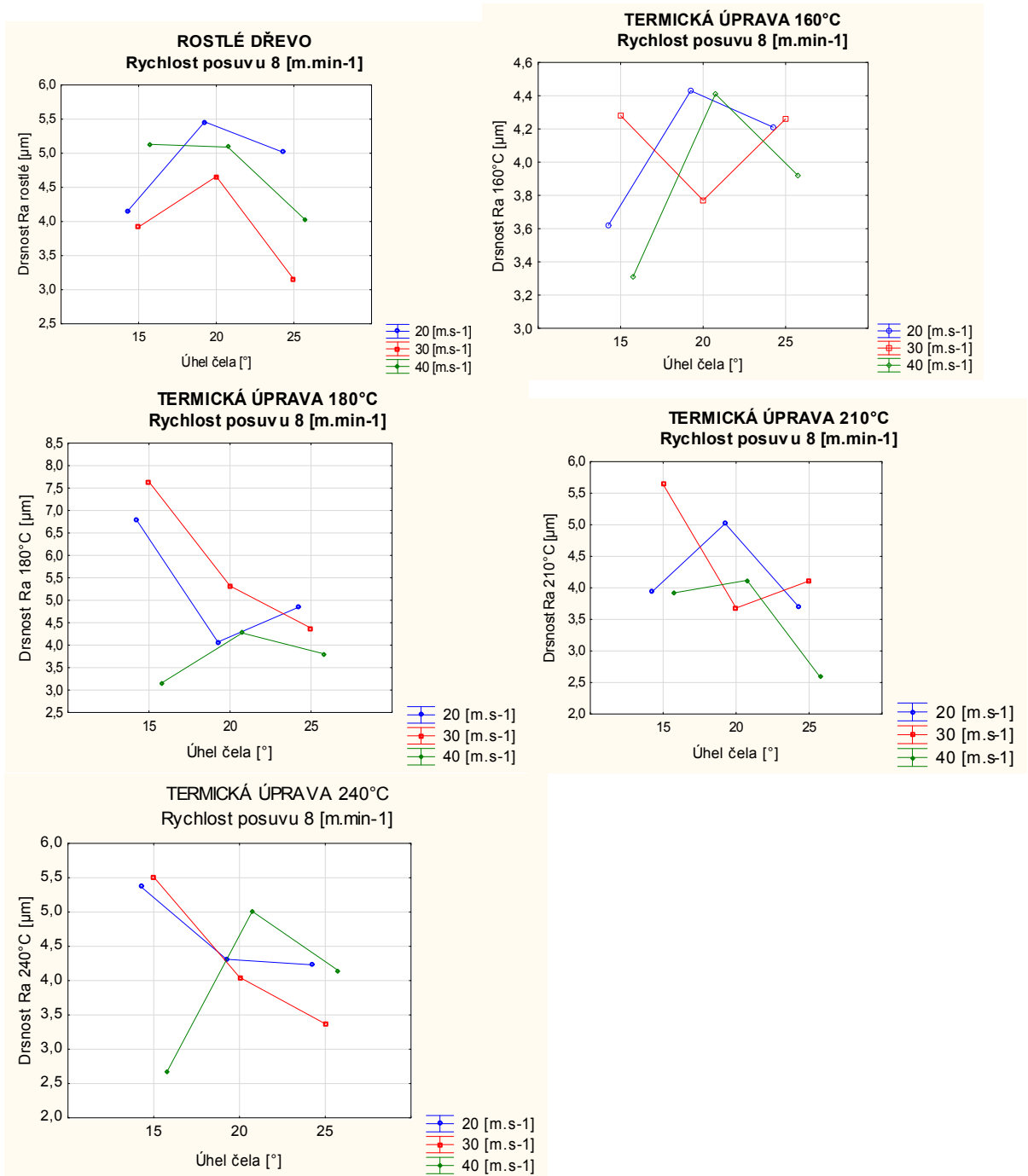
TERMICKÁ ÚPRAVA 180°C							
V_c [m.s ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	5,52	3,92	-28,99	20	3,92	4,37	11,48
30	5,1	4,86	-4,71	30	4,86	4,37	-10,08
40	3,66	3,82	4,37	40	3,82	3,79	-0,79
Průměrná změna:			-9,77	Průměrná změna:			0,21

TERMICKÁ ÚPRAVA 210°C							
V_c [m.s ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	4,1	4,19	2,2	20	4,19	4,12	-1,67
30	4,55	3,8	-16,48	30	3,8	4,56	20
40	3,89	4,31	10,8	40	4,31	3,49	-19,03
Průměrná změna:			-1,16	Průměrná změna:			-0,23

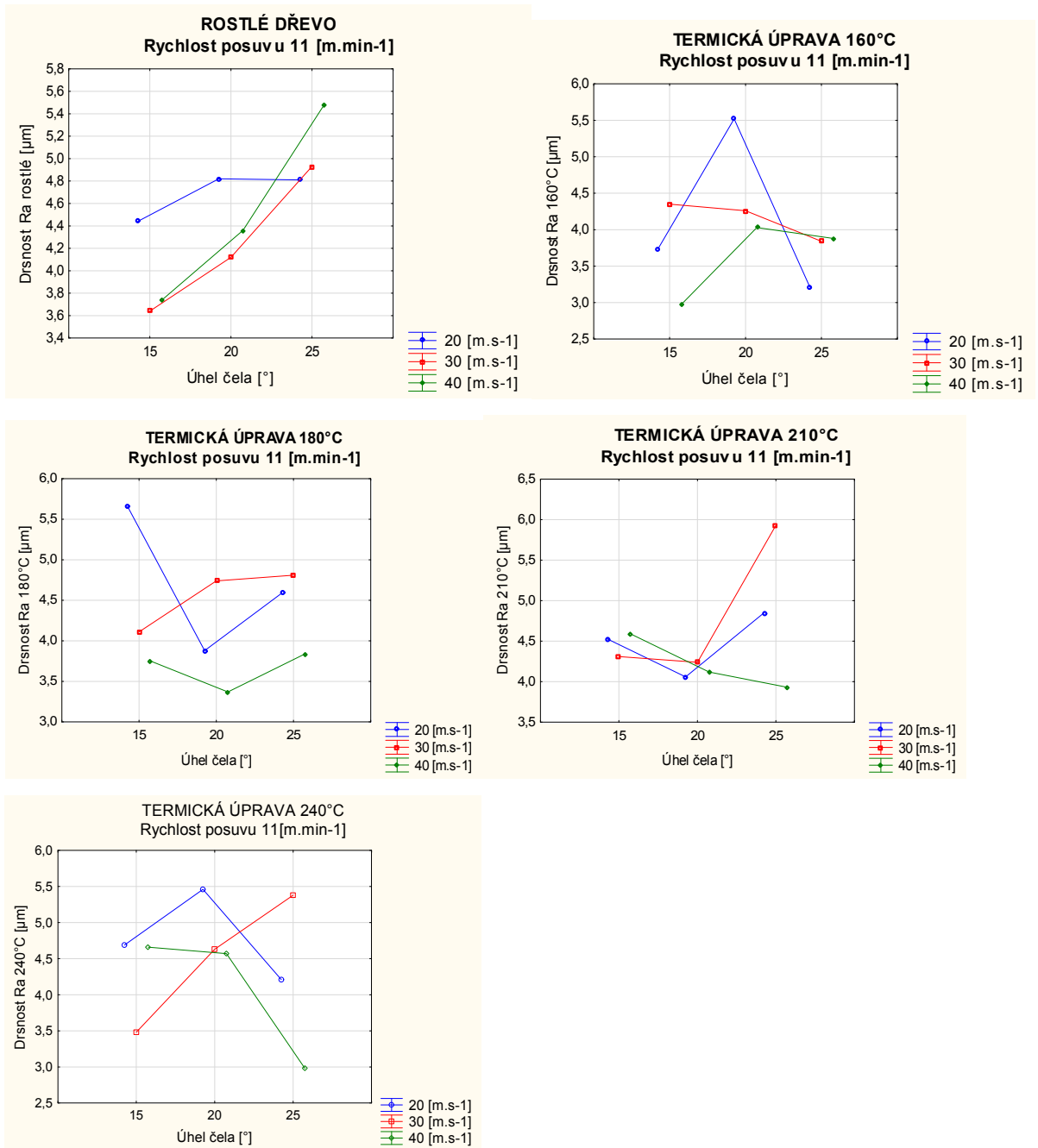
TERMICKÁ ÚPRAVA 240°C							
V_c [m.s ⁻¹]	15°	20°	změna [%]	V_c [m.s ⁻¹]	20°	25°	změna [%]
	Ra [μm]	Ra [μm]			Ra [μm]	Ra [μm]	
20	4,88	4,68	-4,1	20	4,68	3,53	-24,57
30	4,21	4,32	2,61	30	4,32	4,29	-0,69
40	3,94	4,89	24,11	40	4,89	3,74	-23,52
Průměrná změna:			7,51	Průměrná změna:			-16,26



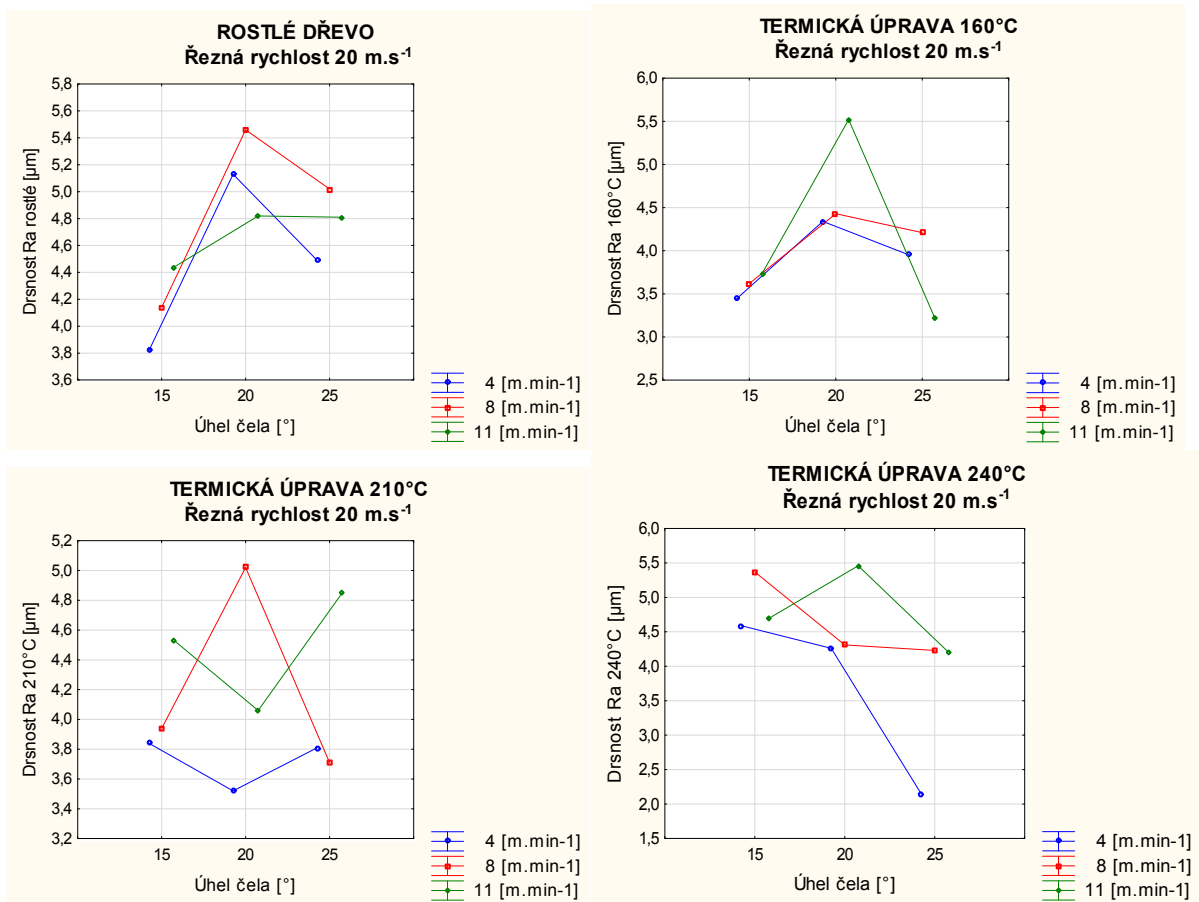
Graf 14 Závislost úhlu čela na řezné rychlosti a rychlosti posuvu 4 m.min⁻¹



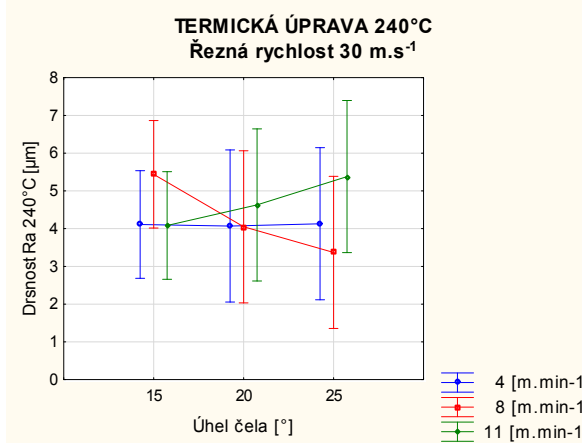
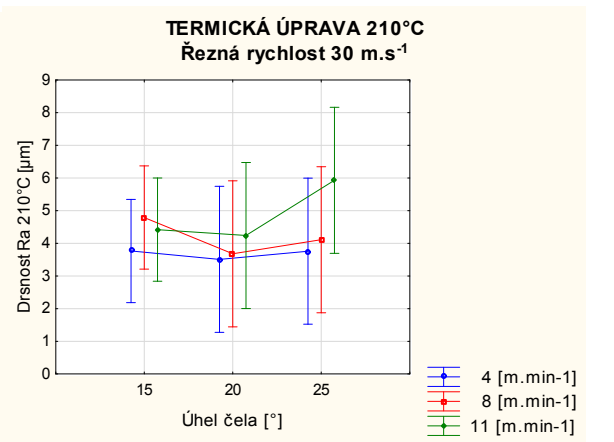
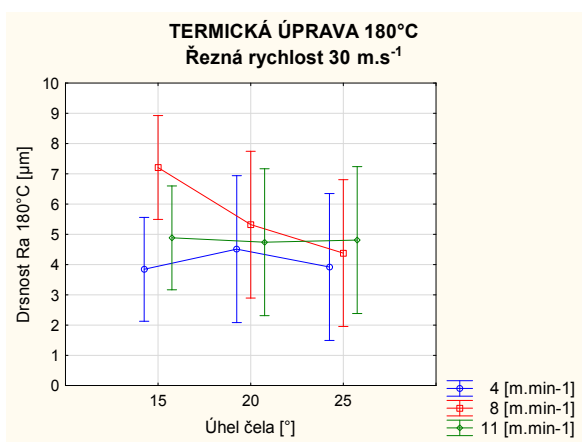
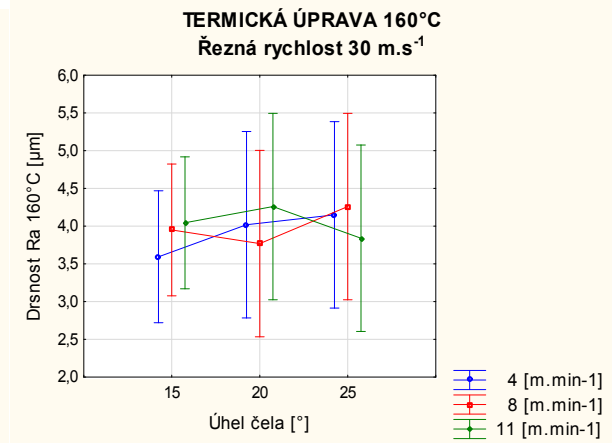
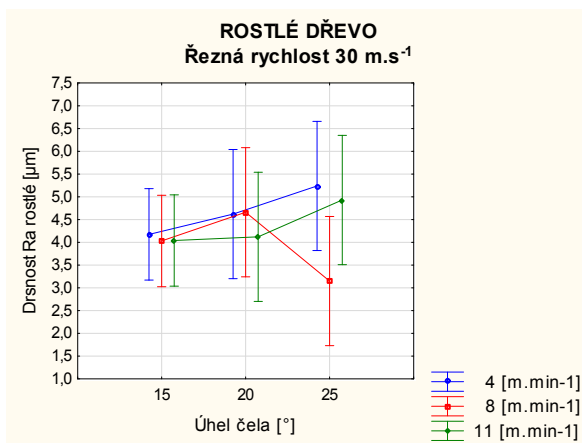
Graf 15 Závislost úhlu čela na řezné rychlosti a rychlosti posuvu 8 m.min⁻¹



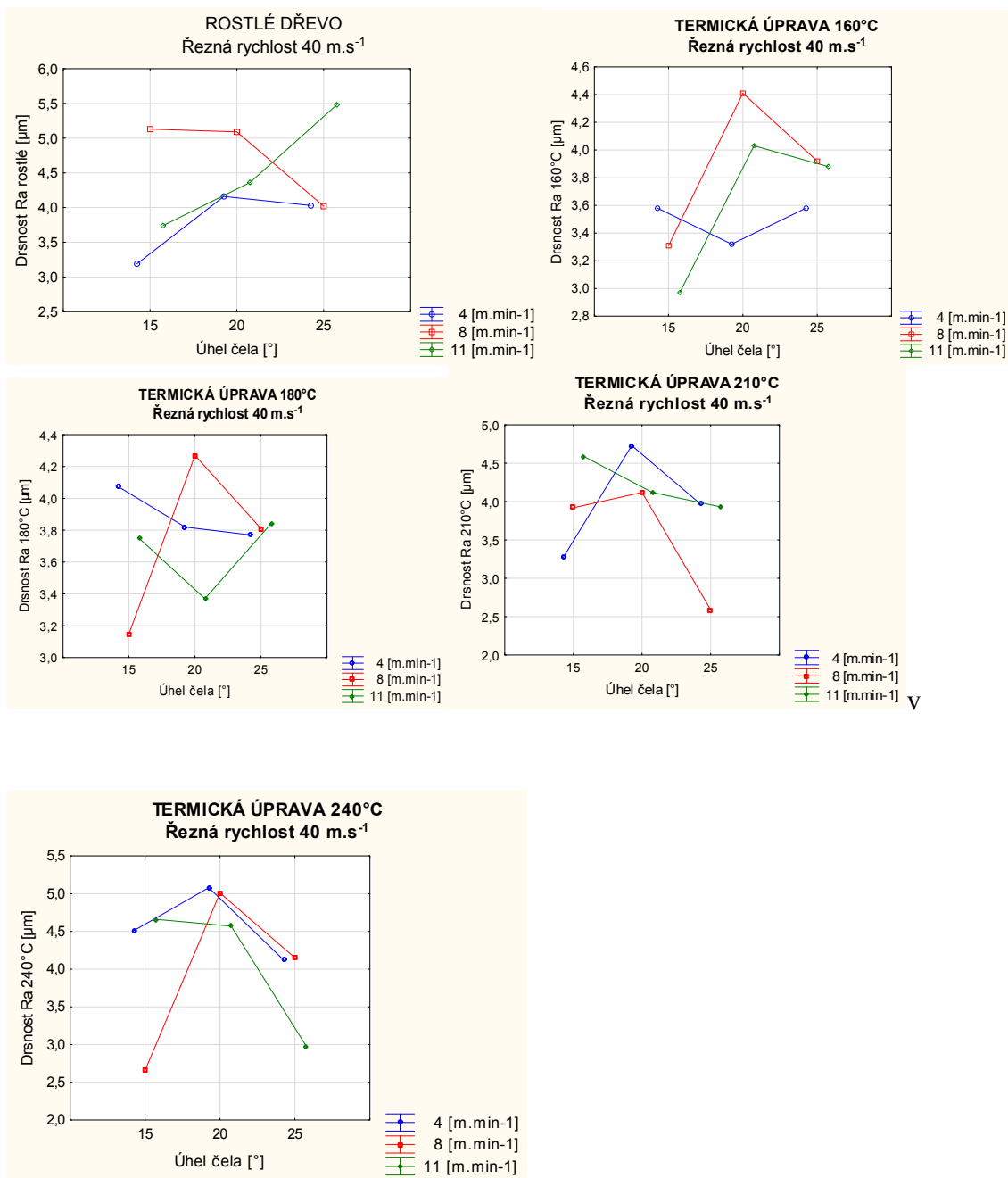
Graf 16 Závislost úhlu čela na řezné rychlosti a rychlosti posuvu 11 m.min⁻¹



Graf 17 Závislost úhlu čela na rychlosti posuvu při řezné rychlosti 20 m.s⁻¹



Graf 18 Závislost úhlu čela na rychlosti posuvu při řezné rychlosti 30 m.s⁻¹



Graf 19 Závislost úhlu čela na rychlosti posuvu při řezné rychlosti 40 m.s⁻¹

7. Zhodnocení výsledků

7.1 Zhodnocení výsledků koloristiky

Podstatný, a také očekávaný výsledek byl, že barva se mění do tmavšího odstínu s rostoucí termickou úpravou. K největší změně dochází při porovnání vzorků rostlého dřeva a vzorků s termickou úpravou 160°C. Hodnota souřadnice L reprezentující světlost se s rostoucí teplotou při termické úpravě snižuje. Mezi vzorky při teplotách 180°C a 210°C není veliký rozdíl ve světlosti. Barevné spektrum reprezentují hodnoty a^* a b^* . Znamená to, že barva jde do červena a do žluta. Obě hodnoty se při termické úpravě dřeva zvýšily. Čím vyšší stupeň tepelné úpravy, tím se tyto hodnoty mírně snižují.

7.2 Faktory ovlivňující výsledné hodnoty drsnosti

Výsledky naměřených hodnot při měření drsnosti se v některých případech velmi liší a některé výsledky u stejných kombinací se velmi rozcházejí. Na těchto odchylkách se výrazně podílí 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 nabízí 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.

7.3 Zhodnocení výsledků drsnosti povrchu

Hlavním cílem práce bylo zjistit, který z technologických, nástrojových faktorů nebo faktorů změny termické úpravy materiálu má největší vliv na drsnost povrchu termicky upraveného borovicového dřeva. Výše uvedené naměřené hodnoty zpracoval program Statistica 10 a výstupem jsou výsledky uvedené v tabulce č. 18. Nejvíce ovlivňující faktor na drsnost povrchu je takový, kde se hodnota hladiny významnosti p nejvíce přibližuje hodnotě 0. Tímto 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.

Vliv termické úpravy - Nejvýraznější změna drsnosti závislá na materiálu (termické úpravě) se nejvíce projevuje u vzorků při termické úpravě 160°C, kde vidíme rozdíl okolo 11° v porovnání s rostlým materiálem. Podobná změna drsnosti nastala i u termické úpravy 210 °C. Změnou termické modifikace dřeva se drsnost povrchu materiálu snižuje.

Vliv úhlové geometrie - Druhým nejvýznamnějším faktorem je změna úhlu čela.

Při změně úhlu čela z 15° na 20° se hodnoty drsnosti Ra výrazně zvýšily u vzorků rostlého dřeva, termicky upraveného dřeva ze 160°C a na 240°C v rozsahu 7 -16 %.

Vliv řezné rychlosti - U rostlého dřeva během zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m.s⁻¹ dochází ke snižování drsnosti okolo 8% a během nárůstu řezné rychlosti z 30 na 40 m.s⁻¹ se drsnost povrchu mírně zvyšuje. U vzorků termodřeva je tomu přesně naopak, kdy při zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m.s⁻¹ dochází k mírnému vzrůstu hodnot drsnosti Ra a při dalším zvýšení řezné rychlosti dojde k výraznému snížení hodnot drsnosti v rozpětí 10 až 20 % zejména u termické úpravy 180°C.

Tab. 18 Pořadí vlivů faktorů na drsnost povrchu vzorků dřeva borovice lesní
(termická úprava materiálu = nejvýznamnější faktor)

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

8. Porovnání výsledků s jinými pracemi

Koloristika

Babiak a kol.,(2004) v práci, která se zabývala výzkumem a měření spektrálního složení 19 dřevin včetně borovice lesní (rostlých dřevin) byly souřadnice L , a , b zjišťovány experimentálním měřením přístrojem Minolta CM 2600d. Naměřené věličiny měly tyto hodnoty: $L = 79,78$; $a = 6,12$; $b = 25,79$. Tyto hodnoty se velmi přibližují námi naměřeným hodnotám vzorků rostlé borovice lesní $L = 84,12$; $a = 4,1$ $b = 23,52$. Z porovnaných výsledků usuzují, že měření proběhlo úspěšně. Diference mezi hodnotami ovlivňuje rozdílnost vzorků dřeva borovice lesní, a také použitý jiný přístroj při měření.

Balkovský a kol., (2006) v práci, která se zabývala změnou barvy bukového dřeva při vysokoteplotním sušení nelze přímo s touto prací srovnávat. Hlavní dřevina zde byl buk lesní a termická úprava vysokoteplotního sušení nedosahovala tak vysokých hodnot, jako v této práci. Princip měření ručním spektrofotometrem a termická úprava dřeva jsou podobné technické parametry těchto dvou prací, které při bližším studování mohou problematiku spektrálního složení barvy při termické úpravě přiblížit nebo objasnit.

Drsnost povrchu

Tato práce byla zaměřena na zkoumání drsnosti rostlého a termicky upraveného dřeva borovice lesní. Ohledně výzkumu měření drsnosti povrchu termicky upraveného dřeva zatím nejsou publikovány žádné práce s poznatky, které bych mohl srovnat s touto prací. Pivolusková (2008), se ve své disertační práci zabývá posouzení kvality opracování juvenilního topolového dřeva. Experimentální měření těchto prací nelze srovnávat, nicméně pro pochopení problematiky můžeme vycházet z poznatků a zákonitostí této práce.

9. Přínos pro vědu a praxi:

Barva dřeva se řadí mezi jednu z nejdůležitějších estetických vlastností. Při měření koloristiky konkrétně měřením souřadnic L , a , b barevného prostoru se získaly informace o spektrálním složení vzorků rostlého dřeva a tepelně upraveného dřeva. Tyto informace mohou být užitečné pro třídění podle kvality nebo klasifikaci podle jiných specifických požadavků a orientace podle barvy.

Z analýzy drsnosti jasně vyplynulo, že nejvýznamnější faktor na změnu drsnosti povrchu při frézování je změna termické úpravy. Tyto poznatky se v praxi mohou využít pro zefektivnění výroby, protože není nutné aplikovat předcházející operace (broušení atd.) před povrchovou úpravou materiálu. Dřevo termicky upravené na vyšší stupeň (nad 200°C) s nižší drsností povrchu má zatažené póry, a tudíž se nemusí aplikovat tolik nátěrových hmot na takto upravené dřevo.

Dalšími významnými faktory jsou úhlová geometrie nástroje a řezná rychlost. Naopak rychlost posuvu můžeme považovat za méně významný faktor na vliv drsnosti povrchu.

Závěrem tedy mohu konstatovat, že změna těchto tří faktorů výrazně ovlivňuje kvalitu povrchu termicky upraveného dřeva a po praktické stránce věci je třeba při provozu tyto parametry optimálně sladit.

10. Závěr

Pomocí výzkumu bylo hlavním cílem této práce najít, který z technologických faktorů (řezná rychlost, rychlost posuvu), materiálu (termická úprava) nebo nástrojových faktorů (úhlová geometrie) má největší vliv na drsnost povrchu vzorků borovice lesní při rovinném frézování.

Po vyhodnocení mohu konstatovat, že nejvíce ovlivňující faktor na drsnost povrchu je změna termické úpravy dřeva. Z analýzy vyplynulo, že právě při změně tohoto faktoru se mění nejvíce drsnost povrchu dřeva. Největší změny proběhly rostlým materiálem a teplotami do 180 °C. Nad 200°C se drsnost povrchu mění méně. Druhý neméně důležitý faktor je úhlová geometrie nástroje. Při změně úhlu čela se velmi výrazně mění jakost opracování povrchu. Nejméně důležitým faktorem byla stanovena rychlost posuvu.

Dalším cílem bylo zhodnotit spektrální složení barev termicky upraveného dřeva. Výstupem jsou hodnoty souřadnic popisující barvu vždy určitého stupně termické úpravy.

Tato diplomová práce poskytuje určité výsledky, které je možné zohlednit v praktické oblasti zpracování dřeva. Můžeme také tyto výsledky porovnat s jinými pracemi, které proběhly nebo proběhnou za stejných nebo podobných podmínek a hodnotit eventuelně nové poznatky nebo zhodnotit rozdíly z naměřených hodnot.

Seznam použité literatury:

ADAMCOVÁ, Eva. *Výskum vplyvu geometrie a materiálu stopkových frézovacích nástrojov na ich životnosť a kvalitu opracovania drevných materiálov: doktorská disertace*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 61 s.

AFJEHI-SADAT, Ali; DURAKBASA, M. Numan; STOUT, J. Ken; OSANNA, P. Herbert, RUIZ, Jean-Michel. *Meranie drsnosti, vlnitosti a primárneho profilu*. [cit. 2006-11-23]. Dostupné z <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/13s.pdf>

BABIAK, Marián; KUBOVSKÝ, Ivan; MAMOŇOVÁ, Miroslava. *Farebný priestor vybraných domácich drevín*. In: *Interaction of Wood with Various Forms of Energy*. 2004. Zvolen: Technical University in Zvolen. 113-117 s. ISBN 80-228.-1429-6

BALKOVSKÝ, I., KLEMENT, I., MARKO, P. *Farebné zmeny bukového reziva pri použití vysokých teplôt v procese sušenia*. In: *Technológie spracovania dreva. Medzinárodná vedecká konferencia, september 2006*, Zvolen: TU vo Zvolene, 2006. s. 23 - 29.

BARCÍK, Š.; HOMOLA, T. *Vplyv vybraných parametrov na kvalitu obrobeného povrchu pri rovinnom frézovaní juvenilného borovicového dreva*. In: *Zborník prednášok zo IV. Medzinárodnej vedeckej konferencii „Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2004“*. Starý Smokovec: 14.-16. október. 31-36 s. ISBN 80-228-1385-0.

BARCÍK, Štefan. *Technika pre výrobu nábytku*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2055-4

DUBOVSKÁ, R. *Niektoré poznatky o kvantifikácii drsnosti při obrábaní dreva. Procesy trieskovéh a beztrieskového obrábania dreva 2000*. 19.-21. 10. 2000.

DZURENDA, Ladislav a kol. *Vplyv techniky na kvalitu deleného a obrábaného dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 140 s. ISBN 978-80-228-1923-7

FENGEL, D., WEGENER, G. *Wood: chemistry, ultrastructures, reactions*. Walder de Gruyter Verlag, Berlin, 1983.

JAVOREK, Ľ.; OSWALD, J., *The wear characteristic OF Miller tools, II. Part: Geometry OF too*. In: *Dřevařský výzkum*, ISSN 0012-6136, 15-21 s.

KAČÍKOVÁ, Danica; KAČÍK, František. *Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 71s. ISBN 978-80-228-2249-7.

KÄLLANDER, B., BENGTSSON, CH. *High temperature drying of Norway Spruce: effects of elevated temperature on wood properties*. COST E15 Conference, Athens, N.A.G.R.E.F., 2004.

KLEMENT, Ivan; MARKO, Peter. *Změna farby bukového dreva v procese sušenia*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 2006

KOCH, P. *Wood Machining Processes*. Donald Press Company, New York, 530 s.

LISIČAN, Josef. *Teoria a technika spracovania dreva*. Zvolen: Matcentrum, 1996. 626 s. ISBN 80-967315-6-4

KÚDELA, J. *Vlhkostné a tepelné namáhanie bukového dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 141 s. ISBN 80-228-1486-5.

LISIČAN, Josef. *Základy obrábania a delenia drevných materiálov*. Zvolen: VŠLD, 1984. Š 5868/1983-32

MARKO, Peter. *Optimalizácia procesov vysokoteplotného sušenia bukového dreva: doktorská disertace*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 99 s.

PIVOLUSKOVÁ, Eva. *Vplyv vybraných technicko-technologických faktorov na tvorbu triesky a kvalitu opracovania povrchu pri rovinnom frézovaní juvenilného topoľového dreva: doktorská disertace*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 128 s.

POŽGAJ, A. a kol. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda, 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4.

PROKEŠ, Stanislav. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. Praha: SNTL, 1982. 584 s. ISBN 04-833-82

REINPRECHT, L. *Procesy degradácie dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1996. 150 s. ISBN 80-228-0518-1

REINPRECHT, Ladislav; VIDHOLDOVÁ, Zuzana. *Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 89 s. ISBN 978-80-228-1920-6.

SANDAK, Jakub; NEGRI, Martino. Wood surface roughness – what is it? In: *Proceedings of the 17th International wood machining Seminar*, Rosenheim, 29 – 30 September. Volume 1, pp. 242 – 250. [cit. 2006-1-16].
http://www.boku.ac.at/physik/coste35/Rosenheim/article/art_Sandak_COST_E35_Rosenheim_2005.pdf

SCHMIDT, V.K. Untersuchungen über die Ursachen der Verfärbungen von Eichenholz bei der technischen Trocknung. In *Holzforschung und Holzverwertung*, Vol. 38, 25-36 s. 1986.

SIKLIENKA, M. *Vplyv vybraných faktorov na kvalitatívne ukazovatele pri pílení na kmeňovej pásovej pile*. Vedecké štúdie 1/2004/A. Zvolen, 2004, ISBN 80-228-1371-0

Taylor Hobson. *Exploring Surface Texture: A fundamental guide to the measurement of surface finish*. Leicester: Taylor Hobson Precision, 2009. 100 s. List No. 600-14

TREBULA, P., KLEMENT, I. *Sušenia a hydrotermická úprava dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2002. 449 s. ISBN 80-228-1182-3.

ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 1998

ČSN 490 231. *Přidavky na opracování řeziva a přířezů řeziva, drsnost povrchu výrobků ze dřeva a na bázi dřeva*. 1993

Elektronické zdroje:

<<http://www.thermowood.fi>> [cit. 2013-04-03] Finnich ThermoWood Association, ThermoWood Handbook (2003)

<<http://www.lunawood.fi/cz>> [cit.2013-01-15]

<<http://www.globalspec.com>> [cit. 2013-02-05]

<<http://www.cie.co.at/cie/>> [cit. 2013-02-05]

<<http://fyzika.jreichl.com>> [cit. 2013-03-20]

Seznam obrázků

- Obr. 1 Obložení domu
- Obr. 2 Venkovní terasa
- Obr. 3 Tepelně neupravená borovice
- Obr. 4 Tepelně upravená borovice
- Obr. 5 Sorpčně - desorpční hysterezní křivky
- Obr. 6 Změna hustoty termicky upraveného borovicového dřeva při teplotách od 160°C do 240°C po dobu 3 hodin
- Obr. 7 Spektrum barev tepelně upravené borovice
- Obr. 8 Pokles rázové houževnatosti v ohybu topolového dřeva vzhledem k úbytku hmotnosti v přítomnosti kyseliny sírové
- Obr. 9 Rozdělení frézování
- Obr. 10 Hlavní druhy frézování
- Obr. 11 Hlavní plochy při obrábění
- Obr. 12 Schéma oddělování třísky při válcovém frézování
- Obr. 13 Profil povrchu – drsnost (A), vlnitost (B), tvar (C)
- Obr. 14 Stanovení základní délky
- Obr. 15 Geometrické charakteristiky
- Obr. 16 Příčná a podélná drsnost frézovaného povrchu
- Obr. 17 Hloubka vlny
- Obr. 18 Hloubka profilu
- Obr. 19 Kinematický profil povrchu při nesouběžném frézování.
- Obr. 20 Kinematický profil povrchu při souběžném frézování
- Obr. 21 Trichromatické činitele
- Obr. 22 Struktura os L^* , a^* , b^* v souřadnicovém systému CIELAB
- Obr. 23 Diagram chromatičnosti CIE 1931
- Obr. 24 Grafické znázornění Euklidovské vzdálenosti v barevném prostoru CIE
- Obr. 25 Pec pro termickou úpravu se vzorky
- Obr. 26 Spektrofotometr Konica Minolta CM-600d
- Obr. 27 Příprava vzorků pro měření
- Obr. 28 Měření
- Obr. 29 Frézka s podávacím zařízením
- Obr. 30 Frézovací hlavy s úhlem čela 15°, 20° uložené v krytu po měření

- Obr. 31 Frézovací hlava s úhlem čela 25° upnutá na frézce při měření
- Obr. 32 Vzorky připravené k frézování
- Obr. 33 Princip indukčního snímače
- Obr. 34 Drsnoměr Talysurf Intra 2
- Obr. 35 Propojení počítače s přístrojem
- Obr. 36 Detail měřícího hrotu při měření
- Obr. 37 Průběh měření drsnosti

Seznam tabulek

- Tab. 1 Směrné hodnoty mezních vlnových délek pro vybrané metody
- Tab. 2 Rozsah barevné difference ΔE^*
- Tab. 3 Fáze jednotlivých tepelných úprav
- Tab. 4 Měření hustoty
- Tab. 5 Parametry spodní svislé frézky FVS
- Tab. 6 Parametry podávacího zařízení
- Tab. 7 Popis frézy
- Tab. 8 Úhlová geometrie frézovacích hlav
- Tab. 9 Parametry (faktory) ovlivňující řezné podmínky
- Tab. 10 Doporučené hodnoty cut-off
- Tab. 11 Nastavené veličiny
- Tab. 12 Změna barvy dřeva (hodnoty naměřených barevných souřadnic)
- Tab. 13 Závislost ΔE na termické úpravě
- Tab. 14 Procentuální změna průměrné drsnosti povrchu v závislosti na termické úpravě při různých variantách rychlosti posuvu, řezné rychlosti a úhlu čela
- Tab. 15 Procentuální změna průměrné drsnosti povrchu a rychlosti posuvu při různých kombinacích úhlu čela a řezné rychlosti
- Tab. 16 Procentuální změna průměrného řezného příkonu u řezných rychlostí při různých kombinacích rychlostí posuvu a úhlu čela
- Tab. 17 Procentuální změna drsnosti povrchu na úhlu čela při různých kombinacích řezných rychlostí a rychlostí posuvu
- Tab. 18 Pořadí vlivů faktorů na drsnost povrchu vzorků dřeva borovice lesní

Seznam grafů

- Graf 1 Graf procesu výroby thermowoodu
- Graf 2 Zaznamenané nerovnosti v grafickém provedení
- Graf 3 Odfiltrování sklonu na stejném vzorku
- Graf 4 Analýza drsnosti v závislosti na tepelné úpravě materiálu
- Graf 5 Analýza rozptylu pro závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu
- Graf 6 Závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu při různých variantách řezné rychlosti, termické úpravy při úhlu čela 15°.
- Graf 7. Závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu při různých variantách řezné rychlosti, termické úpravy při úhlu čela 20°.
- Graf 8 Závislost drsnosti povrchu na rychlost posuvu při různých variantách řezné rychlosti, termické úpravy při úhlu čela 25°.
- Graf 9 Analýza rozptylu pro závislost drsnosti povrchu v závislosti na řezné rychlosti během celého měření.
- Graf 10 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela a rychlosti posuvu 4 m.min-1
- Graf 11 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela a rychlosti posuvu 8 m.min-1
- Graf 12 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela a rychlosti posuvu 11 m.min-1
- Graf 13 Analýza rozptylu pro závislost drsnosti povrchu na úhlu čela
- Graf 14 Závislost úhlu čela na řezné rychlosti a rychlosti posuvu 4 m.min-1
- Graf 15 Závislost úhlu čela na řezné rychlosti a rychlosti posuvu 8 m.min-1
- Graf 16 Závislost úhlu čela na řezné rychlosti a rychlosti posuvu 11 m.min-1
- Graf 17 Závislost úhlu čela na rychlosti posuvu při řezné rychlosti 20m/s
- Graf 18 Závislost úhlu čela na rychlosti posuvu při řezné rychlosti 30m/s
- Graf 19 Závislost úhlu čela na rychlosti posuvu při řezné rychlosti 40 m/s