

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jelínek Josef

Dřevařské inženýrství

Název práce

Vliv způsobu obrábění na kvalitu povrchu MDF desek

Anglický název

The influence of machining techniques on surface quality of MDF

Cíle práce

Účelem této diplomové práce je charakteristika vlivu různých procesů obrábění na kvalitu povrchu bočních ploch MDF desek (Medium Density Fibreboards). Jako hodnocené procesy byly zvoleny: řezání pásovou a kotoučovou pilou, frézování a broušení hrubým, středně hrubým a jemným brusným pásem.

Dílčím cílem práce je hodnocení vlastností desek MDF, zejména pak vlastností majících vliv na drsnost povrchu.

Dalším cílem této práce je zhodnocení vybraných procesů na kvalitu povrchové úpravy vodou ředitelnou nátěrovou hmotou.

Metodika

1. Vytvoření osnovy a časového harmonogramu zpracování DP
2. Podrobné prostudování uvedené problematiky
3. Vypracování literární rešerše, popis metod měření drsnosti a ovlivňujících faktorů, formulace cílů
4. Volba typů technologií obrábění zkušebního materiálu
5. Zajištění zkušebního materiálu ve statisticky průkazném množství
6. Provedení experimentálních měření
7. Vyhodnocení zjištěných výsledků zkoušek drsnosti
8. Odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě (součástí diplomové práce je abstrakt a klíčová slova v českém a světovém jazyce – angličtině)

Harmonogram zpracování

březen-červen 2011: rozbor literárních zdrojů

červen-prosinec 2011: příprava zkušebních vzorků pro jednotlivé experimenty

září 2011 - březen 2012: zkušební měření a zpracování dat

duben 2012: odevzdání práce

Rozsah textové části

text: 40 - 60 stran, přílohy: 5 - 15 stran

Klíčová slova

MDF, drsnost, kvalita povrchu

Doporučené zdroje informací

Hrázský, Král, (2007): Kompozitní materiály na bázi dřeva: Část I.: Aglomerované materiály. MZLU Brně

Čížek, (1985): Vlastnosti a zpracování třískových a vláknitých desek. SNTL Praha

Taylor Hobson, (2009): Exploring Surface Texture: A fundamental guide to the measurement of surface finish

Bumbálek, Odvody, Ošřádal, (1989): Drsnost povrchu. Nakladatelství techn. lit. Praha

Vedoucí práce

Böhm Martin, Ing., Ph.D.

Termín odevzdání

duben 2012



doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.
Vedoucí katedry



prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.
Děkan fakulty

V Praze dne 2.4.2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Lesnická a dřevařská fakulta

Vliv způsobů obrábění na kvalitu povrchu MDF desek
Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Böhm, Ph.D.
Autor diplomové práce: Bc. Josef Jelínek

PRAHA 2012

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv způsobů obrábění na kvalitu povrchu MDF desek“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne:

.....

Josef Jelínek

Chtěl bych poděkovat rodičům, přítelkyni a všem, kteří mi během mé diplomové práce pomáhali a poskytli pomoc a důležité rady. Zejména bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Böhmovi, Ph.D., za ochotu a vedení při realizaci této práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Novákovi, Ing. Janu Bombovi Ph.D. a Ing. Aleši Zeidlerovi Ph.D. za pomoc při výrobě a úpravě zkušebních vzorků.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou vlivu způsobů obrábění na kvalitu povrchu bočních ploch MDF desek. Způsoby obrábění byly zvoleny nejběžnější druhy používané v praxi a to: řezání pásovou a kotoučovou pilou, frézování a broušení hrubým, středně hrubým a jemným brusným pásem. Na tyto různé druhy obráběných povrchů byla nanesena povrchová úprava vodou-ředitelnou nátěrovou hmotou.

Hlavní podstatou této vypracované studie je zkoumání drsnosti povrchu jednotlivých způsobů obrábění s různým stupněm dokončení. Tato zkoumaná veličina byla měřena pomocí dotykového indukčního měřicího přístroje typu Form Talysurf Series Intra 2. Pro tyto účely byla zvolena barvená MDF deska tl. 18mm, která je nejběžněji používanou tloušťkou pro nábytkářský průmysl. Barevná úprava byla zvolena kvůli lepší viditelnosti a identifikaci jednotlivých vláken, zejména pod mikroskopem. Výsledkem zkoumání drsnosti povrchů jsou rozdíly mezi různými druhy obrábění a doporučení používat pouze jemné broušení před povrchovou úpravou.

Abstract

This thesis deals with the influence of processing methods on the quality of the surface of the side surfaces of MDF boards. As the machining methods the following most common types used in the practice have been chosen: cutting by the band and circular saws, milling and grinding by means of coarse, medium coarse and fine sanding belt. For these different types of machined surfaces the coating with water-based paint has been applied.

The main essence of this study is to explore the various types of surface finish machining with varying degrees of completion. This variable examined was measured using an inductive touch-sensing device type Form Talysurf Series Intra 2. For these purposes was selected colored MDF 18 mm size, which is most commonly used thickness for the furniture industry. The color has been chosen because of better visibility and identification of individual fibers, especially under the microscope. The results of examination of surface roughness are the differences between various types of machining and the recommendation to use only light sanding before surface finishing.

1. ÚVOD	- 3 -
1.1. Zdůvodnění výběru práce	- 3 -
1.2. Cíle „práce“	- 3 -
2. MDF DESKY	- 4 -
2.1. Co to je MDF.....	- 4 -
2.2. Historický rozvoj MDF desek	- 4 -
2.3. Vlastnosti MDF desek	- 4 -
2.4. Výhody MDF desek	- 5 -
2.5. Nevýhody MDF desek	- 5 -
2.6. Použití MDF desek.....	- 5 -
2.7. Technologie výroby MDF desek	- 6 -
2.7.1. Výběr a vlastnosti dřevní suroviny pro výrobu	- 6 -
2.7.2. Skladování suroviny	- 7 -
2.7.3. Úprava suroviny	- 7 -
2.7.4. Dezintegrace dřeva	- 8 -
2.7.5. Nanášení lepící směsi	- 9 -
2.7.6. Sušení vlákna.....	- 10 -
2.7.7. Skladování vlákna	- 10 -
2.7.8. Vrstvení vláknitého koberce.....	- 10 -
2.7.9. Předlisování	- 10 -
2.7.10. Lisování desek.....	- 11 -
2.7.11. Ochlazování.....	- 11 -
2.7.12. Formátování	- 11 -
2.7.13. Klimatizace.....	- 11 -
2.7.14. Povrchová úprava	- 12 -
2.7.15. Kontrola kvality.....	- 12 -
2.7.16. Opracovávání MDF desek.....	- 13 -
2.7.17. Dokončování MDF desek.....	- 14 -
3. DRSNOST POVRCHU	- 16 -
3.1. Význam drsnosti povrchu.....	- 16 -
3.2. Vytváření povrchu	- 17 -
3.3. Základní pojmy drsnosti povrchu.....	- 19 -
3.4. Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu	- 21 -
3.5. Nenormalizované charakteristiky drsnosti povrchu	- 24 -
4. DRSNOST MDF DESEK	- 25 -
4.1. Faktory ovlivňující drsnost povrchu u MDF desek.....	- 25 -
4.1.1. Vlhkost desek	- 25 -
4.1.2. Hustota desek	- 26 -
4.1.3. Směr vláken	- 26 -
4.1.4. Nečistoty.....	- 26 -
4.2. Povrchová úprava MDF desek	- 27 -
4.2.1. Dokončování povrchu vodou ředitelnými nátěrovými hmotami	- 27 -
4.2.2. Stříkání nátěrových hmot	- 27 -
4.3. Značení drsnosti na výkresech	- 27 -
4.3.1. Značky a jejich význam.....	- 28 -
4.3.2. Symboly a jejich popis na výkrese	- 28 -
4.3.3. Příklady použití v praxi	- 29 -

5. ZAJIŠTĚNÍ VZORKŮ	- 30 -
5.1. Výroba a odběr vzorků	- 30 -
6. VIZUÁLNÍ POSOUZENÍ DRSNOSTI HRAN	- 32 -
7. MĚŘENÍ DRSNOSTI	- 33 -
7.1. Postup měření drsnosti povrchu	- 33 -
7.2. Požadavky na měřicí profiloměry	- 33 -
7.3. Měřicí přístroj	- 34 -
7.3.1. Typy používaných přístrojů	- 34 -
7.3.2. Přístroj použitý pro měření	- 34 -
7.4. Příprava před měřením	- 34 -
7.5. Vlastní postup měření	- 34 -
8. VÝSLEDKY A DISKUZE	- 36 -
8.1. Vyjádření hodnoty průměrné aritmetické odchylky profilu Ra	- 36 -
8.1.1. Statistické ukazatele	- 36 -
8.1.2. Porovnání výsledků po základních operacích	- 37 -
8.1.3. Porovnání výsledků Ra všech obrábění a druhů dokončení	- 38 -
8.1.4. Porovnání dílčích výsledků Ra po obrábění kotoučovou pilou	- 40 -
8.2. Vyjádření celkové výšky profilu Rt a největší výšky profilu Rz	- 41 -
8.2.1. Statistické ukazatele	- 41 -
8.2.2. Porovnání výsledků Rt a Rz	- 43 -
8.3. Vyjádření průměrné šířky prvku profilu RSm	- 44 -
8.3.1. Statistické ukazatele	- 44 -
8.3.2. Porovnání výsledků RSm všech druhů obrábění a dokončení	- 45 -
9. ZÁVĚR	- 47 -
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 48 -
11. SEZNAM POUŽITÝCH NOREM	- 49 -
12. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	- 50 -
13. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	- 51 -
PŘÍLOHA A - PROTOKOL O ZKOUŠCE	- 52 -
PŘÍLOHA B - NAMĚŘENÉ HODNOTY	- 53 -
PŘÍLOHA C - ZBÝVAJÍCÍ GRAFY HODNOTY Ra	- 57 -
PŘÍLOHA D - POUŽITÉ TABULKY	- 60 -
PŘÍLOHA E - POUŽITÉ OBRÁZKY	- 61 -

1. Úvod

1.1. Zdůvodnění výběru práce

Tuto práci na téma „Vliv způsobu obrábění na kvalitu povrchu MDF desek“ jsem si vybral, protože bych rád popsal vliv nejběžnějších technologických procesů na jakost povrchu hran desek. V současné době se dostává do módy lakovaný nábytek z těchto desek, pro které je nejdůležitější kvalita obráběného povrchu.

1.2. Cíle „práce“

Cílem této diplomové práce je charakterizovat vlastnosti dřevovláknitých desek se střední hustotou MDF (Medium Density Fibreboard), zejména pak těch, které mají vliv na drsnost povrchu. Popsat všechny parametry, které se specifikují vlastnosti povrchu. Charakterizovat vliv různých procesů obrábění na kvalitu povrchu bočních ploch MDF desek.

Byly zvoleny následující způsoby obrábění: „řezání pásovou a kotoučovou pilou, frézování a broušení hrubým, středně hrubým a jemným brusným pásem“. Dalším cílem této práce je zhodnocení těchto procesů na kvalitu povrchové úpravy vodou-ředitelnou nátěrovou hmotou.

2. MDF desky

2.1. Co to je MDF

MDF je dřevovláknitá deska vznikající suchým výrobním způsobem (Obr. č. 1), viz příloha E. Její název vznikl z počátečních písmen z anglického názvu Medium Density Fibreboard (vláknitá deska se střední hustotou). Tato deska se vyrábí slisováním dřevěných vláken (především smrkových) za použití lepidla při vysoké teplotě. MDF desky jsou plnohodnotnou náhradou masivního dřeva (DDL).

2.2. Historický rozvoj MDF desek (Hrázský, Král 2007)

MDF desky vznikly na přelomu 60. a 70. let v USA, kde se od počátku jejich výroba postupně rozšiřovala. Evropa, která se vyznačovala dynamickým rozvojem DTD, které v tomto regionu získali dominantní pozici mezi aglomerovanými materiály, okrajově a jen pozvolna akceptovala tento nový materiál. Kvalita a vlastnosti těchto desek byly natolik přesvědčivé, že jejich průmyslová výroba se začala pomalu rozšiřovat i do Evropy.

Poprvé MDF desky začali vyrábět v Evropě na začátku 70. let ve Skandinávii. Vyráběli je však mokřým způsobem, to bylo spojené s problémy znečišťování prostředí a s problémy nízké kvality v důsledku nevhodného profilu hustoty.

Prvním závodem na výrobu MDF desek vyráběným suchým způsobem byl závod v Ribnitz v bývalém NDR, který byl postaven a uveden do provozu v roce 1973. Postupně přibývaly další závody a v druhé polovině 80. let a v 90 letech získala Evropa významné postavení ve světové výrobě MDF desek. V současnosti patří v této produkci vedoucí postavení ve světě.

V České republice byla zahájena výroba MDF desek v roce 1992 ve firmě Dřevozpracující družstvo Lukavec. Je to první a zatím jediný závod na výrobu tohoto materiálu u nás. Na výrobu ostatních vláknitých desek bylo v minulosti několik závodů (např.: SOLO Sušice, Středomoravské dřevařské závody v Břeclavi), ale v současnosti se v ČR nevyrábí tvrdé a izolační desky ani mokřým ani suchým výrobním postupem.

2.3. Vlastnosti MDF desek

Hustota těchto desek se pohybuje v rozmezí 600 - 900 kg/m³. Vyrábějí se v širokém tloušťkovém rozmezí 6 - 38 mm a formátech 2 850 x 1 1830 (2 070) mm. Tolerance jmenovité tloušťky při dodávání nesmí být vyšší než ± 0,3 mm. Tolerance délky a šířky je

dána ± 2 mm/m (ale maximálně ± 5 mm) od jmenovitého rozměru. Uvedené hodnoty tolerancí jmenovitých rozměrů jsou stanoveny při vlhkosti materiálu odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %, podrobněji je to popsáno v normě EN 324-1. Vlhkost vyrobené desky se musí pohybovat v rozmezí 4 - 11 %. Obsah formaldehydu v MDF deskách musí být menší než 8 mg/100 g desky pro emisní třídu E1 a menší než 30 mg/100g desky pro emisní třídu E2. Dále se stanovují vlastnosti bobtnání po 24 h, rozlupčivost, pevnost v ohybu nebo modul pružnosti v ohybu tyto vlastnosti jsou specifické pro každou tloušťkovou třídu, pro prostředí, kterému budou vystaveny, a účel použití. Například požadavky na desky pro všeobecné použití v suchém prostředí u nejvíce používané tloušťkové třídy pro nábytkářské účely 12-19 mm jsou hraniční hodnoty: bobtnání po 24 h ≥ 12 %, rozlupčivost $\leq 0,55$ N/mm², pevnost v ohybu > 20 N/mm² a modul pružnosti v ohybu $> 2\ 200$ N/mm² (Muzikář a kol. 2008; Hrázský, Král 2007; DDL).

2.4. Výhody MDF desek

- tyto desky se vyznačují tím, že mají v celém průřezu homogenní strukturu
- mají lepší mechanicko-fyzikální vlastnosti proti dřevotřískovým deskám
- při použití dalších přísad při výrobě MDF lze dosáhnout zlepšení některých užitných vlastností (lepší obrábitelnost, odolnost vůči ohni, odolnost vůči vlhkosti, odolnost vůči biotickým vlivům...) (DDL)

2.5. Nevýhody MDF desek

- při obrábění se musejí používat nástroje, jejichž řezné části (pilové zuby, frézovací nože) jsou opatřeny destičkami ze slinutých karbidů
- jsou v porovnání dražší než dřevotřískové desky
- mají vyšší prašnost při obrábění, než u rostlého dřeva
- mají vyšší hustotu než dřevotřískové desky i smrkové dřevo (ze kterého jsou vyrobené), z čehož vyplývá i jejich větší hmotnost

2.6. Použití MDF desek

Tyto desky se používají ve výrobě nábytku místo dřevotřískových desek všude tam, kde je požadavek na tvarové hrany. U MDF desek lze totiž díky velmi jemné struktuře různě tvarově profilovat jak hrany, tak i plochy. Uplatnění nacházejí při výrobě moderního i stylového nábytku, kuchyňského nábytku, nábytku do obývacích pokojů a ložnic, a to především jako nábytkové dveře, stolové desky s tvarovými hranami, přední části zásuvek

opláštěvané dekorativními fóliemi a v současnosti i dýhami. Využití nacházejí rovněž i při výrobě profilovaných lišt, nálisků a obkladových panelů. Z dalších možností použití přicházejí v úvahu například hračky, hudební nástroje, rakve (Muzikář a kol. 2008).

2.7. Technologie výroby MDF desek

2.7.1. Výběr a vlastnosti dřevní suroviny pro výrobu

Vstupní surovinou je dřevní hmota, která není tak náročná na kvalitu, jako je to například u povrchových vrstev dřevotřískových desek. Vhodnost dřeva pro výrobu vláknitých desek je nutno posuzovat podle určitých znaků:

- a) obsah hlavních složek ve dřevě – celulóza, hemicelulóza, lignin
- b) množství pryskyřice
- c) rozměry vláken
- d) počáteční vlhkost dřeva při rozvláknování
- e) poškození dřeva hnilobou

Obsah hlavních složek v suchém dřevě je 96%, ale v různých dřevinách je poměr jednotlivých látek různý. Jehličnaté dřeviny mají větší podíl celulózy a ligninu než měkké listnaté dřeviny, které mají naopak větší množství hemicelulózy. Z tohoto pohledu jsou pro výrobu vláknitých desek vhodnější jehličnaté dřeviny (Hrázský, Král 2007).

Také přítomnost pryskyřice ovlivňuje významným způsobem konečnou jakost vyráběných desek. Vyšší obsah pryskyřic negativně působí na mechanické vlastnosti vláknitých desek. Smrkové dřevo obsahuje přibližně 11 kg/m³ pryskyřice, což je o polovinu méně při porovnání s borovicí, která obsahuje 21 kg/m³. I přesto, že základních složek obsahuje přibližně stejný poměr, není pro značné množství pryskyřice vhodné pro výrobu vláknitých desek (Hrázský, Král 2007).

Z hlediska délky vláken jsou výhodnější opět jehličnaté dřeviny, které mají délku vláken 2,6 - 3,8 mm oproti měkkým listnatým dřevinám 0,7 - 1,7 mm. Větší délka elementárního vlákna umožňuje výrobu vláknitých desek s odpovídajícími mechanicko-fyzikálními vlastnostmi (Hrázský, Král 2007). Jiná literatura uvádí větší rozptyl jednotlivých délek vláken. U jehličnatého dřeva se délka může pohybovat už od 1,3 po 4,6 mm. Přičemž jedle bělokorá má rozmezí 3,4 - 4,6 mm. Listnatá dřeva mají délku svých libriforních vláken od 0,28 po 2,10 mm. Rozdílnost jednotlivých vláken se liší podle druhu dřeviny, zde jsou jen někteří zástupci nejčastěji používaní pro tuto výrobu (Štefka 2006).

Obsah vody ve dřevě má zásadní vliv na vlastnosti hotových desek. Nejvýhodnější je zpracovávat surovinu, jejíž vlhkost se pohybuje nad bodem nasycení dřevních vláken, optimálně mezi 45-55 % relativní vlhkosti (Hrázský, Král 2007). Pokud je vlhkost vyšší zvyšuje to náklady na vysoušení, ale i naopak pokud bude vlhkost nízká, zvyšují se náklady na dezintegraci (Štefka 2006).

Pro výrobu dřevovláknitých desek se surovina odkorňuje, kůra má totiž negativní vliv na mechanicko-fyzikální vlastnosti i při výrobě. Snižuje výkon defibrátoru, způsobuje zanášení sít odvodňovacího stroje nebo trhání vláknitého koberce (Hrázský, Král 2007).

Pro výrobu vláknitých desek se nesmí použít dřevo se známkami hniloby. Zejména co se týká měkké hniloby, která způsobuje veliké ztráty při defibraci. Použití takovéto suroviny vede ke snížení mechanických vlastností, protože pevnosti desky jsou závislé na pevnosti jednotlivých vláken uvnitř (Hrázský, Král 2007).

Při výrobě dřevovláknitých desek se nejčastěji používá jehličnatá surovina o něco méně listnatá a to převážně jen buk. Zpravidla se nezpracovává nejkvalitnější část kmene, ale spíše se jedná o slabší hmotu jako jsou vršky nebo oddenkové části kmene. Dále se zpracovává dřevní kusový odpad z pilnice (odřezky, krajiny) a drobný odpad (štěpky, piliny, hobliny) (Štefka 2006).

2.7.2. Skladování suroviny

Pro každou výrobu je nutná určitá více zásob suroviny. Tento faktor je nutné optimalizovat. Nízký stav zásob je ekonomičtější, ale neumožňuje překonávat krátkodobé cenové výkyvy suroviny nebo problémy při zásobování. Na druhé straně však ve vysokých zásobách je fixován kapitál, který nelze jinak využít, jsou pro to také nutné větší plochy, při kterých bude nutná rozsáhlejší mechanizace a tím bude narůstat i spotřeba pohonných hmot. Ovšem při skladování takovéto suroviny jako je dřevní hmota, je nutné brát v potaz i stav vlhkosti, která při dalším zpracování ovlivňuje náklady. Proto jsou v letních měsících menší zásoby, aby nedocházelo k přesychání, a v zimních měsících zpravidla větší. U dlouhodobého skladování mohou surovinu napadnout dřevokazné houby, což je také nežádoucí (Štefka 2006).

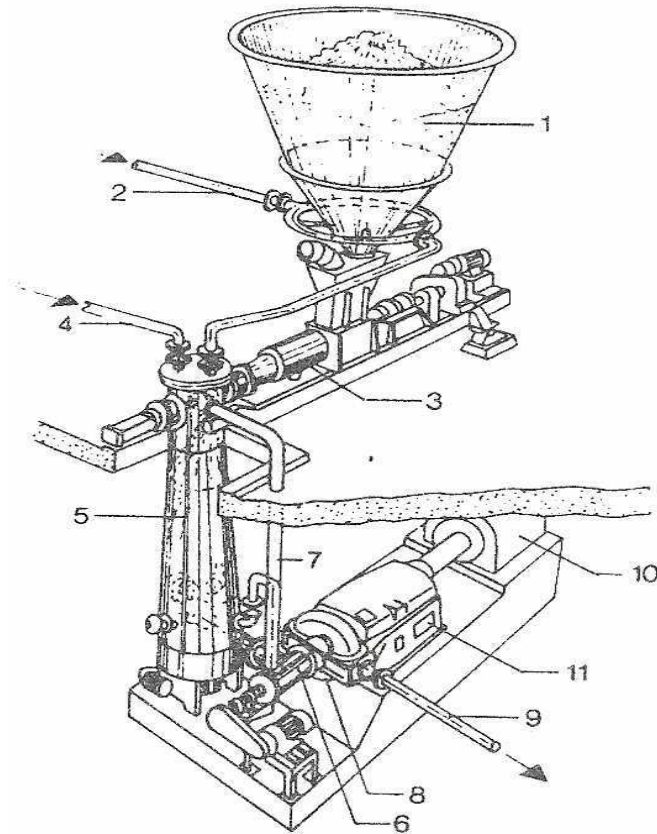
2.7.3. Úprava suroviny

Jedná se o procesy čištění, odkorňování a třídění. Tyto procesy jsou u každého výrobního závodu jiné, ale v určité míře se dělají všude. Při čištění se odstraňují především minerální, kovové nebo i jiné nežádoucí částice, které by mohli způsobovat větší opotřebení

nástrojů zejména při rozvlákňování. Kůra negativně ovlivňuje mechanicko-fyzikální vlastnosti desek, proto se ze vstupní suroviny odstraňuje. Poté se nechá využít na vyhřívání hydraulických lisů. Třídění je nutné provádět obzvláště v případě, že se zpracovává více druhů dřevin (Štefka 2006).

2.7.4. Dezintegrace dřeva

Pod pojmem dezintegrace se rozumí dělení rostlého dřeva na drobné částice (štěpky, třísky, vlákna, apod.) Při výrobě dřevovláknitých desek se nejprve vstupní surovina rozštěpkuje na kotoučových (diskových) nebo bubnových sekačkách (Obr. č. 2), uvedený v příloze. Důležité faktory, které ovlivňují štěpkování a můžeme je ovlivnit, jsou řezná síla a směr řezu. Dalšími faktory jsou hustota zpracovávané suroviny a vlhkost dřeva. S rostoucí hustotou se zvyšuje řezný odpor. Pro nejsnadnější štěpkování je nutné udržet vlhkost nad bodem nasycení dřevních vláken. Poté je štěpku nutné vytřídit podle velikosti na rovinných sítích. Příliš velké štěpky se dále upravují na domílacích mlýnech a příliš jemná frakce se nejčastěji spaluje. Následuje praní, při kterém se oddělují kovové nebo minerální nečistoty. Tyto nechtěné přísady způsobují vyšší opotřebení na rozvlákňovacím zařízení i na řezných nástrojích při obrábění samotné desky. Před vlastním rozvlákňováním je vhodné štěpky hydrotermicky upravit nízkotlakou parou. Je to z důvodu uspořené nákladů na spotřebu energie při rozvlákňování až na jednu pětinu. Poté jsou napařené štěpky přiváděny šnekovým dopravníkem k defibrátoru (Obr. č. 3). Tento šnek ze štěpek vylisovává vodu a snižuje tak obsah vlhkosti dřevní hmoty. Samotný defibrátor se skládá ze dvou hlavních mlecích kotoučů, z nich je jeden pohyblivý a druhý je pevný. Mlecí kotouče jsou opatřeny rýhovanými segmenty, mezi kterými se štěpky rozemílají. Tyto segmenty mají hrubé rýhování ve středové části až po nejjemnější rýhování po obvodové části, odkud se protlačené jemné vlákno odvádí (Hrázský, Král 2007; Štefka 2006).



Obr.č.3: Schéma rozvlákňovacího zařízení typu Defibrator-Rafinér (Štefka 2006)

- 1- zásobník s regulovatelným plněním a předhříváním odpadní parou,
- 2- zpětné vedení odpadní páry do zásobníku štěpek,
- 3- šnekový dopravník,
- 4- přívod čerstvé páry,
- 5- vertikální předehříváč,
- 6- šnekový dopravník,
- 7- zpětné vedení odpadní páry,
- 8- defibrátor-refinér,
- 9- vyprázdňovací potrubí „Blowline“,
- 10- pohon - motor rozvlákňovače,
- 11- uložení hnacího hřídele

2.7.5. Nanášení lepící směsi

Při výrobě MDF desek se používá zpravidla močovinoformaldehydová pryskyřice spolu s dalšími přísadami jako je parafín, tvrdidlo apod. Přesné chemické složení a jejich vzájemný poměr si výrobci přísně hlídají. Tato směs je přidávána injekčním způsobem do potrubí mezi mlecí komorou defibrátoru a sušárnou vlákna. Tento způsob se nazývá „Blow-

line“ a vylučuje tvorbu lepidlových skvrn u hotových desek, je bezporuchový a není potřeba drahé speciální nanášečky lepící směsi. Při tomto způsobu nanášení je asi o 10 % větší spotřeba lepící směsi než u klasických způsobů nanášení z důvodu odpaření části lepidla při sušení (Hrázský, Král 2007).

2.7.6. Sušení vlákna

Vlastní sušení vlákna probíhá v horizontálních proudových sušárnách (Obr. č. 4). Jsou vyhřívány spaliny zemního plynu nebo dřevního prachu. Při sušení se upravuje vlhkost vláken z původních 100 % na požadovaných 8-12 %. Z tohoto důvodu musejí být tyto sušárny vybaveny protipožárním signalizačním a hasícím zařízením. Dále jsou sušárny vybaveny kontinuálním měřicím zařízením pro určování výstupní vlhkosti vláken (Hrázský, Král 2007).

2.7.7. Skladování vlákna

Vysušené vlákno se skladuje z důvodu různého tloušťkového sortimentu vyráběných desek. Při výrobě desek o tloušťce 40 mm bude o dost větší spotřeba vlákna než u desky o tloušťce 8 mm. Skladování nesmí být příliš dlouhé, protože už máme nanesenou lepící směs a dále při skladování hrozí nebezpečí výbuchu.

2.7.8. Vrstvení vláknitého koberce

Při vrstvení vlákenného koberce se využívá výkyvná vrstvicí hlavice (pneumatický způsob) nebo vrstvicí hlavice využívající mechanický způsob. Mechanický způsob zabezpečuje rovnoměrnou vrstvu koberce pro všechny vyráběné tloušťky MDF desek a dosahuje vysoké přesnosti rozložení ploché hmotnosti napříč kobercem. Pneumatické vrstvicí zařízení mohou vyvolat znečištění ovzduší, neboť vzniká pneumatická cirkulace, i proto je zde vyšší nebezpečí vzniku požáru nebo výbuchu směsi vláken se vzduchem než u mechanického způsobu vrstvení (Hrázský, Král 2007).

2.7.9. Předlisování

Navrstvený koberec má značnou výšku (může být až 1m vysoký) a nízkou hustotu (okolo 25-50 kg/m³). Proto je nutné tento koberec stlačit, aby se snáze vešel do lisovacího zařízení. Po předlisování probíhá kontinuální způsob měření plošné hmotnosti a nevyhovující části se zpátky vracejí před vrstvicí zařízení. Další výhodou je odstranění okrajů, kde dochází k rozsypu a bývá tu nižší hustota. Tyto odstraněné okraje se opět vracejí před vrstvicí zařízení.

Předlisování probíhá kontinuálně mezi dvěma pásy, spodní pás nese koberec a pomocí horního pásu dochází ke stlačování. Horní pás je děrovaný, aby mohl unikat vzduch při stlačování (Hrázský, Král 2007).

2.7.10. Lisování desek

Po předlisování se nekonečně dlouhý koberec rozřeže na potřebné délky, které se ukládají do vkládacího zařízení před hydraulickým lisem. Hydraulický lis může být jedno etážový nebo více etážový. Při lisování jsou charakteristické tři údaje: teplota, lisovací tlak a doba lisování. Teplota se pohybuje mezi 210-220 °C (Hrázský, Král 2007), teoreticky může být až 260 °C (Štefka 2006), ale při vyšších teplotách dochází k tmavnutí desek. Lisovací tlak se pohybuje mezi 6 až 7 MPa (Hrázský, Král 2007), podle druhého zdroje 5 až 10 MPa (Štefka 2006). Lisovací doba se pohybuje od 3 do 10 minut, záleží na tloušťce výsledné desky, použitém lepidlu, lisovacím tlaku, použitých dřevinách nebo vlhkosti vláken.

2.7.11. Ochlazování

Po vyjmutí z hydraulického lisu má deska značnou teplotu okolo 150 °C a není vhodné ihned tyto desky skladovat na sebe. Proto dochází k ochlazování desek v takzvaném „hvězdicovém turniketu“, kde jsou desky volně uloženy a může mezi nimi proudit vzduch. Ochlazování v tomto zařízení trvá od 30 do 120 minut, záleží na tloušťce vyráběného sortimentu. Doporučuje se pokles teploty na 70 °C (Štefka 2006).

2.7.12. Formátování

Po ochlazení na přijatelnou teplotu je nutné desky formátovat. Desky se vyrábějí ve větších formátech než se s nimi dále pracuje a to z důvodů ušetření času zejména při lisování. Původní desky, které byly zalisovány mají rozměry cca 5800 x 2900 mm, se formátují na základní rozměry 1840 x 2750 mm. Důležité je ořezání okrajů, které jsou po zalisování otrhané. Při formátování se kontroluje plošnost desky. (Štefka 2006)

2.7.13. Klimatizace

Před dalším zpracováním je nutné nechat dokonale vytvrdit lepidlo, které při lisování vytvrdilo pouze na 70 %. Desky se ukládají do stohů na 3 - 5 dnů za účelem kondicionování. Dále se vyrovnává teplota a vlhkost v celém průřezu desky. Je vhodné, aby byla výrobní dávka pohromadě a nešla na další zpracování na více částí (Hrázský, Král 2007).

2.7.14. Povrchová úprava

Pro další zpracování ve firmě nebo prodeji zákazníkům je nutná povrchová úprava broušením. Broušení se provádí z důvodu tloušťkové egalizace a vyrovnání povrchu. Broušení probíhá na širokopásových bruskách s oscilační patkou a poslední broušení bývá zpravidla brusnými pásy o zrnitosti 150. Pokud zákazník požaduje jemnější broušení, například pro následné stříkání, je možné brousit i jemnějšími brusnými papíry. Podle strojního vybavení jsou doporučovány podávací rychlosti od 18 do 60 m/min a rychlost brusného pásu 1500 m/min. Tloušťková tolerance se pohybuje v rozmezí 0,1 - 0,2 mm. Jako brusivo se nejčastěji využívá karbid křemičitý a oxid hlinitý. Při každém broušení je důležité zabezpečit účinné odsávání prachu (Hrázský, Král 2007).

2.7.15. Kontrola kvality

Aby mohli být desky dodávané na tuzemský i evropský trh, musí splňovat všeobecné požadavky, které jí udává norma EN 622-1, a i příslušné požadavky stanovené v normě EN 622-5. Podle druhů desky a jejího použití se určí podle jakých kritérií se bude hodnotit. Všeobecně platí, že rozeznáváme: nenosné desky, nosné desky, lehké nenosné MDF desky, ultralehké nenosné MDF desky a desky pro použití jako střešní a stěnová bednění. Zpravidla jsou stanoveny dvě kritéria použití pro každou z těchto desek a to ve vlhkém prostředí a v suchém prostředí.

Zkoušky se provádějí dvojnásobným způsobem: mezioperační a kompletní zkouška. Kompletní zkouška se dělá každých 8 hodin a při změně tloušťkové třídy nebo receptury lepící směsi. Průběh této zkoušky simuluje co nejvíce reálný proces. To znamená, desky jsou 24 hodin klimatizovány, přebroušeny a až poté se z desek vyřezává potřebný počet zkušebních tělísek. U mezioperační zkoušky se odebere vzorek z desky po formátování a zkoušejí se nejdůležitější vlastnosti. Výsledky jsou známi velice brzo, aby se mohli některé nevycházející hodnoty upravit.

Mezi nejvíce důležité zkoušky patří bobtnání po 24 h (EN 317), rozlupčivost (EN 319), pevnost v ohybu (EN 310), modul pružnosti a ohybu (EN 310), zkouška vlhkosti (EN 323) a zkouška obsahu uvolnitelného formaldehydu (EN 120). Každá z těchto zkoušek musí probíhat podle přesně stanovených postupů, které jsou uvedené v normě za danou zkouškou v závorce. Pokud desky nesplní požadavky, nemůžou být desky prodávány pro účel, ke kterému byly vyrobeny. Spadnou desky do kategorie, u které jsou nižší požadavky, pokud tyto požadavky splní. Pokud ale nastane varianta, kdy nedokáže splnit ani ty nejnižší kritéria, jsou desky rozštěpovány a mohou být použity na další zpracování, ale už ne na výrobu MDF

desek. Dále se stanovuje hustotní profil napříč tloušťkou desky podle normy (EN 323). Pro speciální použití mohou být požadovány informace o některé z vlastností uvedených (v Tab.č.1). Jde o doplňkové vlastnosti, které na požádání poskytuje výrobce. U desek, které jsou obroušené, se zpravidla měří tolerance jmenovitého rozměru: tloušťka, délka a šířka (EN 324-1); tolerance pravouhlosti (EN 324-2) a tolerance přímosti boků (EN 324-2).

Tab.č.1: Doplňkové vlastnosti (norma ČSN EN 622-5)

Vlastnosti	Metoda zkoušení
Odolnost proti vytažení vrutu	EN 320
Přídržnost povrchu	EN 311
Rozměrové změny	EN 318
Absorpce povrchu	EN 382-1
Obsah písku	ISO 3340
Odolnost proti vytažení spojovacích prostředků	EN 13446
Spojovací prostředky pro dřeva	EN 13271
Charakteristické únosnosti a moduly posunutí	

2.7.16. Opracovávání MDF desek

Opracovávat MDF desky lze stejným způsobem jako masivní dřevo. Je nutno brát v potaz, že tyto desky mají určitý podíl lepidla, které daleko více otupuje nástroje než samotné dřevo. Pro řezání a další obrábění se musí používat nástroje opatřené SK plátky. Tyto plátky jsou velice tvrdé, ale zároveň velice křehké. Proto je nutné při obrábění dávat pozor, aby nedocházelo k rázům, které by mohly poškodit jejich ostří. U MDF desek je obrovská výhoda, že je v celém průřezu homogenní materiál, proto lze jej použít k vytváření jakýchkoli profilů. Je však výhodné se vyhýbat ostrým hranám, které jsou velmi náchylné na poškození. Hlubší profily je výhodnější vyrábět ve dvou fázích, v první vytvořit hrubý tvar profilu a v druhé fázi tento tvar začistit na vysokou kvalitu povrchu (Hrázský, Král 2007).

Při frézování mohou vznikat na povrchu vlnovité nerovnosti a to v závislosti na počtu břitů, otáčkách nástroje a na rychlosti posuvu. Počet vlnek na jednotku délky (cm) je rozhodujícím faktorem určování kvality obrábění. Při obrábění MDF materiálů, které mají jemnější strukturu, je nutné pro dobrý jakostní povrch dosáhnout minimálně 8 vlnek na cm. Pro srovnání u masivního dřeva je vyhovující 6 vlnek na délku 1 cm. Při strojním obrábění jsou doporučené úhly (Obr. č. 5). Při frézování se doporučuje volit úhel sklonu nože cca 10° vůči řezné ploše, aby nedocházelo k vysokému zatížení nože při záběru v řezné ploše. Podle

velikosti otáček pohonné hřídele a podle počtu nožů musíme zvolit příslušnou rychlost posuvu, aby byla obrobená plocha kvalitní (Hrázský, Král 2007).

Po obrábění řezáním nebo frézováním musíme plochu, hranu nebo vytvořený profil přebrousit. Při broušení úzkých bočních ploch, je nutné dbát zvýšenou pozornost neboť při něm dochází k odstranění přeřezaných vláken při profilování a rovněž jsou vyhlazovány stopy po opracování frézovacím nebo řezným nástrojem. Výhodné je broušení strojními oscilačními pásovými bruskami, kterými jsou dosahovány konstantní výsledky a kvalitní povrchy. Pokud složitější profil nedovoluje strojní broušení, je nutné dílce dobrousit ručně. Pro tyto účely se používají brusné houbičky. Při obou druzích broušení se používají brusné prostředky o zrnitosti 180 - 360 podle požadované kvality. Tyto dílce jsou v další fázi dokončovány nanášením nátěrových hmot, nalepením tenkých dekoračních fólií nebo impregnovaných papírů. Proto je nezbytné, aby byl povrch kvalitně dokončen neboť každá nerovnost je na výsledném povrchu znát a prakticky se už nedá odstranit. Tuto fázi také velice ovlivňuje kvalitní odsávání, kdyby zůstával brusný prach na povrchu, znemožňovalo by to dokončení povrchu (Hrázský, Král 2007).

Prach vznikající při strojním obrábění a to zejména broušení MDF je svou jemností podobný prachu při obrábění tropických dřevin. Proto se doporučuje větší průřez odsávacího zařízení a výkonnější odsávání než se instaluje při obrábění masivního dřeva. Vzhledem k tomu, že se jedná o velice jemný prach unášený vzduchem, je tato směs velice náchylná na vznícení nebo explozi. Proto takovéto odsávací zařízení musí být opatřeno detektorem jisker a následným automatickým hasícím zařízením. Kdyby už nastala exploze je nutné zabudování protiexplozních membrán, které minimalizují případné způsobené ztráty na životech i majetku. Tento prach je dále využíván díky své dobré zápalnosti při spalování na výrobu tepla pro vyhřívání hydraulických lisů, sušáren nebo vytápění výrobních hal a administrativních budov (Hrázský, Král 2007).

2.7.17. Dokončování MDF desek

Pro běžné využití a to zejména v nábytkářském průmyslu je nutné tyto materiály povrchově dokončit. Povrchové úpravy mají dvě základní funkce: ochrannou a estetickou. Ochranná funkce zabraňuje nebo minimalizuje mechanické poškození (poškrábání, odření, uražení hrany, apod.), chrání samotnou desku před vlhkostí, ušpiněním a poleptáním, před slunečním zářením a ostatními klimatickými vlivy. Estetická funkce vylepšuje vzhled desky a barevnost, vytváří příjemný pocit při užívání. Povrchovou úpravu lze provádět dvěma základními postupy: mokrý a suchý způsob.

Mokrý způsob se provádí nanášením tekutých nátěrových hmot. Při strojním nanášení nátěrových hmot na MDF desky se nejčastěji využívá technologie navalování na plošné dílce a pneumatické stříkání na boční plochy a profilové dílce. Pro dokončování lze použít jakékoli nátěrové hmoty určené na dřevo a výrobky z něj, ale při vyšším technologickém zpracování je důležité neefektivní časy při vytvrzování zkrátit na minimum. Proto se nejčastěji využívají nátěrové hmoty, které se vytvrzují pod UV lampami. Doba vytvrzení se zkrátí až na několik sekund. Po nanesení základní vrstvy se povrch přebrousí zpravidla brusným papírem o zrnitosti 320, po dokonalém odsání prachu se nanáší konečná vrstva (Muzikář a kol. 2008).

Suchý způsob dokončování povrchu MDF desek spočívá v nalepování dýhy, laminovaného papíru nebo fólie. Kromě dýh, u kterých se musí po nalepení na desku ještě nalakovat, není potřeba provádět žádnou další úpravu. Laminování lze provádět pouze na rovné dílce a tudíž se eliminuje jejich výhoda, oproti výrazně levnější dřevotřískovým deskám, vytváření profilů. Proto se laminování MDF desek moc nevyužívá. Klasické dýhování je nutné provádět také pouze na rovné dílce, tato úprava se dělá u dražšího exkluzivnějšího nábytku. Druhou možností je nalepování mikro dýh, které jsou podlepeny textilií nebo papírem, a které lze nalepovat na mírně profilované desky bez ostrých hran, jenž by mohli dýhu prorazit. Nejvíce využívanou povrchovou suchým způsobem je nanášení termoplastických fólií, které lze bez problémů nalepovat na různě profilované MDF desky. Tyto dílce jsou nejčastěji využívány na výrobu nábytkových dvířek. Lisování se provádí nejvíce v membránových vakuových lisech (Hrázský, Král 2007).

3. Drsnost povrchu

Nerovnosti povrchu mohou být zařazeny do čtyř tříd:

- odchylka tvaru: nejdelší délka vlny, nechtěný výsledek nedokonalosti obrábění
- vlnitost: kratší vlnky, které jsou odchylkami od tvaru, vliv procesu kinematiky
- drsnost: výsledek interakce obrobek - nástroj, ovlivněný geometrií a naostřením nástroje, vibracemi stroje, obrobku nebo podavače
- mikro-drsnost: mikroskopické nerovnosti povrchu vyplývající z anatomické stavby obrobku (Adamcová 2010)

V této diplomové práci se zabývám pouze drsností povrchu, protože je jasně definovaná a snadno měřitelná.

3.1. Význam drsnosti povrchu

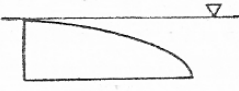
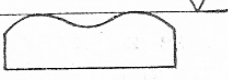
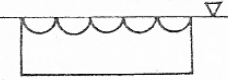
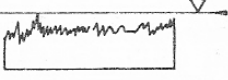
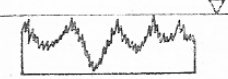
Vztah mezi funkcí a jakostí povrchu je podle technologických metod možné rozlišovat podle dvou hledisek. Prvním je prostorové uspořádání (textura, morfologie) povrchu, které je vyjadřováno především jeho drsností. Druhým hlediskem jsou fyzikální a chemické vlastnosti povrchové vrstvy součásti (Bumbálek a kol. 1989).

Podstatný vliv na jakost funkčních ploch strojních součástí má mikrogeometrie (drsnost) povrchu. Její význam ještě více vynikne, je-li uvažována v souhrnu vlastností zabezpečujících vhodnost výrobku pro danou funkci. Vztah mezi drsností povrchu a funkčními požadavky významných a důležitých ploch není přesně stanovena, protože nejsou a ani nemohou být přesně stanovena všechny údaje o funkci plochy. Zejména by jsme museli znát, co a jak specifikovat, aby bylo možné vyjadřovat odolnost hodnocených ploch proti určitým druhům namáhání (Bumbálek a kol. 1989).

Jedním z předpokladů řešení jakosti je určování drsnosti povrchu, a to v závislostech na vlastnostech použitého materiálu, metodách dokončování, pracovních podmínkách, na nástrojích, obráběcích strojích a dalších konstrukčních i technologických parametrech. Určení a přesnému definování vztahů mezi drsností povrchu, funkčními ukazateli a technologickými činiteli je předpokladem ovlivňování parametrů jakosti. Funkce každé součásti je tedy úzce spojena s povrchem obrobenej plochy. To proto, že funkční vlastnosti povrchu jsou do značné míry určovány jeho geometrickými parametry. Přesnost dodržení předepsaných geometrických parametrů je dána souhrnem jejich odchylek od ideální geometrie. Úchylky jsou definovány jak rozdíly skutečného tvaru plochy a tvaru jmenovité plochy (ideální geometrie). Vznikají v důsledku nedokonalosti a nepřesnosti při výrobě. Úchylky se dají

klasifikovat do skupin podle (Tab. č. 2). Příčiny vzniku těchto úchylek je možné hledat zejména v kinematice procesu výroby funkčních ploch, v mechanismu vytváření nového povrchu a ve chvění celého systému stroj, nástroj, obrobek. První z uvedených příčin ovlivňuje periodickou složku nerovností, druhá je náhodná (aperiodická) a třetí může ovlivnit obě složky (Bumbálek a kol. 1989).

Tab. č. 2: Klasifikace úchylek povrchu (Bumbálek a kol. 1989)

Řád	Druh úchyly	Znázornění úchyly	Příčiny vzniku úchyly
1	Úchyly tvaru		Špatné upnutí, prohnutí obrobku, chyby ve vedení stroje, opotřebení
2	Vlnitost		Chvění stroje, nástroje, nesprávné upnutí
3	Drsnost — periodický profil		Tvar nástroje, řezné podmínky (posuv)
4	Drsnost — aperiodický, náhodný profil		Mechanismus vzniku nového povrchu
1 až 4	Celkový profil		Spojení úchylek 1 až 4

Profil nerovností je rozdělen na složky odpovídající jednotlivým parametrům geometrické nepřesnosti. Tvar a vlnitost jsou označovány jako makrogeometrie, drsnost povrchu jako mikrogeometrie (Bumbálek a kol. 1989).

Nepravidelnosti, které jsou na obrobené ploše viditelné a dají se zhotovit i hmatem, velmi úzce souvisí s vlastním výrobním procesem, kterým hodnocená plocha vznikla. Proto je taková plocha kvalifikována jako drsná nebo hladká. Metody hodnocení pomocí hmatu vyžadovali vždy mít k dispozici značné množství materiálů i součástí, se kterými se výrobek srovnával, což bylo značně nákladné (Bumbálek a kol. 1989).

3.2. Vytváření povrchu

Nerovnosti, které se objevují na obrobené ploše, mají v mnoha případech určité charakteristické uspořádání, které je výsledkem vzájemných geometrických a kinematických vztahů nástroje a obrobku, doprovázených některými fyzikálními jevy. Podle podmínek obrábění, druhu materiálu obrobku, materiálu nástroje se to projeví buď na změně charakteru

povrchu, nebo změně vlastností povrchové vrstvy. Nejvýznamnější vliv na výsledný tvar obrobené plochy má tvar hrotu zubu řezného nástroje, který je definován v rovině rovnoběžné se základní rovinou, poloměrem zaoblení, hlavním úhlem nastavení a vedlejším úhlem nastavení. Dalším činitelem, který charakterizuje kinematický vztah mezi zubem nástroje a obrobkem, a která má významný vliv na drsnost povrchu, je rychlost posuvu obrobku do řezu. Tato veličina je u všech metod obrábění nejvýznamnější z řezných podmínek, jehož rozmezí stanovuje výrobce strojního zařízení a výrobce nástroje (Bumbálek a kol. 1989, Škoda 1949).

Z metodického hlediska můžeme rozlišovat teoretickou drsnost povrchu a skutečnou drsnost povrchu. Teoretická drsnost povrchu může být geometricky určena za předpokladu, že: obráběný materiál je považován za absolutně nedeformovatelný, ostří nástroje tvoří geometrické čáry a systém stroj-obrobek-nástroj je absolutně tuhý. Pak je možné stanovit teoretickou drsnost povrchu, respektive teoretickou největší výšku nerovností ze vzorců odpovídajících schématům kinematiky odebírané třísky. Skutečná drsnost povrchu se do velikosti a tvaru odlišuje od vypočítané teoretické hodnoty, kdy teoretická drsnost je mnohokrát menší než skutečná. Příčiny takového rozdílu přikládáme materiálovým a technologickým parametrům. Z hlediska materiálových je nutné vědět, že řezání je procesem plastické deformace, která se mění s řeznými podmínkami. Mezi technologické činitele můžeme zahrnout chvění nástroje i obráběné součásti, v nerovnosti ostří řezného nástroje, jeho opotřebení i případná změna řezného prostředí apod. Podstatnější vliv na zhoršení drsnosti obráběné plochy dílce mají materiálové parametry, které na rozdíl od technologických nelze snadno omezit. Tyto materiálové činitele jsou ovlivňovány fyzikálními vlastnostmi obráběného materiálu a také podmínkami zatěžování, které vyvolává nástroj působící na obrobek během řezání (Bumbálek a kol. 1989).

Obrábění je technologický proces, kdy nový povrch vzniká oddělením částic materiálu ve tvaru třísek řezáním. Řezání je procesem plastické deformace, jejíž průběh je ovlivňován vlastnostmi obráběného materiálu a podmínkami, za kterých probíhá. Nejvýznamnějším z těchto podmínek jsou deformační rychlost a teplota. Z hlediska povrchu je nutné se zaměřit na tu fázi plastické deformace, kdy se odřezávaný materiál odděluje ve tvaru třísky. Oddělení třísky je poslední fází plastické deformace, a proto je možné hodnotit tuto fázi jako jednu z forem lomu a výsledný povrch jako lomovou plochu (Bumbálek a kol. 1989).

3.3. Základní pojmy drsnosti povrchu (Bumbálek a kol. 1989, norma ČSN EN ISO 4287)

V důsledku používání různých technologických operací vznikají na povrchu strojních součástí nerovnosti. Technologické faktory způsobující nerovnosti povrchu současně ovlivňují i vlastnosti povrchové vrstvy materiálu součástí (mikrotrhliny, strukturní poruchy aj.)

V *souřadnicovém systému* 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 se střední čárou, osa Y také leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje s povrchem (z materiálu do okolního prostředí). Tato konvence je přijata v mezinárodní normě ČSN EN ISO 4287.

Tvar nerovností povrchu může být velmi rozmanitý. To lze dokumentovat řadou povrchů dokončených různými metodami obrábění (Obr. č. 6). Zobrazené povrchy ohraničují součást a oddělují ji od druhého prostředí - jsou to skutečné povrchy, proti povrchům jmenovitým, ideálním, jejichž jmenovitý tvar je určen výkresem nebo jinou technickou dokumentací.

Základní povrch je takový povrch, od kterého se vyhodnocují veličiny drsnosti povrchu. Má tvar jmenovitého povrchu a jeho poloha odpovídá obecnému směru skutečného povrchu v prostoru. Jeho poloha může být stanovena například matematicky metodou nejmenších čtverců.

Skutečný povrch vymezuje těleso od okolního prostředí. Tento povrchu nejlépe ukazuje, jaký přesný tvar má povrch tělesa.

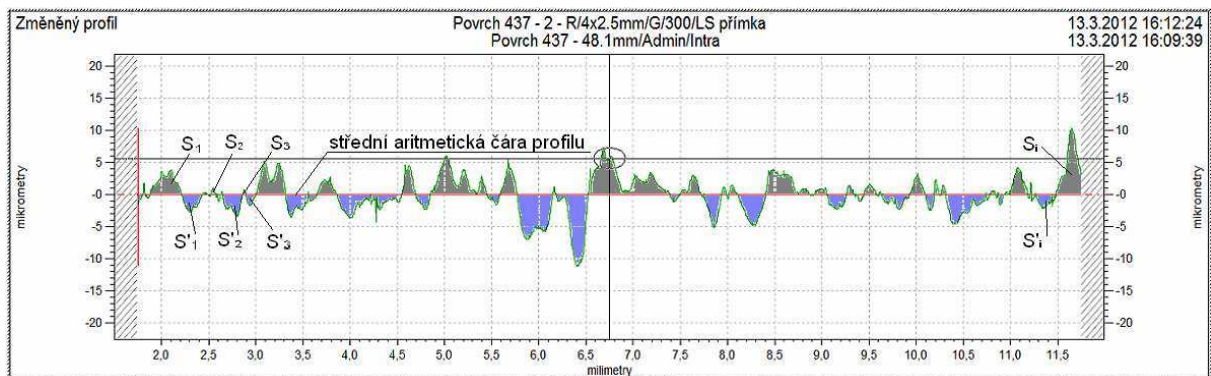
Skutečný profil povrchu získáme, když provedeme kolmý (šikmý) řez k základnímu povrchu, na kterém nejlépe pozorujeme tvar skutečného povrchu (Obr. č. 7).

Profil drsnosti je odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru λ_c a krátkovlnných složek λ_s . Profil je úmyslně pozměněn (Obr. č. 8).

Filtr profilu rozděluje povrch na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. Pro měření drsnosti je důležité odfiltrovat kratší složky vln přítomné v povrchu použitím filtru λ_s a delší vlny, které definují vlnitost povrchu, filtrem λ_c .

Střední čára základního profilu má tvar jmenovitému profilu, je ekvidistantní se směrem skutečného profilu a rozděluje skutečný profil tak, že v rozsahu základní délky jsou součty ploch po obou jejich stranách stejné (Obr. č. 9).

$$\sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n S'_i$$



Obr. č. 9: Příklad střední aritmetické čáry profilu - graf jemného broušení po druhé vrstvě nátěrové hmoty vzorek (č. 1)

Základní délka je délka základní čáry užívaná pro oddělení nerovností charakterizující drsnost povrchu od jiných geometrických úchylek, jako je například vlnitost povrchu aj. Tato základní délka leží ve směru osy X.

Vyhodnocovaná délka leží také ve směru osy X. Používá se pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Vyhodnocovaná délka může obsahovat jednu nebo více základních délek, zpravidla jich však obsahuje pět.

Pojezdová délka je delší než vyhodnocovaná délka o 20%, protože musíme počítat nájezdovou a dojezdovou délku. Jsou to vzdálenosti, které přidáváme, abychom se dopouštěli co nejmenších chyb při najíždění a vyjíždění měřicího hrotu na obrobku.

Místní výstupek profilu je část skutečného profilu, která leží mezi dvěma sousedními nejnižšími body profilu. *Místní prohlubeň profilu* je naopak ta část, která leží mezi dvěma sousedními nejvyššími body profilu.

Výstupek profilu je část skutečného profilu, spojující dva jeho sousedící průsečíky se střední čarou profilu ležící na ose X. Výstupky směřují z materiálu do okolního prostředí.

Prohlubeň profilu je ta část profilu, která směřuje z okolního prostředí dovnitř do materiálu. Je vymezena dvěma sousedícími průsečíky střední čáry ležící na ose X.

3.4. Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu (Bumbálek a kol. 1989, norma ČSN EN ISO 4287)

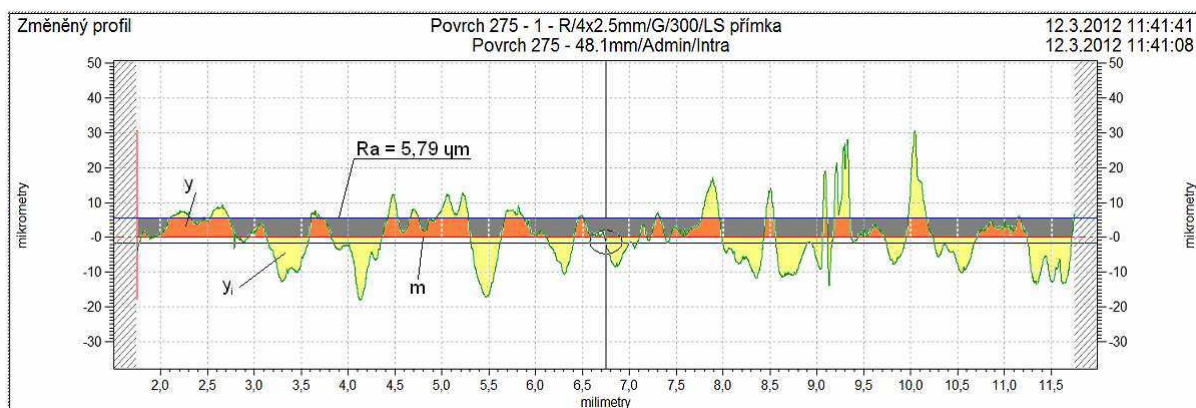
Požadavky na drsnost povrchu se daří vyjádřit pomocí různých ukazatelů, které měřený povrch charakterizují jednou nebo několika veličinami příslušné hodnoty a základní délkou, na které se veličina určuje. Jedná se o následující ukazatele:

Střední aritmetická úchylka profilu R_a je přednostní výškovou charakteristikou drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky (Obr. č. 10). Geometricky se tato hodnota interpretuje výškou obdélníku sestaveného na střední čáře a o shodné ploše jako nerovnosti profilu, uzavřené profilem od střední čáry. Nevýhoda tohoto ukazatele je, že udává pouze střední hodnotu, ale neuvádí nic o jeho vlastnostech jako je členitost povrchu, pórovitost, porušení povrchu rýhami nebo trhlinami. Výhodou tohoto ukazatele je jednoduchost při určování, snadnost měření a přesnost. I proto je tato charakteristika základní pro popis mikrogeometrie povrchu.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y(x_i)| \quad \text{nebo} \quad R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

$y(x)$ - funkce popisující profil

n - počet bodů profilu povrchu na základní délce

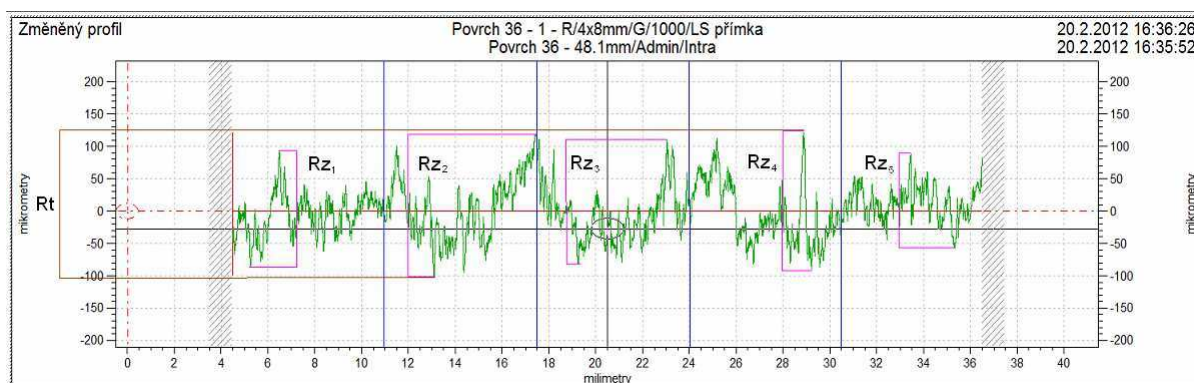


Obr. č. 10: Příklad vyjádřené hodnoty R_a - graf povrchu po frézování a první vrstvě nátěrové hmoty vzorek (č. 1)

Výška nerovností profilu R_z je definována jako součet nejvyššího výstupku profilu Z_p a nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky. Dříve se tato hodnota vyjadřovala jako střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky. Pro přepočítání hodnoty R_z na R_a lze použít vztah:

$$R_z = K \cdot R_{\alpha}^B,$$

Tato hodnota je většinou využívána pouze jako doplňkové měřítko drsnosti povrchu. Jako míra drsnosti povrchu má u funkčních povrchů poměrně malý význam, protože v řadě případů nevyjádří správně drsnost povrchu. Například hlubší rýha u poměrně hladkého broušeného povrchu ovlivní měřenou hodnotu R_z , a tím i názor na celkovou drsnost, eventuálně jemnost zkoumaného povrchu.



Obr. č. 11: Příklad největší výšky profilu $R_z = 202,9 \mu\text{m}$ a celková výška profilu drsnosti $R_t = 221,1 \mu\text{m}$ - graf povrchu po řezání pásovou pilou bez povrchové úpravy vzorek (č. 20)

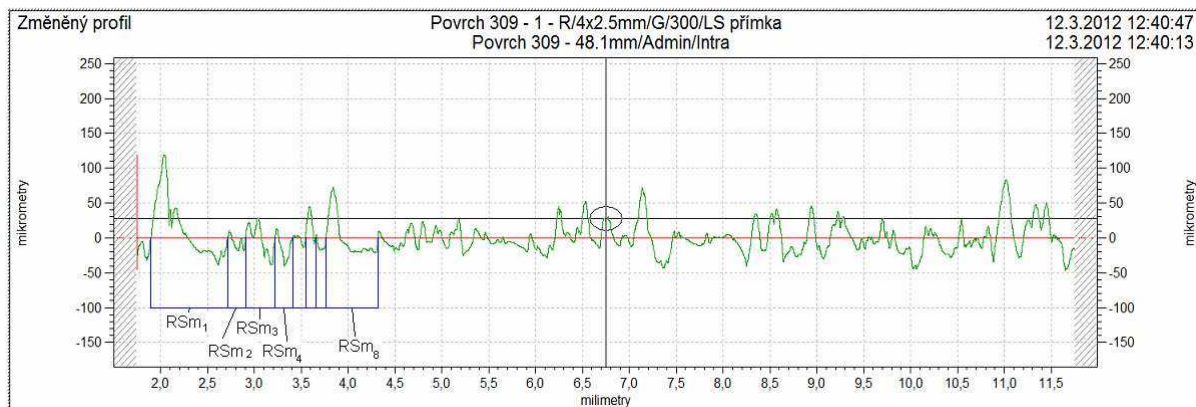
Celková výška profilu R_t je definována jako součet nejvyššího výstupku profilu Z_p a nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu vyhodnocované délky (Obr. č. 11).

Průměrnou šířku nerovností profilu RS_m definuje aritmetický průměr šířek X_{s_i} prvků v rozsahu základní délky (Obr. č. 12), neboli určuje šířky prvků profilu v rozsahu základní délky.

$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i}$$

m - počet roztečí na střední čáře profilu

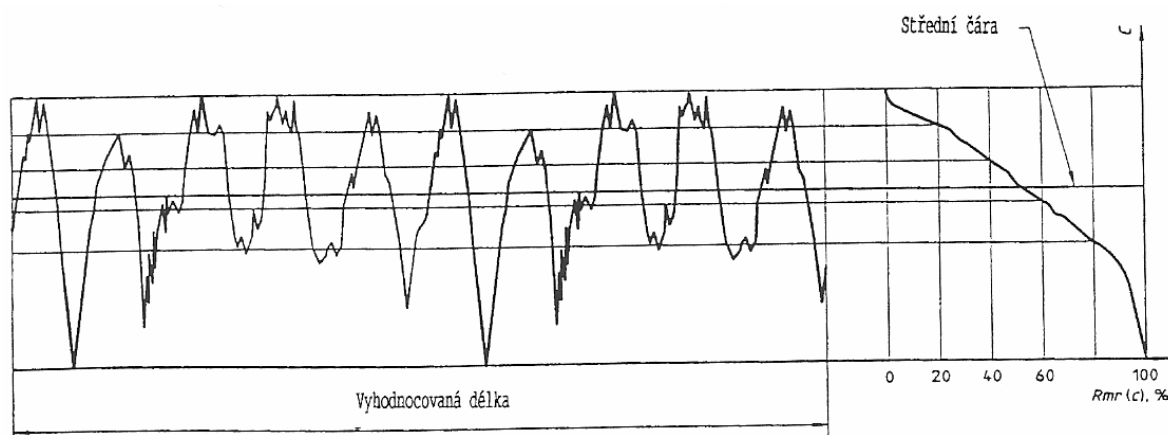
Střední šířka nerovností profilu je charakteristikou drsnosti povrchu v podélném směru povrchu. Tento parametr slouží pro délkové (frekvenční) ocenění drsnosti povrchu, zvláště pro zhodnocení základní periodické složky v profilu povrchu. Například u soustružených povrchů se hodnota střední šířky (rozteče) nerovností profilu rovná hodnotě posuvu.



Obr. č. 12: Příklad šířky prvků profilu $RSM = 378,9 \mu\text{m}$ - graf povrchu po řezání kotoučovou pilou a první vrstvě nátěrové hmoty vzorek (č.1)

Materiálový poměr profilu $Rmr(c)$ (nosný podíl) je dán poměrem (%) délky materiálu elementů profilu $MI(c)$ na dané úrovni c , k vyhodnocované délce.

$$Rmr(c) = \frac{MI(c)}{ln}$$



Obr. č. 13: Materiálový poměr profilu stanoví podíl materiálu $Rmr(c)$ profilu jako funkci řezné výšky c (Abbott-Firestonova křivka) (norma ČSN EN ISO 4287)

Tento faktor určuje složení materiálu, například při zvolené hodnotě 20 % bude poměr materiálu a volných míst vyplněných vzduchem ve prospěch vzduchu, ale při zvolené hodnotě 90 % bude takřka celý profil složený z obráběného materiálu, jen v pouze malých částech budou rýhy vyplněné vzduchem.

3.5. Nenormalizované charakteristiky drsnosti povrchu (Bumbálek a kol. 1989, norma ČSN EN ISO 4287)

Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu Rq je dána kvadratickým průměrem pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky, lze jej vypočítat ze vztahu:

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

Stejně jako Ra se Rq využívá pro výškové (amplitudové) zhodnocení profilu povrchu. Důvod je dvojitý: buď nutnost vyhodnocování na starších profilometrech, nebo snaha citlivěji vyjádřit úchyly od homogenního profilu povrchu. Často se uvádí, že hodnoty Ra a Rq jsou prakticky rovnocenné při úvaze nepřesnosti vlastního měření, či výběru místa měření. Běžně se uvádí $Rq \approx 1,1 Ra$. Broušené povrchy mají konstantu o hodnotě 1,2 až 1,3.

Šikmost posuzovaného profilu Rsk je dán podílem průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky, vyjádřeno ve vztahu:

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{l} \int_0^l |Z^3(x)| dx \right]$$

Tato veličina udává posunutí funkce hustoty pravděpodobnosti proti Gaussovu normálnímu rozložení. Číselné hodnoty šikmosti udávají, jak se funkce hustoty pravděpodobnosti posouvá buď k vrcholům (záporné hodnoty), nebo k prohlubním (kladné hodnoty). Souměrné hodnoty povrchu kolem střední čáry profilu vykazují nulovou asymetrii. Šikmost je významnou hodnotou pro posouzení platnosti měření charakteristiky Ra , Rsk musí být vždy ≤ 2 .

Špičatost posuzovaného profilu Rku je dán podílem průměrné hodnoty čtvrtých odmocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky, ve vztahu:

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{l} \int_0^l |Z^4(x)| dx \right]$$

Veličina udává zúžení nebo rozšíření funkce hustoty pravděpodobnosti proti normálnímu rozložení. Hodnota špičatosti je využívána také pro kvantifikaci nosné křivky. Nulová hodnota špičatosti odpovídá normálnímu rozložení souřadnic jednotlivých bodů profilu povrchu. Šikmost v podstatě udává, jak se posouvá maximum souřadnic jednotlivých bodů křivky profilu povrchu v rozmezí Rz , špičatost pak určuje množství těchto souřadnic.

4. Drsnost MDF desek

4.1. Faktory ovlivňující drsnost povrchu u MDF desek

Vzhledem k tomu, že se jedná o přírodní materiál vyrobený ze dřeva, je i tento materiál porézni. Při rozvláknění a opětovnému slisování za pomoci močovinoformaldehydového lepidla dochází k vytvoření homogenního materiálu, ale při podrobnějším zkoumání zjistíme, že každé jednotlivé vlákno má trochu jiný tvar, jinou délku, je jinak zafixováno, apod. S těmito vlastnostmi se musí počítat i při měření drsnosti na deskách MDF. Podobně jako u rostlého dřeva a ostatních aglomerovaných materiálů vyrobených z něj musíme připouštět různé faktory, které ovlivňují proces obrábění, kvalitu výsledné plochy a tedy i drsnost povrchu. Tyto faktory můžeme v zásadě rozdělit technologické, které jsou dány procesem obrábění, a které můžeme ovlivnit například vhodnou volbou nástroje, správně naostřeným, dokonale seřízeným strojem, použitím předepsaných otáček, apod. Druhá skupina faktorů je ovlivněna samotným obráběným materiálem, jde o vlhkost, hustotu a směr vláken (Čížek 1985).

Kvalitu povrchu ovlivňují tyto faktory:

- technologické parametry - řezná rychlost, rychlost posuvu, hloubka řezu
- geometrie nástroje - poloměr, úhel čela, úhel břitu a ostří
- obrobky - kombinace různých materiálů a jejich vlastnosti
- druh a kvalita použitého stroje a nástroje
- použité pomocné nástroje: podavač apod.
- vibrace obrobku mezi strojem a nástrojem

Tyto faktory jsou uvádí zdroj (Mfg).

4.1.1. Vlhkost desek

Při výrobě mají desky vlhkost 4 - 11 %, po klimatizaci se vlhkost vyrovnává na hodnotu okolo 10 - 12 %. Tato vlhkost je vhodná i pro obrábění, následné dokončení a použití jako nábytek do interiéru. Při moc vysoké vlhkosti se vlákna nadzvedávají a tvoří hrubý povrch, čímž se zvyšuje i drsnost povrchu. Při moc nízké vlhkosti mohou být problémy s brusným prachem, který je při příliš nízké vlhkosti velice nebezpečný. Musí se zvolit určitý kompromis. Optimální variantou může být navlhčení povrchu mezi prvním a druhým jemnějším broušením, při kterém se nadzdvihnutá vlákna přebrousí a povrch je velice hladce dokončen. Vlhčení se provádí z obou stran, aby nedocházelo k možnosti zborcení desky. Vlhčí se čistou

horkou vodou a pro ještě lepší výsledek lze přimístit řídký roztok vhodného lepidla (velice se osvědčit kožní klič). Čímž dojde nejen k nadzvednutím vláken, ale i ke zpevnění povrchu. Problémy nastávají při nerovnoměrné vlhkosti ve středu desky a na okrajích, po obrábění sice povrch vypadá rovně, ale po vyrovnání vlhkosti už tomu tak není (Čížek 1985).

4.1.2. Hustota desek

Hustota desek ovlivňuje nejen průběh samotného obrábění, ale i jeho výsledek. Větší hustota znamená více stlačené vlákna, které mají větší tvrdost. Proto je nutné zvolit větší otáčky obráběcího nástroje, a to dá za důsledek hladší povrch. Vlákna jsou kvalitněji přeřezána a nedochází v takové míře k vytrhávání vláken z obráběné plochy. Když obrábíme desky s nižší hustotou nemusíme volit tak veliké řezné rychlosti jako u desek s větší hustotou a ušetříme náklady, nebo můžeme zvolit větší podávací rychlost a dokážeme ušetřit čas, při shodné kvalitě obráběné plochy (Čížek 1985).

4.1.3. Směr vláken

Směr vláken ovlivňuje obrábění a především jeho kvalitu povrchu. Při opracovávání napříč vláken dochází k jejich částečnému vytrhávání, to můžeme obzvláště pozorovat u rostlého dřeva, kde je různá hustota letního a jarního dřeva (např. smrk). Při obrábění podél vláken také může docházet k vytrhání, ale už menším rozsahu. Vzhledem k tomu, MDF desky považujeme za homogenní materiál, není tak podstatný rozdíl, pokud obrábíme desky rovnoběžně se směrem výroby a kolmo na tento směr.

4.1.4. Nečistoty

Při obrábění MDF desek, a to zejména při broušení, vznikají piliny, hobliny a brusný prach. Tento velice jemný brusný prach se usazuje na obráběném materiálu nebo může být zatlačený zpátky do něj. Na pohled i omak vypadají zejména boční plochy velice dobře dokončeny, ale při měření to nebude vycházet dobře. Největší problém nastává při nanášení nátěrových hmot i lepidla. Určitá část zůstane na volném prachu, který se uvolní, sníží tak celkovou přilnavost a lepený spoj nemá potřebnou pevnost nebo nátěrová hmota není dostatečně hladká. Tento nešvar lze snížit kvalitním odsáváním ihned po broušení a včasnou výměnou opotřebovaných brusných pásů. Zanesený brusný pás nekvalitně brousí a navíc zatlačuje prach zpátky do obráběného materiálu.

4.2. Povrchová úprava MDF desek

4.2.1. Dokončování povrchu vodou ředitelnými nátěrovými hmotami

Vodou ředitelné nátěrové hmoty se používají především na bázi polyvinylacetátových disperzí. Výhodou těchto nátěrových hmot je redukce emisí škodlivých těkavých organických látek, zamezení znečišťování životního prostředí. U vodou ředitelných nátěrových hmot může působením vody docházet ke zdrsnění povrchu dřeva. Dále má teplotně omezené podmínky skladovatelnosti a vytvrzování. Použití mají všestranné, ale pouze v interiéru. Vzhledem k použití vody jako rozpouštědlo se jedná o mimořádně důležitou a perspektivní skupinu nátěrových hmot (Muzikář a kol. 2008).

4.2.2. Stříkání nátěrových hmot





Nanášení nátěrových hmot stříkáním je univerzální metodou nanášení. Jedná se o poměrně výkonnou metodu, která je vhodná i pro průmyslový způsob výroby. Její univerzálnost spočívá v tom, že ji lze použít pro lakování jak tvarově jednoduchých, tak i tvarově náročných výrobků. Nevýhodou mohou být poměrně vysoké ztráty nátěrových hmot způsobené tzv. prostříkem. V našem případě jsme používali pneumatický způsob stříkání. Tento pneumatický způsob se vyznačuje tím, že dochází k rozprašování nátěrové hmoty pomocí stlačeného vzduchu. Stlačený vzduch ze zásobníku kompresoru je veden tlakovou hadicí do stříkací pistole, kde způsobuje rozprašení nátěrové hmoty. Stříkací pistole může být s horní nebo spodní nádržkou (Obr.č.14), respektive nátěrová hmota může být přiváděna zvláštní hadicí z tlakového zásobníku. Parametry stříkací pistole, tj. pracovní tlak, množství laku a šířku paprsku nátěrové hmoty, lze regulovat pomocí příslušných regulačních ventilů. Jejich správné nastavení může rozhodujícím způsobem ovlivnit množství ztrát vzniklých prostříkem. Na množství prostříku má rovněž vliv i tvar vzduchové trysky. Účinnost pneumatického stříkání se pohybuje v rozmezí 30-60 % (Muzikář a kol. 2008).

4.3. Značení drsnosti na výkresech

Označení povrchu na technickém výkresu udává konečný stav opracovaného povrchu. Značky pro jakost povrchu jsou uvedeny v normě ISO 1302. V České republice se jakost povrchu předepisuje podle ČSN 01 3144 - „Technické výkresy. Označování drsnosti povrchu“ (již není platná), ČSN 49 0231 - a ČSN 22 4012 - „Pojená brusiva - Stanovení a označování zrnitostního složení“ (Peschel a kol. 2002).

4.3.1. Značky a jejich význam

Tab. č. 3: Značení drsnosti na výkrese (Mitutoyo)

	Základní značka
	Značka označuje povrch, který musí být obroben odebráním materiálu
	Značka označuje povrch, který musí být obroben bez odebrání materiálu z jeho součástí
	Značka pro předepsání drsnosti povrchu pro stejnou drsnost ploch po obvodu

4.3.2. Symboly a jejich popis na výkrese

$$e \sqrt[da]{\frac{b}{c/f}}$$

Obr. č. 15: Značka drsnosti na výkrese (Kotlanová A., Drsnost povrchu)

a - hodnota drsnosti Ra, Rq, Ry

b - zpracování, úprava povrchu (broušení, soustružení, apod.)

c - požadovaný stav zpracování povrchu, hodnota vlnitosti v mikrometrech

d - označení směru stop po obrábění

e - přídavek na obrábění v milimetrech

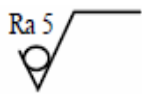
f - hodnota drsnosti jiné než je zapsaná za značkou drsnosti

Tab. č. 4: Označení směru nerovnosti - d (Obr. č. 15)

Značka směru nerovnosti	=	⊥	X	M	C	R	P
směr nerovnosti	rovnoběžný	kolmý	zkřížený	libovolný	kruhový	cykloidní	bodový

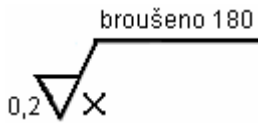
4.3.3. Příklady použití v praxi

Příklad č.1:



- není povoleno žádné obrobení povrchu materiálu, pravidlo přenosové charakteristiky, R- profil, pravidlo 16%, průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu 5 μm (horní mezní hodnota) (Mitutoyo).

Příklad č.2:



- požadovaná hodnota materiálu bude dosažena odebráním materiálu z povrchu součásti - broušením o hrubosti brusného papíru 180, směr drsnosti na povrchu zkřížený, přídavek na opracování 0,2 mm (Peschel a kol. 2002)

Zmíněné Pravidlo 16% - Povrch je považován za přijatelný, jestliže ne více než 16% všech naměřených hodnot parametru na vyhodnocované délce přesahuje hodnotu této horní meze. Pravidlo je standardní, nepředepisuje se. Mezní hodnotu smí překročit 16% naměřených hodnot (Mitutoyo).

Pravidlo Maxima - Povrch odpovídá požadavku maxima, jestliže žádná z naměřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu nepřesáhne ani v jednom případě předepsanou hodnotu horní meze (Mitutoyo).

5. Zajištění vzorků

5.1. Výroba a odběr vzorků

Vzorky byly obrobeny ve školní dílně na vybraném strojním zařízení. Kotoučová pila je od firmy Felder, Ø kotouče 300 mm, tloušťka kotouče 3,2 mm a použité otáčky při řezání byly 4 700 ot./min. Truhlářská pásová pila je od firmy Zefam (Polsko), Ø pásnic 800 mm, tloušťka 0,8 mm a šířka pilového pásu 2,8 mm. Frézované povrchy byly vyrobeny na protahovací frézce Rojek Industry RFT 630, Ø nožové hřídele 120 mm, počet nožů = 4 ks, otáčky nožového hřídele 5 500 ot./min. Všechny broušené povrchy byly opracovány na úzkopásové brusce od firmy Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, otáčky 1440 ot./min, Ø pásnic 230 mm, byly pouze vyměňovány brusné pásy se zrnitostí 40, 80 a 120.

Další variantou úpravy povrchu je nanášení nátěrové hmoty. U těchto vzorků již byla změřena drsnost povrchu (Obr. č. 16). Budeme zjišťovat, jaké jsou rozdíly mezi hrubě opracovaným povrchem, jednou vrstvou nátěrové hmoty bez přebroušení a nánosem dvou vrstev nátěrové hmoty. Na povrchy vzorků jsme vytvořili povrchovou úpravu pomocí transparentní vodou ředitelné nátěrové hmoty (Obr. č. 17). Tato nátěrová hmota byla nanášena ruční stříkací pistolí pomocí tlakového vzduchu z kompresoru o tlaku 0,4 Mpa. Po vytvrzení 1 vrstvy nátěrové hmoty, byla na polovině každého vzorku ručně zbroušen povrch brusným papírem o zrnitosti 240 a na tuto obroušenou část byla nastříkána druhá vrstva nátěrové hmoty (Obr. č. 18). Aby se zabránilo nežádoucímu nanesení nátěrové hmoty na druhou část vzorků, tak byla druhá polovina překryta pásem tvrdé dřevovláknité desky. Takto povrchově upravené vzorky byly nechány 24 hodin klimatizovat pro dokonalé vytvrzení nátěrové hmoty (Obr. č. 19). Nanášení nátěrové hmoty stříkáním probíhalo ve speciální místnosti k tomuto účelu určené ve školní dílně.

Pro účel povrchové úpravy byla zvolena nátěrová hmota od firmy Remmers a vlastním názvem „Aidol wetterschutz-lasur UV“ (vodou ředitelná lazura). Pojivem této nátěrové hmoty je akrylátová disperze. Mezi některé vybrané vlastnosti patří prodyšnost středně-vrstvé lazury, nescapává, poskytuje vysokou ochranu proti UV záření a povětrnostním vlivům, má hedvábně lesklý povrch, nelepí se, je na vodní bázi a neobsahuje biocidy, dobře odolává vodě, je trvale elastická a splňuje limity bezpečnosti pro použití na dětských hračkách. Tato nátěrová hmota lze použít v interiéru i exteriéru - např. dřevěné domky, ploty, obložení, podhledy, zahradní nábytek. Dobu zasychání uvádí výrobce 0,5 - 1 hodinu proti prachu, další vrstva nátěrové

hmoty je možná už po 4 hodinách. Vydátnost této nátěrové hmoty se udává 10 - 12 m²/l, záleží na nasákavosti dřeva (obal nátěrové hmoty, Remmers).

Rozměry vzorků jsou 18 x 50 x 410 mm, to je dáno normou ČSN EN 310, podle které se určuje pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu. Více o odběru a specifikaci vzorku v Příloze A - Protokol o zkoušce.

6. Vizualní posouzení drsnosti hran

Vizuální kontrolu povrchu hran MDF desek provádíme vždy. Je to nejlevnější a nejrychlejší způsob kontroly hran, při větších zkušenostech je tato metoda i velice objektivní. Požadavky na drsnost povrchu se stanoví pro zajištění jakosti výrobků. Pokud to není nutné, nároky na drsnost povrchu se nestanoví a jeho drsnost se nekontroluje (viz ČSN 49 0231).

Povrch obráběný pásovou pilou byl na pohled velice hrubý, by na něm zřetelně znát stopy po zubech od pilového pásu. Při posouzení povrchu hmatem vykazoval nesouvislý „zubatý“ povrch. Je to dáno tím, že pásová pila je přednostně určena na obrábění rostlého dřeva. Při řezání MDF desek musíme počítat s vyšším opotřebením pilového pásu, který není běžně opatřený plátky ze slinutých karbidů, a s většími přídávky na opracování.

Povrch, který by obráběn kotoučovou pilou, by na první pohled hladší než v předchozím případě. Při pohledu na hranu desky byly znát stopy po zubech nástroje, avšak při posouzení hmatem byl povrch hladký. V některých místech byly mírně znát šikmé vlnky dané při řezání kotoučovou pilou.

Frézovaný povrch byl na první pohled velice hladký, nevykazoval již žádné stopy po obráběcím nástroji. Při zkoušce hmatem po povrchu hrany desky byly cítit jemné příčné vlnky způsobené technologií tohoto obrábění. Při pohledu však tyto jemné vlnky nebyly vůbec znát.

Povrch obráběný brusným papírem o zrnitosti 40 byl na pohled hladký, avšak na vzorku byly vidět podélné rýhy způsobené hrubými zrny brusného papíru. Některé rýhy byly poměrně hluboké. Při posouzení hmatem byl povrch drsný, „chlupatý“ a byly cítit prohlubně způsobené rýhami.

Broušený povrch brusným papírem se zrnitostí 80 vypadal na pohled hladce. I zde byly patrné podélné rýhy způsobené brusným pásem, ale v tomto případě byly tyto rýhy o dost mělké než v předchozím případě. Při zkoušce hmatem nebyl povrch drsný a chlupatý, ale byly cítit drobné zádrhy.

Nakonec byl broušený povrch jemným brusným papírem o zrnitosti 180. Zde pohledem nebyly na povrchu znát žádné rýhy od obráběného nástroje. Při velmi detailním pohledu byly drobně vidět pouze podélné stopy od brusného papíru. Posouzení hmatem povrch nevykazoval žádné vlnky, rýhy nebo zvednutá vlákna, byl hladký.

Jestliže vizuální zkouška nebo zkouška hmatem neumožňuje přijmout rozhodnutí, mělo by být provedeno měření na té části povrchu, na které lze na základě vizuálního pozorování očekávat kritické hodnoty (ČSN EN ISO 4288).

7. Měření drsnosti

7.1. Postup měření drsnosti povrchu

Postup měření vycházel z normy ČSN EN ISO 4288 a byl následující:

- odhadne se neznámý parametr profilu drsnosti povrchu R_a , R_z , R_{Sm} libovolným způsobem, např. vizuální prohlídkou, srovnávání pomocí srovnávacích vzorků, grafickou analýzou celkového profilu, apod.
- odhadne se základní délka z (Tab. č. 5) pro R_a , R_z , R_{Sm} odhadnuté v prvním kroku
- měřícím přístrojem s nastavenými hodnotami základní délky odhadnuté ve druhém kroku, se získá reprezentativní měření R_a , R_z , R_{Sm}
- porovnávají se naměřené hodnoty R_a , R_z , R_{Sm} rozsahem hodnot R_a , R_z , R_{Sm} v (Tab. č. 5) odpovídající odhadnuté základní délce. Jsou-li měřené hodnoty mimo rozsah hodnot pro odhadnutou základní délku, potom se nastaví přístroj na větší, případně menší základní délku, než je základní délka indikovaná pro měřenou hodnotou. Potom se měří reprezentativní hodnota při použití této nastavené základní délky a opět neporovnává s hodnotami v (Tab. č. 5). V tomto případě by měla být dosažena kombinace měřené hodnoty a základní délky navrhované v tabulce
- získá se reprezentativní měření žadáných parametrů použitím hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích

Tab. č. 5: Základní délky drsnosti pro měření (ČSN EN ISO 4288)

R_t , R_z μm	R_a μm	R_{Sm} mm	l_r mm	l_n mm	l_t mm
0,025...0,1	0,006...0,02	0,013...0,04	0,08	0,4	0,48
0,1...0,5	0,02...0,1	0,04...0,13	0,25	1,25	1,5
0,5...10	0,1...2	0,13...0,4	0,8	4	4,8
10...50	2...10	0,4...1,3	2,5	12,5	15
50...200	10...80	1,3...4	8	40	48

7.2. Požadavky na měřicí profiloměry (norma ČSN 49 0231)

- umožňovat měření na celé délce měřeného úseku
- měření od 0,01 mm do 1,6 mm
- minimální tlak snímacího hrotu do 0,01 N
- možnost vyšetřit i skryté vytržení vláken u řezaných povrchů
- nepoškodit zkoušený povrch
- co nejmenší pracnost při dostatečné přesnosti měření
- možnost vyhodnotit případnou vlnitost povrchu oddělené od drsnosti

7.3. Měřicí přístroj

7.3.1. Typy používaných přístrojů

Měřících přístrojů na měření drsnosti, ale možno i dalších vlastností vykazující jakost povrchu, je celá řada. Celkový přehled je v tabulce (Tab .č. 6) Klasifikace metod a přístrojů pro měření drsnosti povrchu, která je uvedena v příloze.

7.3.2. Přístroj použitý pro měření

V našem případě byl použitý měřicí přístroj od firmy Taylor Hobson s přesným označením Form Talysurf Series Intra 2. Jedná se o dotkový indukční měřicí přístroj, který kromě drsnosti analyzuje i parametry základního profilu, vlnitosti nebo rozměrové parametry. Tento přístroj je mobilní a můžeme s ním měřit ve speciální místnosti nebo pokud je to vyžadováno, je možné tento přístroj snadno přemístit do dílny a rychle naměřit potřebné hodnoty a vrátit je zpět. Dále jsou uvedeny některé důležité parametry technické specifikace, délka snímání se pohybuje mezi 0,1 - 50 mm, rychlost snímání 10 mm/s (avšak měření max. 1 mm/s), poměr rozsahu k rozlišení 65 536:1, nejistota měření 12,5 - 25 mm = 0,04 % (Taylor Hobson 2009, Stanford).

7.4. Příprava před měřením

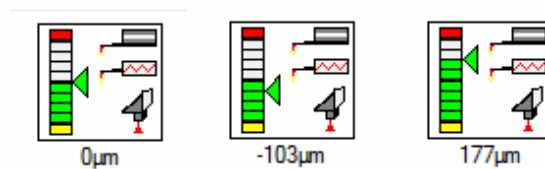
Před vlastním měřením jsem prováděl důležitou přípravu, která obsahovala instalaci drsnoměru, propojení s výpočetní technikou, očištění vzorků od prachu a nečistot, které by mohli měření zkreslit. Drsnoměr byl položen na třech nožkách, kvůli stabilitě, na leštěné mramorové desce, která při měření zajišťovala potřebnou rovnost a stabilitu (Obr. č. 20 a 21). Po propojení s počítačem bylo důležité nastavení správných parametrů při měření a to: základní, vyhodnocovanou a pojezdovou délku, počátek měření a rychlost měření. Poté jsem řádně označil vzorky a uložil k měřicímu zařízení tak, aby měřicí hrot snímal drsnost v polovině tloušťky desky cca 50 mm od počátku desky.

7.5. Vlastní postup měření

Vlastní měření začínalo ručním sjetím hrotu drsnoměru k povrchu zkoušené hrany desky a nastavení do střední polohy na snímači (Obr. č. 22). Poté jsem spustil vlastní měření drsnoměrem, důležité bylo nedotýkat se měřeného vzorku, měřícího přístroje ani podkladové desky a vyvarovat se i jiných nežádoucích vlivů, které by způsobily vibrace a mohly by nepříznivě ovlivnit průběh měření a zkreslit zaznamenávané výsledky. Měření probíhalo

následujícím způsobem: měřící hrot o poloměru 14 μm (Obr. č. 23), přejížděl po zkoušeném materiálu konstantní nastavenou rychlostí, zaznamenával nerovnosti a zapisoval je do grafu (Obr. č. 24). Po změření daného úseku program vykreslil křivku povrchu (Obr. č. 25), ze které se následně vypracovala analýza s nastavením zvolených veličin: „Ra (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu), Rt (celková výška profilu drsnosti), Rz (největší výška profilu) a RSm (průměrná šířka prvků profilu)“. Parametry, které jsem mohl nechat stanovit byla celá řada, ale pro základní představu jsem zvolil pouze tyto. Pokud hodnota průměrné aritmetické úchylky nebyla v rozmezí vyhodnocované délky (zpravidla byla menší), musel jsem udělat novou analýzu na vyhodnocované délce, která odpovídala změřené úchylce Ra podle (Tab. č. 5). Po změření vzorku jsem zaznamenal výsledky do počítače a pro kontrolu i do připravené tabulky na papír (Obr. č. 26). Po návratu měřícího hrotu na počátek mohlo následovat měření následujícího vzorku.

Obr. č. 22: Nastavení střední hodnoty na snímači, nižší a vyšší hodnoty



8. Výsledky a diskuze

8.1. Vyjádření hodnoty průměrné aritmetické odchylky profilu Ra

8.1.1. Statistické ukazatele

Tab. č. 7: Statistické ukazatele hodnoty Ra

	Ra	\bar{x} [μm]	min [μm]	max [μm]	s_x [μm]	V_x [%]
povrch po obrábění	řezání kotouč.	16,03	10,22	22,64	3,19	19,89
	řezání pásová pila	42,71	31,68	52,65	4,59	10,75
	frézování	11,02	7,65	16,26	2,33	21,12
	broušení hrubé	16,12	11,34	21,53	2,43	15,06
	broušení střední	13,50	10,59	17,10	1,68	12,46
	broušení jemné	5,44	3,66	6,91	0,90	16,58
povrch po první vrstvě laku	řezání kotouč.	18,48	10,24	26,21	4,29	23,21
	řezání pásová pila	36,30	25,53	52,43	7,14	19,67
	frézování	9,30	5,42	14,59	2,75	29,57
	broušení hrubé	11,22	7,01	16,10	2,60	23,17
	broušení střední	16,55	10,69	21,04	3,03	18,33
	broušení jemné	3,55	2,60	5,17	0,64	18,11
povrch po první vrstvě laku, přebroušení a druhé vrstvě laku	řezání kotouč.	5,04	2,98	8,36	1,54	30,52
	řezání pásová pila	18,19	10,79	26,26	4,26	23,41
	frézování	3,97	2,95	6,18	0,94	23,59
	broušení hrubé	3,31	1,85	5,00	0,82	24,82
	broušení střední	3,47	2,45	4,70	0,76	21,88
	broušení jemné	1,09	0,76	1,35	0,18	16,47

V předcházející tabulce (Tab. č. 7) jsou znázorněny statistické ukazatele hodnot Ra u různých druhů obrábění ve třech sledovaných stupních dokončení. Pro výběr hodnot byl použit soubor s četností 18 vzorků u lakovaných povrchů, respektive 36 vzorků pro přímo obráběné dílce. Ve třetím sloupci je vypočítán aritmetický průměr, který vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Aritmetický průměr se většinou značí vodorovným pruhem nad názvem proměnné. Definice aritmetického průměru je:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

tzn. součet všech hodnot vydělený jejich počtem (Wikipedia₁). Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou vyjádřené minimální a maximální hodnoty, které byly naměřeny. V šestém sloupci jsou uvedeny hodnoty výběrové směrodatné odchylky, která je definována:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

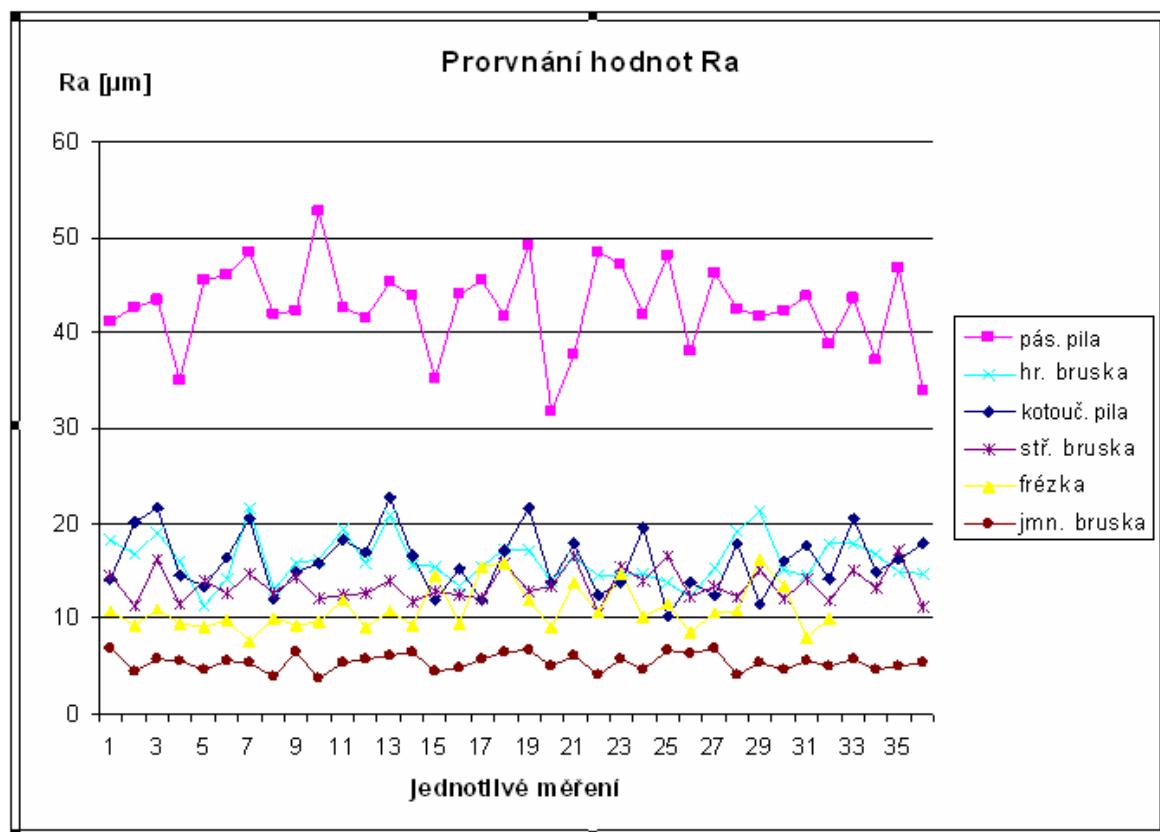
Výběrová směrodatná odchylka vypovídá o tom, jak moc se navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Pravděpodobnost, že se hodnota náhodné veličiny bude od střední hodnoty lišit nejvýše o jednu směrodatnou odchylku, je výrazně vyšší než 0,5 (za předpokladu normálního rozdělení je to 68%); pravděpodobnost, že se hodnota bude lišit nejvýše o dvě směrodatné odchylky, je velmi vysoká (při normálním rozdělení cca 95%)(Wikipedia₂). V posledním sedmém sloupci je vypočítaný variační koeficient, který udává míru variability.

$$v_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100 [\%]$$

Variační koeficient vypočítáme dle vzorce viz výše (Wikipedia₂).

8.1.2. Porovnání výsledků po základních operacích

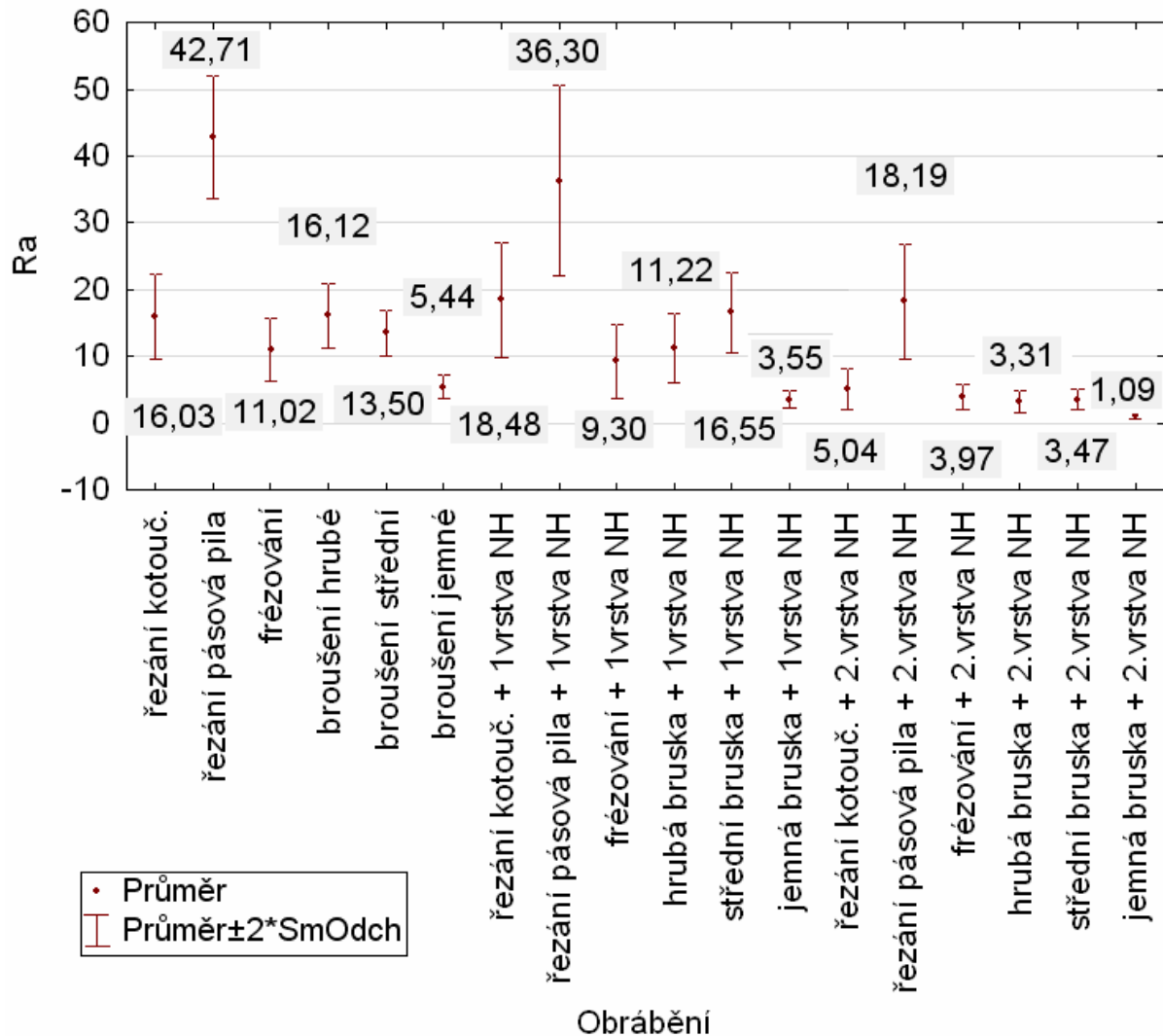
Jak už výše bylo zmíněno povrchy vzorků byly opracovány řezáním na pásové a kotoučové pile, frézováním a broušením s třemi druhy brusných papírů (40, 80 a 180). V Grafu (Obr. č. 27) vidíme v jakých rozmezích se pohybují hodnoty u jednotlivých obráběných povrchů, i jakým způsobem kolísají hodnoty mezi jednotlivými měřeními v rámci shodného druhu obrábění.



Obr č. 27: Porovnání hodnot Ra (průměrné aritmetické úchytky) u různých obrábění

V předchozím grafu (Obr. č. 27) můžeme vyčíst hodnoty *Střední aritmetické úchytky profilu Ra*. Můžeme pozorovat, jakým způsobem se vyvíjí zejména rozdíly hodnot mezi jednotlivými způsoby.

8.1.3. Porovnání výsledků Ra všech obrábění a druhů dokončení



Obr. č. 28: Krabicový graf hodnoty Ra v závislosti na zvoleném druhu obrábění

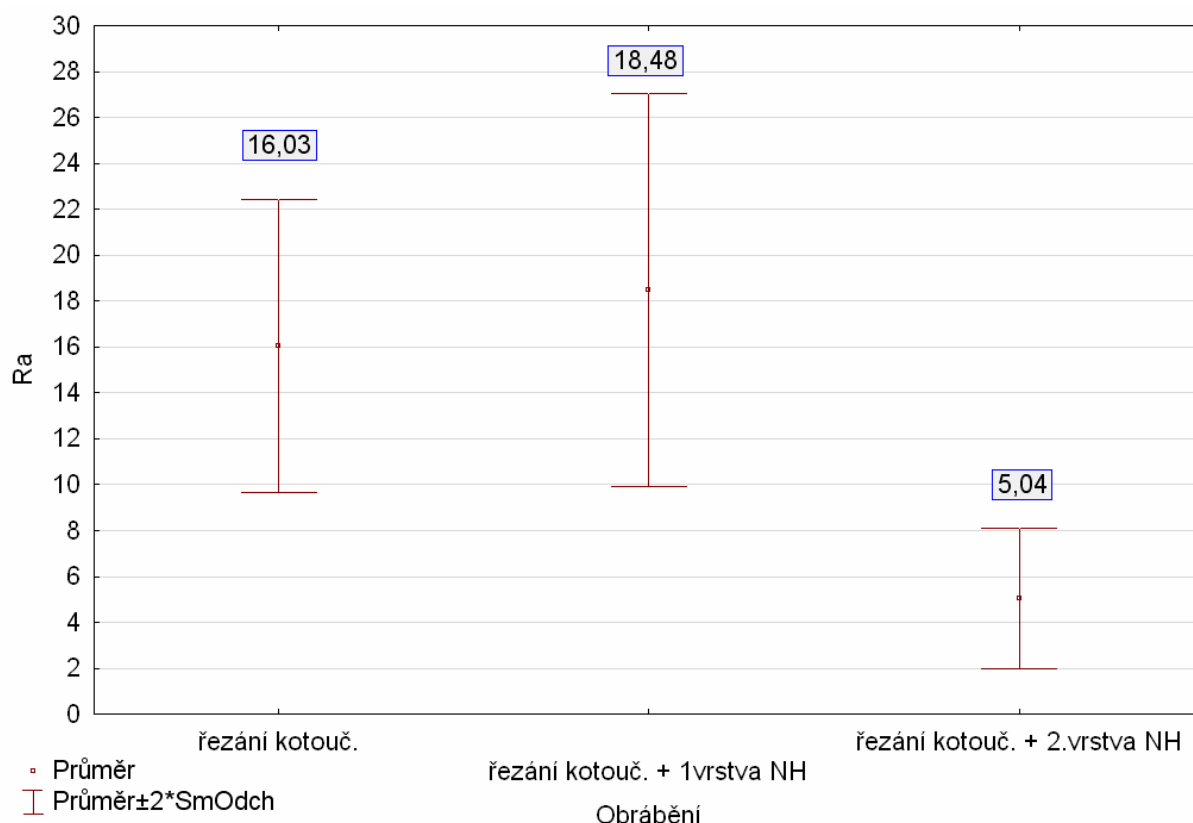
Z grafu (Obr. č. 28) je zřejmé, že hodnoty u frézovaného povrchu vykazují menší hodnoty než u hrubého a středně hrubého obrábění brusným papírem a u povrchu řezaného kotoučovou pilou menší hodnotu než povrchu broušeného hrubým brusným papírem. To je dáno především stavbou obráběného materiálu, kvalitním ostřím obráběcího nože a správnými zvolenými parametry při obrábění. Z výsledků tohoto měření je zřejmé, že v praxi při obrábění nemusíme brousit hrany hrubým ani středně hrubým brusným papírem, pokud máme kvalitně naostřené nástroje a správně zvolené obráběcí parametry. Literatura udává, že pro broušení MDF desek se používají brusné papíry o zrnitosti 120 - 180 (Peschel a kol. 2002). Jiná

literatura uvádí už při prvním broušení brusný papír se zrnitostí 180 a 220, při druhém broušení až zrnitost 240 a u třetího broušení může být zrnitost i 280 (Muzikář a kol. 2008).

Dále je pozorovatelný fakt, že po první úpravě povrchu nánosem vodou-ředitelného laku se u všech druhů obrábění mimo jemného broušení se zvětší výběrová směrodatná odchylka. Po první povrchové úpravě se vlivem nadzvednutí vláken ještě více zdůraznili některé vady a hodnota R_a mírně stoupla, ale u některých dobrých povrchů s minimálním množstvím vad hodnota se R_a nezvyšovala, ale naopak klesala. Toto pak vedlo k většímu rozptylu směrodatných odchylek. Po úpravě přebroušením a nánosu druhé vrstvy nátěrové hmoty se směrodatná odchylka sníží pod úroveň než měla u měření bez povrchové úpravy, tentokrát to platí už bez výjimky. Z toho je zřejmé, že po větší finalizaci se vyrovnávají vlastnosti mezi jednotlivými vzorky v rámci zvoleného způsobu obrábění.

Z výše uvedeného grafu ještě vyplývá nepříznivý fakt, že po první vrstvě nátěrové hmoty se hodnota R_a u broušeného povrchu středně hrubým brusným papírem o zrnitosti 80 zvýšila ($R_{a_{stř}} = 16,55 \mu\text{m}$), ale u povrchů obráběných hrubým brusným papírem se zrnitostí 40 tato hodnota snížila na ($R_{a_{hr}} = 11,22 \mu\text{m}$). U povrchů dokončené i druhou vrstvou nátěrové hmoty jsou už nepatrné rozdíly, ale opět ve prospěch lepší kvality povrchů obráběných hrubým brusným pásem. Tento fakt může být ovlivněn několika faktory. Jedním teoretickým faktorem může být to, že hrubý brusný pás spíše vytrhával celá vlákna z povrchu a po nalakování nebylo na povrchu tolik zvednutých vláken. Na rozdíl od středně hrubého brusného papíru, který při obrábění vlákna i přeřezával a po nanesení povrchové úpravy se tyto přeříznutá vlákna přímí a zdánlivě drobné rýhy a zvětšují. Dalším faktorem, který to mohl ovlivnit, je nestejný nános nátěrové hmoty. I když se při stříkání postupovalo podle osvědčeného technologického postupu pro ruční stříkání, mohlo dojít k drobným nepřesnostem, protože je tato operace ovlivněná lidským faktorem a především zkušenostmi. Dále by to mohlo být ovlivněno faktory týkající se obráběcího stroje (jako jsou řezná rychlost, rychlost posuvu), obráběcího nástroje (stav brusného pásu, zanesení, směr otáček) a obrobkem samotným (hustota, vlhkost, směr vláken, aj.). Nakonec bych chtěl ještě upozornit, že hodnota R_a je sice přednostní výškovou charakteristikou, ale už moc nevyovídá o pórovitosti, porušení povrchu rýhami nebo trhlinami. Proto se vyhodnocují i další ukazatelé R_z a R_t definující výškové rozmezí a R_{Sm} , která charakterizuje drsnost v podélném směru povrchu.

8.1.4. Porovnání dílčích výsledků Ra po obrábění kotoučovou pilou



Obr. č. 29: Vyjadřuje hodnoty Ra po obrábění kotoučovou pilou a porovnání s první a druhou vrstvou nátěrové hmoty

Na tomto grafu (Obr. č. 29) vidíme zvýšení průměrné hodnoty Ra po prvním nastříkání nátěrové hmoty, kromě se zvýšila i výběrová směrodatná odchylka, jak bylo již výše zmíněno. Po přebroušení a nanesení druhé vrstvy nátěrové hmoty došlo k výraznému snížení průměrné hodnoty Ra i výběrové směrodatné odchylky. Rozmezí směrodatné odchylky na tomto krabicovém grafu udává možnost výskytu hodnot s pravděpodobností 95 % při normálním rozdělení. V příloze C jsou pro názornost další grafy s jinými druhy obrábění.

U vybraného obrábění se zvýšila průměrná hodnota Ra cca o 15 % po prvním nástřiku oproti původním obráběnému povrchu. Je to dáno vlastnostmi MDF desky s použitím vodouředitelné nátěrové hmoty, kde působením vody může docházet a dochází ke zdrsňení povrchu (Muzikář a kol. 2002). Jednotlivá vlákna na povrchu desky vlivem vody obsažené v nátěrové hmotě nabobtnají. Podíl lepidla vlákna neudrží, ty se narovnávají a po vypaření vody si zachovávají svůj tvar. Tento nepříznivý faktor lze odstranit vlhčením obráběných dílců a přebroušením nadzvednutých vláken, více je tato problematika popsána již v kapitole 4.1.1. Vlhkost desek. Nebo častěji se tento problém řeší po nanesení první vrstvy nátěrové hmoty

přebroušením. Tuto úpravu musíme dělat vždy, protože vždy dojde k nepatrnému nadzvednutí vláken, i tehdy pokud máme povrch sebe lépe připravený.

Po nanesení i druhé vrstvy nátěrové hmoty klesla průměrná hodnota Ra zhruba o 70 % oproti původnímu obrábění. Při této operaci druhá vrstva nezvedá původní vlákna, ale pouze překrývá první vrstvu nátěrové hmoty. Pro dosažení lepšího výsledku by jsme mohli nanést ještě třetí vrstvu laku, ale v tomto případě už by nebyla změna tak veliká jako mezi prvním a druhým nánosem. Nebo by se mohl povrch dílce přešetřit pomocí leštící pasty nebo vosku pomocí filcového kartáče nebo na speciálních leštičkách. Při této aplikaci by se podle mého názoru dosáhla lepší jakost povrchu a tím pádem i menší hodnota Ra.

Při současném vracejícím se trendu vysokého lesku je nutné povrch MDF desky aplikovat vhodným izolátorem, který je na bázi polyesteru nebo polyuretanu. Tato izolace se provádí, aby se povrch desky uzavřel a povrchová úprava se nepropadala. Zejména frézované části povrchu je nutné pečlivě izolovat proti propadání. Po izolaci povrchu se stříká základ ve dvou vrstvách s mezibrusem po třech hodinách. Před konečnou úpravou se nechá základní vrstva dokonale zaschnout (cca 12 hod.), která se přebrousí s konečnou hrubostí 600-800. Nakonec se aplikuje vrchní vrstva, která se nechá přešetřit na vysoký lesk. Struktura takového povrchu by vykazovala velice nízkou hodnotu Ra (Raban J. 2007).

8.2. Vyjádření celkové výšky profilu Rt a největší výšky profilu Rz

8.2.1. Statistické ukazatele

Tab. č. 8: Statistické ukazatele hodnoty Rt - celková výška profilu

	Rt	\bar{x} [μm]	min [μm]	max [μm]	s_x [μm]	V_x [%]
povrch po obrábění	řezání kotouč.	167,27	88,60	237,53	35,97	21,51
	řezání pásová pila	389,48	221,10	547,46	77,77	19,97
	frézování	146,57	84,39	255,04	41,24	28,14
	broušení hrubé	167,36	115,80	276,60	37,97	22,69
	broušení střední	134,69	93,65	186,60	24,25	18,00
	broušení jemné	65,38	36,95	111,74	17,30	26,46
povrch po první vrstvě laku	řezání kotouč.	165,94	104,86	247,10	37,44	22,56
	řezání pásová pila	290,21	175,19	448,78	68,84	23,72
	frézování	108,35	48,60	193,20	36,02	33,25
	broušení hrubé	131,11	69,94	231,22	43,45	33,14
	broušení střední	177,99	134,39	249,36	33,26	18,69
	broušení jemné	45,05	29,25	69,38	10,41	23,11
povrch po první vrstvě laku, přebroušení a druhé vrstvě laku	řezání kotouč.	37,85	23,15	68,94	11,63	30,72
	řezání pásová pila	145,00	83,91	193,87	36,99	25,51
	frézování	37,74	18,16	61,51	14,91	39,51
	broušení hrubé	27,61	14,10	58,23	12,19	44,17
	broušení střední	26,81	19,22	36,49	5,56	20,76
	broušení jemné	8,53	5,37	13,18	2,15	25,19

Tab. č. 9: Statistické ukazatele hodnoty Rz - největší výška profilu

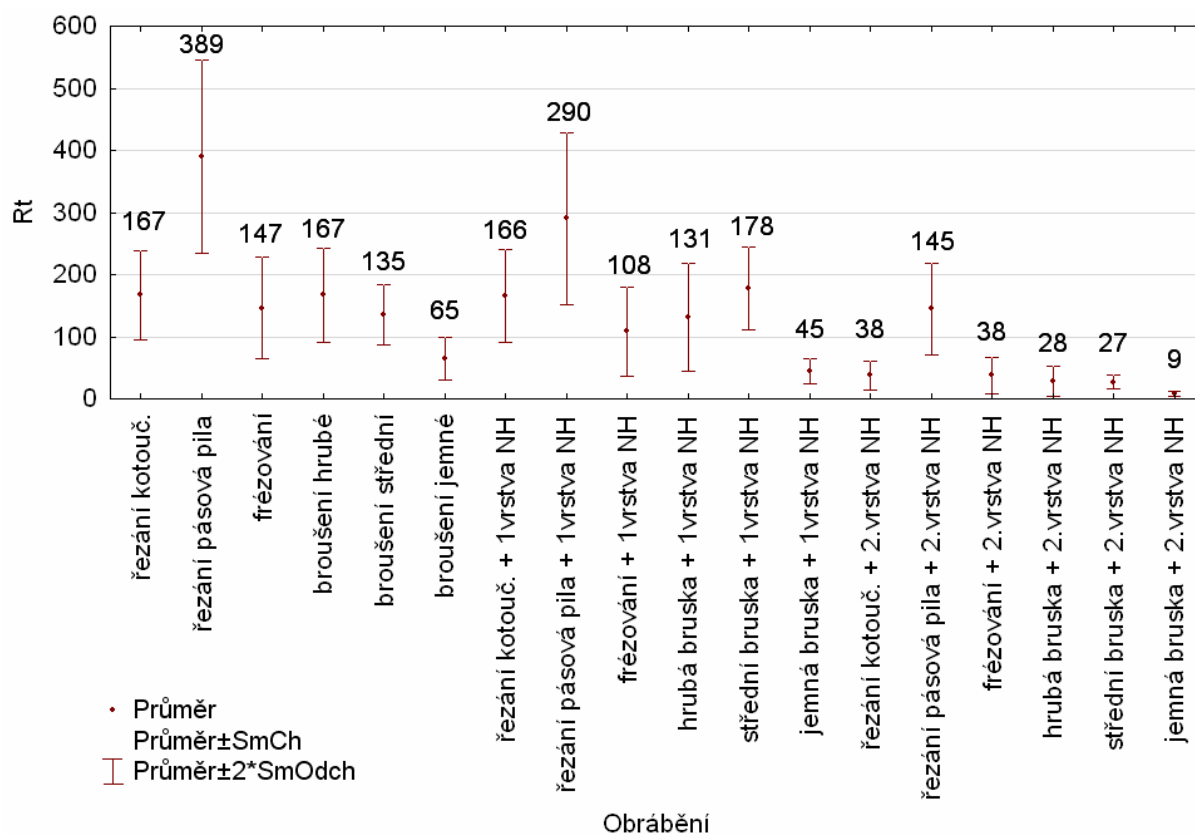
	Rz	\bar{x} [μm]	min [μm]	max [μm]	s_x [μm]	V_x [%]
povrch po obrábění	řezání kotouč.	131,47	80,33	195,53	25,29	19,24
	řezání pásová pila	284,21	202,89	345,12	38,40	13,51
	frézování	110,77	73,03	156,84	22,12	19,97
	broušení hrubé	133,31	103,77	188,61	20,76	15,58
	broušení střední	109,01	80,83	146,28	16,64	15,27
	broušení jemné	48,44	31,63	73,84	9,76	20,15
povrch po první vrstvě laku	řezání kotouč.	124,02	71,85	179,47	26,66	21,50
	řezání pásová pila	211,07	144,92	282,27	39,95	18,93
	frézování	71,40	34,19	111,28	21,23	29,73
	broušení hrubé	91,77	50,07	154,17	24,96	27,20
	broušení střední	137,53	104,54	170,55	17,14	12,46
	broušení jemné	31,57	22,70	47,06	6,68	21,15
povrch po první vrstvě laku, přebroušení a druhé vrstvě laku	řezání kotouč.	28,34	17,65	44,02	7,88	27,81
	řezání pásová pila	95,26	68,33	135,00	18,75	19,68
	frézování	23,85	15,25	34,82	5,46	22,89
	broušení hrubé	19,56	11,50	34,49	5,80	29,67
	broušení střední	20,14	12,53	27,09	3,98	19,75
	broušení jemné	5,92	4,06	8,13	1,13	19,02

V předcházejících tabulkách (Tab. č. 8 a Tab. č. 9) jsou vyjádřeny statistické ukazatele (aritmetický průměr, minimum, maximum, výběrová směrodatná odchylka a variační koeficient) naměřených hodnot R_t a R_z . Jedná se o výškové charakteristiky profilu drsnosti vztažené k vyhodnocované délce (R_t), respektive k základní délce profilu (R_z). Obě tyto hodnoty mohou sloužit jako doplňující měřítko pro hodnocení drsnosti povrchu pomocí parametru R_a alias jakosti výrobku.

Hodnota R_z je vždy menší nebo rovná než hodnota R_t , v našem případě se jedná se jedná o průměrný pokles o 27,13 % hodnoty aritmetického průměru \bar{x} . Přičemž průměrný pokles pouze u obráběných dílců je o 23,03 %.

Za povšimnutí se stojí vysoké hodnoty variačního koeficientu hodnot R_t (Tab.č.8) u frézovaného a broušeného povrchu hrubým brusným papírem. Obě tyto hodnoty se pohybují kolem 40 %. Což znamená vysokou procentuální šanci, že se další naměřená hodnota pohybovat o více než udává výběrová směrodatná odchylka od aritmetického průměru. Při normálním rozdělení tzv. „Gaussův klobouk“ by tato hodnota měla být maximálně 32 %.

8.2.2. Porovnání výsledků Rt a Rz



Obr. č. 30: Krabicový graf hodnoty Rt v závislosti na zvoleném druhu obrábění

I na tomto krabicovém grafu hodnot Rt (Obr. č. 30) jsou vidět některé závislosti již výše zmíněné a popsané u (Obr. č.28). Jedná se zde například o vyšší hodnotu Rt u brusky se středně hrubým brusným papírem než s hrubým brusným papírem u první vrstvy nátěrové hmoty, u druhé vrstvy se tyto hodnoty takřka vyrovnávají, avšak bruska s hrubým brusným papírem má ve všech případech větší rozptyl hodnot od aritmetického průměru. Dále například nízký schod mezi prvními a druhými obroběnými povrchy a obrovský propad hodnot mezi druhými a třetími obroběnými povrchy a to o 2-6 násobek předchozí hodnoty.

Pokud by jsme porovnávali povrch řezaný kotoučovou pilou a frézovaný povrch, v první fázi po obrábění je řezaný povrch mírně vyšší než povrch frézovaný. Po prvním nánosu nátěrové hmoty nepozorujeme u řezaného povrchu takřka žádnou změnu, zato u frézovaného povrchu klesla hodnota Rt o více než čtvrtinu. Při měření hodnot po druhém nástřiku vodou-ředitelného laku se tyto hodnoty úplně zarovnávají s rozdílem většího rozptylu od aritmetického průměru u frézovaného povrchu. Navíc jsou tyto hodnoty větší než u hrubě a středně broušených povrchů, což u předchozích případů vycházelo naopak. Je to dáno technologií obrábění, kdy frézování obrábí materiál kolmo ke směru posuvu, ale bruska odebírá materiál rovnoběžně se směrem posuvu. Při detailním zkoumání, pak můžeme

pozorovat u frézovaného povrchu vlnky i u dvou vrstev nátěrové hmoty, které pak toto hodnotu ovlivňují, zatímco u broušených povrchů jsou podélné rýhy zalité nátěrovou hmotou.

8.3. Vyjádření průměrné šířky prvku profilu RSm

8.3.1. Statistické ukazatele

Tab. č. 10: Statistické ukazatele hodnoty RSm - průměrná šířka profilu

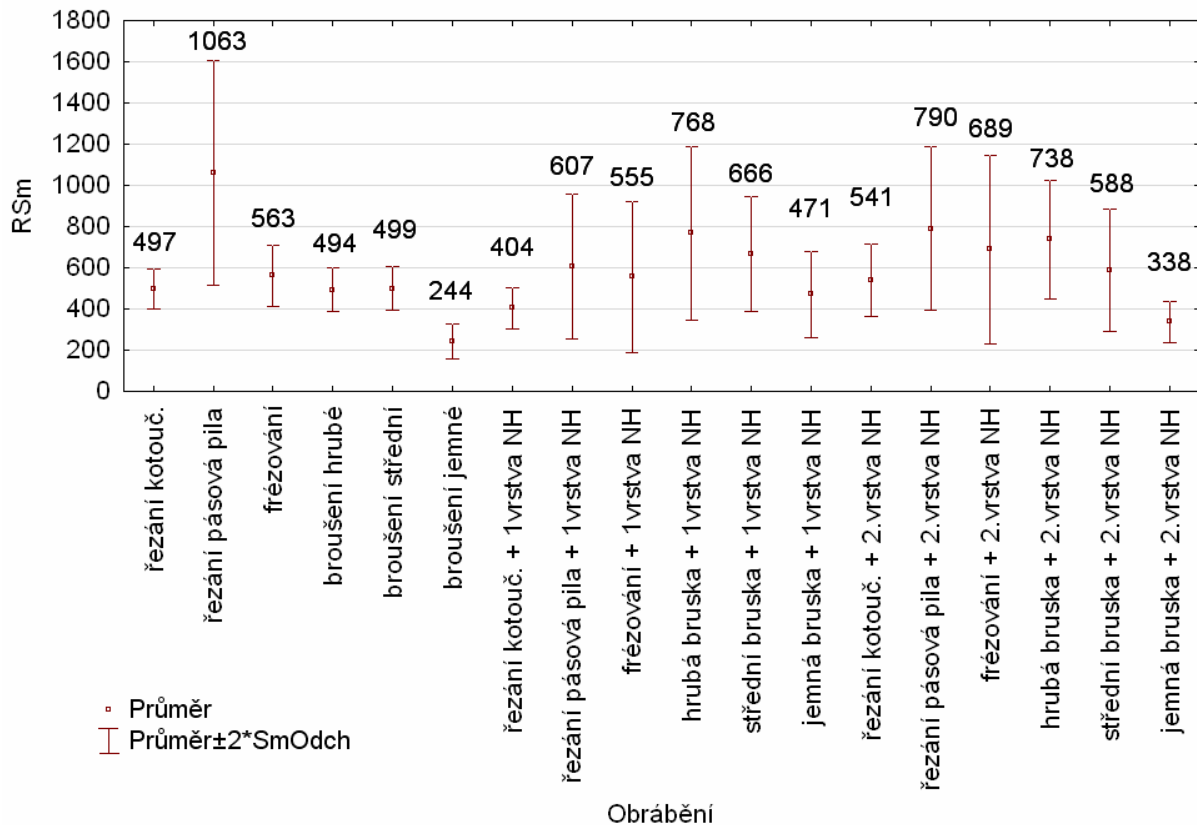
	RSm	\bar{x} [μm]	min [μm]	max [μm]	s_x [μm]	V_x [%]
povrch po obrábění	řezání kotouč.	496,55	410,26	595,20	47,78	9,62
	řezání pásová pila	1062,93	735,78	1772,00	272,85	25,67
	frézování	562,56	431,90	771,45	74,27	13,20
	broušení hrubé	493,97	400,00	621,04	52,71	10,67
	broušení střední	499,03	403,73	596,24	53,23	10,67
	broušení jemné	243,87	154,90	385,04	43,48	17,83
povrch po první vrstvě laku	řezání kotouč.	404,31	300,58	478,75	51,01	12,62
	řezání pásová pila	606,85	384,62	1045,78	176,45	29,08
	frézování	555,23	322,58	908,45	184,52	33,23
	broušení hrubé	768,06	476,05	1215,71	209,69	27,30
	broušení střední	666,39	484,85	1124,91	140,35	21,06
	broušení jemné	470,57	313,90	714,29	104,30	22,16
povrch po první vrstvě laku, přebroušení a druhé vrstvě laku	řezání kotouč.	541,19	395,72	706,88	87,46	16,16
	řezání pásová pila	789,74	444,34	1156,75	198,01	25,07
	frézování	689,11	397,79	1250,00	229,36	33,28
	broušení hrubé	737,91	550,86	1065,64	143,95	19,51
	broušení střední	588,02	395,65	909,09	147,48	25,08
	broušení jemné	337,51	247,21	432,36	49,47	14,66

V přecházející tabulce (Tab. č. 10) jsou znázorněné hodnoty (aritmetického průměru, minimální a maximální hodnoty, výběrové směrodatné odchylky a variačního koeficientu) průměrné šířky profilu RSm. Tento ukazatel udává charakteristiku v podélném směru a opět slouží pro doplnění průměrné aritmetické úchyly R_a , samostatně nemá prakticky žádnou vypovídající hodnotu.

Můžeme zde pozorovat různé závislosti, například u broušených povrchů byla hodnota aritmetického průměru nejnižší u dílců přímo po obrábění, na rozdíl od řezaných a frézovaných povrchů byly tyto hodnoty nejnižší u dílců po první vrstvě laku. Takovýto trend je ovlivněný směrem obrábění. Kde u broušení dochází k podélnému obrábění na rozdíl od frézování a řezání na pásové pile, kde dochází k příčnému obrábění. U kotoučové pily je směr obrábění šikmý, mezi oběma těmito způsoby, záleží na vysunutí kotouče nad stolovou desku. Vzhledem k takovému trendu by jsme ho spíše přiřadili k příčně obráběným povrchům. Při současném měření se měřící hrot pohyboval a analyzoval povrch podélně se směrem posuvu

obráběných dílců. Pokud bychom měřili dílce kolmo se směrem posuvu při obrábění tento trend by byl s největší pravděpodobností opačný.

8.3.2. Porovnání výsledků RSm všech druhů obrábění a dokončení



Obr. č. 31: Krabicový graf hodnoty RSm v závislosti na zvoleném druhu obrábění

V předcházejícím grafu (Obr. č. 31) jsou krásně znázorněny trendy, které jsem popisoval v předcházející kapitole 8.3.1. Statistické ukazatele. Dále jsou na tomto grafu k vidění velké rozptyly hodnot po první a druhé úpravě nátěrovou hmotou. Obecně platí, že nejmenší rozdíly mezi jednotlivými naměřenými hodnotami, tzn. rozptyl, jsou u povrchů dílců po obrábění. Platí to s výjimkou řezaného povrchu pásovou pilou, na kterém jsou velice hrubé stopy po pilových zubech.

Ovšem vyšší naměřené hodnoty neznamenají, že povrch je hrubší. Tento parametr se měří na základní délce, čím nižší je hodnota RSm, tím vícekrát stopa křivky překřížila Střední aritmetickou čáru základního povrchu. To může znamenat, že měřený povrch výrazným způsobem kolísá od minimálních hodnot po maximální hodnoty a výsledná drsnost povrchu je vysoká. Nebo to může znamenat, že naměřená křivka prakticky kopíruje Střední aritmetickou čáru základního povrchu a s minimálními výkyvy rychle kolísá nad a pod tuto čáru, výsledný drsnost povrchu vykazuje nízké hodnoty a jakost je vysoká. Proto nelze pouze podle tohoto parametru hodnotit výslednou drsnost povrchu.

Na obrázku (Obr. č. 32) jsou znázorněné nejnižší hodnota ($R_{Sm_{13B}} = 431,90 \mu\text{m}$), průměrná hodnota ($R_{Sm_{15B}} = 563,06 \mu\text{m}$) a nejvyšší hodnota ($R_{Sm_{2B}} = 771,45 \mu\text{m}$) u frézovaného povrchu bez povrchové úpravy. U nejvyšší hodnoty [2B] jsou vidět poměrně široká místa, kde křivka nekřížuje Střední aritmetickou čáru základního povrchu. Tyto místa významným způsobem zvyšují hodnotu Průměrné šířky prvků profilu R_{Sm} . Naopak u nejnižší hodnoty [13B] se tyto „hluchá“ místa vyskytují v minimálním množství. Jak jsem již výše zmiňoval neznámá to, takto by se pohybovala i Průměrná směrodatná odchylka R_a v takovémto trendu. Porovnání těchto hodnot je uvedeno v černých rámečcích pod jednotlivými křivkami grafů v témže obrázku (Obr. č. 32).

Obr.č.32: Porovnání hodnot R_{Sm} (13B-nejnižší, 15B-průměrná, 2B-nejvyšší hodnota)



9. Závěr

Z naměřených výsledů u různých druhů obrábění jsou v kapitole 8. Výsledky a diskuze odvozené závěry.

Povrch MDF desek řezaný pásovou pilou není vůbec vhodný pro dokončení hran nábytku, naměřená drsnost je vysoká ($R_a = 42, 71 \mu\text{m}$), na samotném povrchu jsou hluboké příčné rýhy po jednotlivých zubech. Proto i dokončení takového povrchu je obtížné a bude vysoká spotřeba nátěrové hmoty, kvůli většímu povrchu takovéto hrany. Výjimku by mohla tvořit skupina lidí, kterým se nelíbí rovné pravidelné tvary, ale vyhledávají spíše nepravidelnosti.

Povrchy po dokončení kotoučovou pilou a hrubou bruskou vykazují velice podobné hodnoty drsnosti povrchu ($R_a = 16,03$ a $16,12 \mu\text{m}$). Už při vizuálním posouzení jsou na těchto površích znatelné rýhy po obráběcích nástrojích, které by byly znatelné i pod krycí vrstvou nátěrové hmoty. Povrchy dokončené frézováním a broušením brusným papírem se střední zrnitostí mají nižší hodnoty drsnosti povrchu ($R_a = 11,02$ a $13,50 \mu\text{m}$), ale při detailnějším pozorování jsou zde zřejmé nerovnosti. Po nanesení první vrstvy nátěrové hmoty jsou dokonce některé naměřené hodnoty vyšší než u předchozí úpravy povrchů. Proto není ani jeden z těchto povrchů vhodný pro konečné dokončení.

Poslední druh obrábění, kterým jsou upravené hrany, je povrch dokončený jemným brusným papírem se zrnitostí 180. Naměřená průměrná hodnota ($R_a = 5,44 \mu\text{m}$) je dvakrát až třikrát menší než hodnoty předchozích druhů obrábění. Jako jediný z druhů obrábění bych takto dokončený povrch dále zpracovával nanášením nátěrových hmot. To je zřetelné i po nanesení dvou vrstev transparentní vodou-ředitelné lazury, kde se ostatní povrchy dostávají těsně pod tuto naměřenou hranici, zatímco drsnost u takto broušeného povrchu se snížila pětinašobně ($R_a = 1,09 \mu\text{m}$).

10. Seznam použité literatury

- Adamcová (2010): Výskum vplyvu geometrie a materiálu stopkových frézovacích nástrojov na ich životnosť a kvalitu opracovania drevných materiálov: Technická univerzita vo Zvolene: 62s.
- Taylor Hobson, (2009): Exploring Surface Texture: A fundamental guide to the measurement of surface finish. Great Britain100s. List No. 600-14
- Muzikář a kol., (2008): Materiály II: pro učební obor Truhlář. Informatorium Praha: 175 s. ISBN 978-80-7333-061-3
- Hrázský, Král, (2007): Kompozitní materiály na bázi dřeva: Část I.: Aglomerované materiály. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně: 253 s. ISBN 978-80-7375-034-3
- Raban, J. (2007): Móda „vysokého lesku“ se vrací, Povrchové úpravy 1/2007. Press Agency Praha: 64 s. (24). ISSN 0551-7354
- Štefka, (2006): Kompozitné drevené materiály: Časť II.: Technológia aglomerovaných materiálov. Technická univerzita vo Zvolene: ISBN 80-228-1705-8
- Peschel a kol., (2002): Dřevařská příručka: tabulky, technické údaje. Sobotáles Praha: 318 s. ISBN 80-85920-84-0
- Bumbálek, Odvody, Ošťádal, (1989): Drsnost povrchu. Nakladatelství techn. lit. Praha: 338 s. ISBN 04-252-89
- Čížek, (1985): Vlastnosti a zpracování třískových a vláknitých desek. SNTL Praha: 352 s. ISBN 04-840-85
- Firemní literatura Škoda Plzeň (1949): Drsnost povrchu
- Webové stránky:
- Alanwake: http://www.alanwake-modding.estranky.cz/clanky/navody_-doporuceni_-recenze/jak-na-to_---strikani-pistoli.html (20.3.2012)
- Ddl: <http://www.ddl.cz/> (19.3.2012)
- Industrystock: <http://www.industrystock.org/html/resale/industry-show-cz-61-0.html>
- Mitutoyo: www.mitutoyo-czech.cz/cz/pdf/poster_drsnosti_ra_cze_a3.pdf (4.4.2012)
- Mfg: <http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/quality/sfinish/terminology.htm> (20.4.2012)
- Kotlanová A. Drsnost povrchu: zcu.yc.cz/TD/DRSNOST.doc (4.4.2012)
- Remmers: <http://www.remmers.cz/maloobchod/laky-vodni-baze/aidol-weterschutz-lasur-uv.htm> (11.4.2012)
- Stanford: <http://bdml.stanford.edu/twiki/pub/Rise/ProfilometerInfo/INTRAtalysurftaylor-hobson.pdf> (11.4.2012)

Wikipedia₁: http://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD_pr%C5%AFm%C4%9Br
(3.4.2012)

Wikipedia₂: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodavn%C3%A1_odchylka (3.4.2012)

11. Seznam použitých norem

ČSN 49 0231 - Přípravky na opracování řeziva a přířezů řeziva, drsnost povrchu výrobků ze dřeva a na bázi dřeva(01.květen 1993)

ČSN EN ISO 4287 - Geometrické požadavky na výrobky (GPS) -Struktura povrchu:

Profilová metoda -Termíny, definice a parametry struktury povrchu (1999)

ČSN EN ISO 4288 - Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu:

Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu (1999)

ČSN EN 622-1 - Vlákenné desky - Požadavky - Část 1: Všeobecné požadavky

ČSN EN 622-5 - Vlákenné desky - Požadavky - Část 5: Požadavky na desky vyrobené suchým procesem (MDF)

ČSN EN 326-1 - Desky ze dřeva - Odběr vzorků, nařezávání a kontrola - Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky

12. Seznam použitých obrázků

- Obr. č. 1: MDF desky, příklad různých tloušťek (Ddl)
- Obr. č. 2: Bubnový štěpkovač na dřevní odpad (Industrystock)
- Obr. č. 3: Schéma rozvlákňovacího zařízení typu Defibrator-Rafinér (Štefka 2006)
- Obr. č. 4: Schéma jednostupňové proudové sušárny (Štefka 2006)
- Obr. č. 5: Doporučené hodnoty úhlů při strojním obrábění MDF (Hrázský, Král 2007)
- Obr. č. 6: Povrchy dokončené různými metodami
- Obr. č. 7: Profil povrchu (Bumbálek a kol. 1989)
- Obr. č. 8: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287)
- Obr. č. 9: Střední aritmetická čára profilu, graf povrchu po jemném broušení a druhé vrstvě nátěrové hmoty vzorek č.1
- Obr. č. 10: Vyjádření hodnoty Ra, graf povrchu po frézování a první vrstvě nátěrové hmoty vzorek č.1
- Obr. č. 11: Největší výška profilu $R_z = 202,9 \mu\text{m}$ a celková výška profilu drsnosti $R_t = 221,1 \mu\text{m}$, graf povrchu po řezání pásovou pilou bez povrchové úpravy vzorek č. 20,
- Obr. č. 12: Šířka prvků profilu $R_{SM} = 378,9 \mu\text{m}$, graf povrchu po řezání kotoučovou pilou a první vrstvě nátěrové hmoty vzorek č.1
- Obr. č. 13: Materiálový poměr profilu stanoví podíl materiálu $R_{mr}(c)$ profilu jako funkci řezné výšky c (Abbott-Firestonova křivka) (ČSN EN ISO 4287)
- Obr. č. 14: Stříkáč s dolní a horní nádobkou (Alanwake)
- Obr. č. 15: Značka drsnosti na výkrese
- Obr. č. 16: Srovnané vzorky před prvním nánosem
- Obr. č. 17: Nanášení první vrstvy nátěrové hmoty
- Obr. č. 18: Nanášení druhé vrstvy nátěrové hmoty
- Obr. č. 19: Na první pohled patrné rozdíly mezi první a druhou vrstvou NH
- Obr. č. 20: Měřicí zařízení, zkušební vzorek, propojení s počítačem
- Obr. č. 21: Měřicí zařízení, vysunutý snímač s měřícím hrotem
- Obr. č. 22: Nastavení střední hodnoty na snímači, nižší a vyšší hodnoty
- Obr. č. 23: Měřicí hrot na zkoušeném materiálu.
- Obr. č. 24: Zaznamenané nerovnosti v grafickém provedení na vzorku č.1 frézovaného povrchu s první vrstvou nátěrové hmoty
- Obr. č. 25: Analýza s výpočtem vybraných ukazatelů a odfiltrování sklonu na stejném vzorku
- Obr. č. 26: Zaznamenávání výsledků

- Obr. č. 27: Porovnání hodnot Ra (průměrné aritmetické úchylky) u různých obrábění
- Obr. č. 28: Krabicový graf hodnoty Ra v závislosti na zvoleném druhu obrábění
- Obr. č. 29: Vyjadřuje hodnoty Ra po obrábění kotoučovou pilou a porovnání s první a druhou vrstvou nátěrové hmoty
- Obr. č. 30: Krabicový graf hodnoty Rt v závislosti na zvoleném druhu obrábění
- Obr. č. 31: Krabicový graf hodnoty RSm v závislosti na zvoleném druhu obrábění
- Obr. č. 32: Porovnání hodnot RSm (13B-nejnižší, 15B-průměrná, 2B-nejvyšší hodnota)
- Obr. č. 33: Příklad nářezového plánu zkušebních těles (norma ČSN EN 326-1)

13. Seznam použitých tabulek

- Tab. č. 1: Doplnkové vlastnosti (norma ČSN EN 622-5)
- Tab. č. 2: Klasifikace úchylek povrchu (Bumbálek a kol. 1989)
- Tab. č. 3: Značení drsnosti na výkrese (Mitutoyo)
- Tab. č. 4: Označení směru nerovnosti - d (Mitutoyo)
- Tab. č. 5: Základní délky drsnosti pro měření (ČSN EN ISO 4288)
- Tab. č. 6: Klasifikace metod a přístrojů pro měření drsnosti povrchu (Bumbálek a kol. 1989)
- Tab. č. 7: Statistické ukazatele hodnoty Ra
- Tab. č. 8: Statistické ukazatele hodnoty Rt - celková výška profilu
- Tab. č. 9: Statistické ukazatele hodnoty Rz - největší výška profilu
- Tab. č. 10: Statistické ukazatele hodnoty RSm - průměrná šířka profilu

Příloha A - Protokol o zkoušce (ČSN EN 326-1)

1.1 Předepsané informace

1.1.1 Název zkušební laboratoře

Mechanická a fyzikální laboratoř Katedry zpracování dřeva, FLD, ČZU v Praze

1.1.2 Popis kontrolované dávky

1.1.2.1 Jméno dodavatele (nebo jeho zástupce)

DDL Lukavec

1.1.2.2 Místo a datum odběru vzorků a osoby přítomné u odběru

13. 9. 2011, Lukavec, Ing. David Roll a Ing. Martin Böhm, Ph.D.

1.1.2.3 Typ, druh a jakostní označení desek podle specifikace příslušné EN

MDF desky, surové s modrou barevnou úpravou

1.1.2.4 Vlhkost v čase zkoušky podle EN 322

odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65%

1.1.2.7 Jmenovité rozměry desek

2750 x 1840 x 18 mm

1.1.2.8 Rozsah kontrolované dávky

1.1.3 Popis výběru

Zkušební vzorky byly odebrány v souladu s normou EN 326-1, tj. 6 zkušebních těles (velikost, rozměr i rozmístění podle těles pro stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu), z 6 desek pro každou z 6 technologických operací. Celkem se jednalo o 216 zkušebních vzorků.

1.1.3.1 Rozsah výběru

- počet desek $n = 6$

- počet zkušebních těles z každé desky a pro každou skupinu

= 36 zkušebních těles

1.1.3.2 Kopie použitého nařezávacího plánu je přiložena (Obr. č. 33)

Příloha B - Naměřené hodnoty

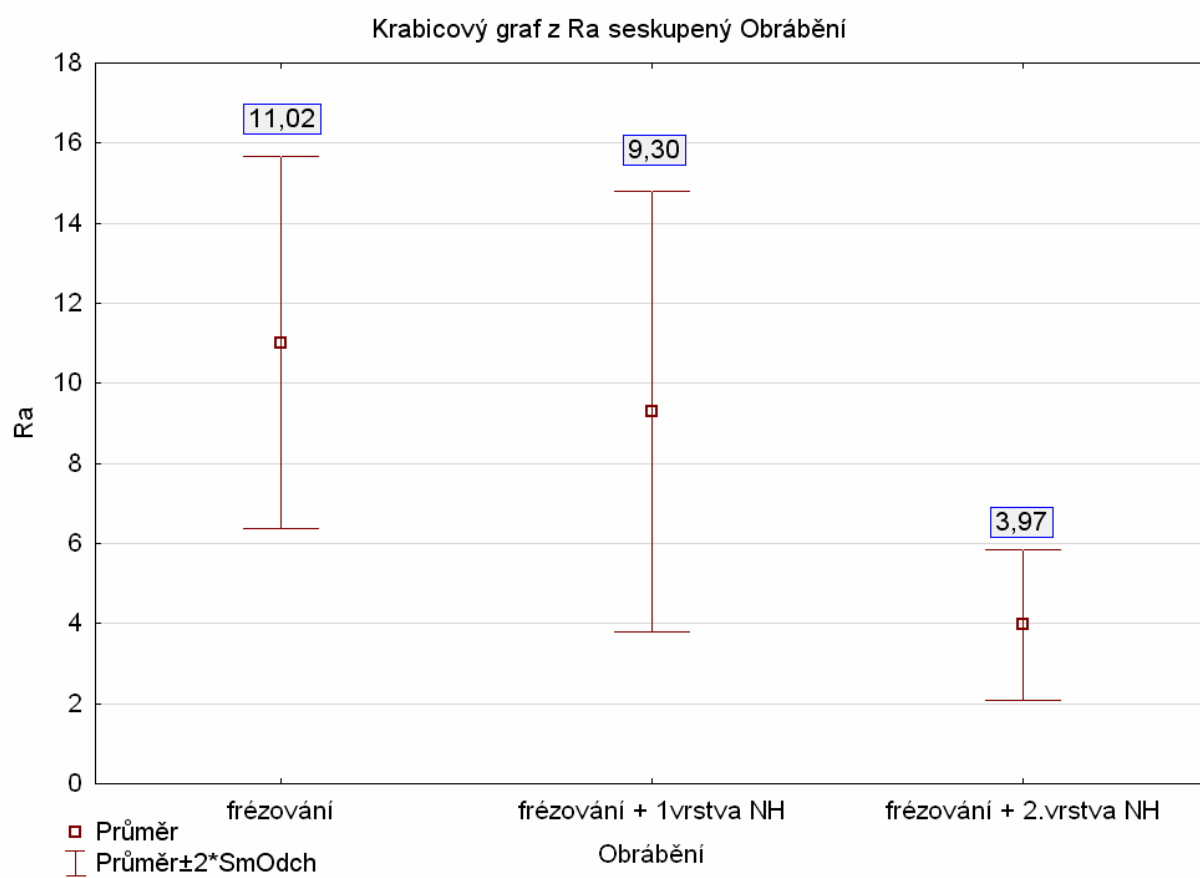
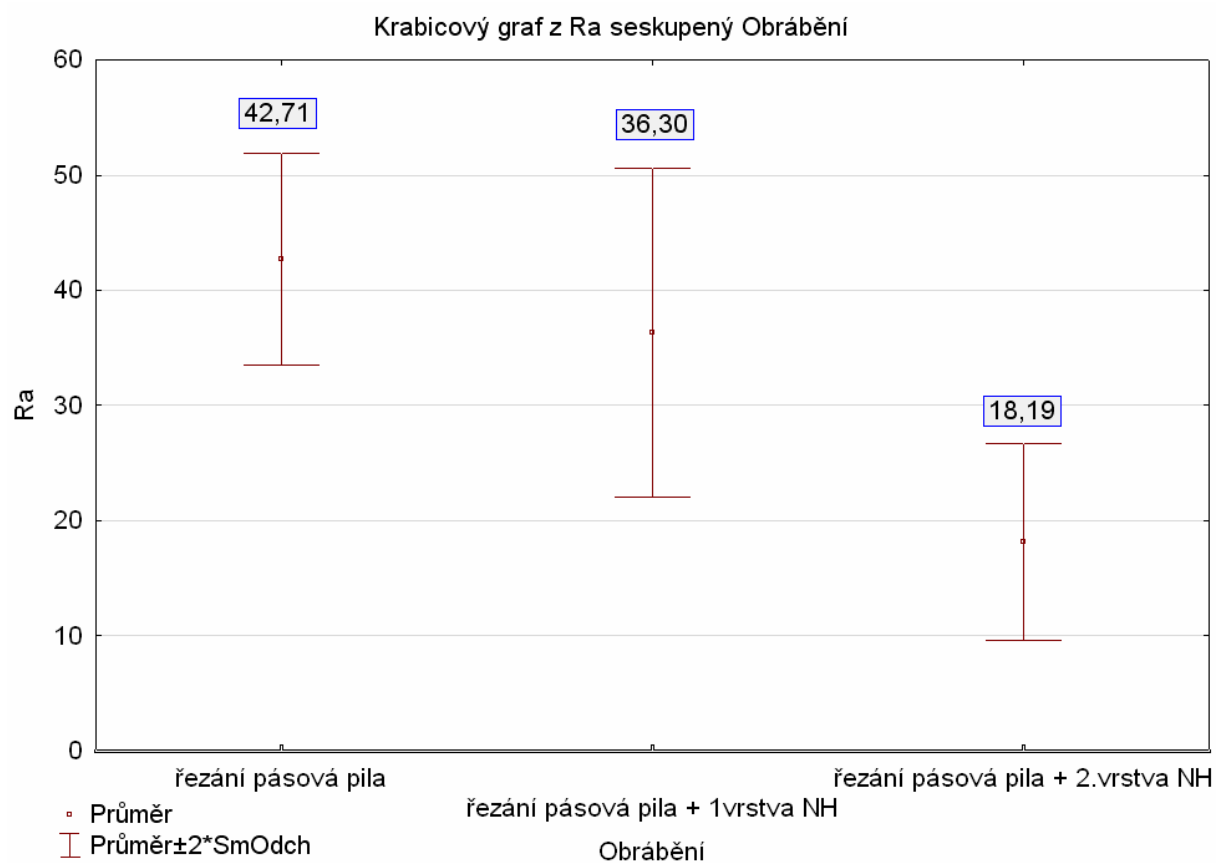
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
řezání kotouč.	Ra	14,231	20,111	21,608	14,567	13,380	16,440	20,469	12,180	14,984	15,871	17,028	22,640	16,634	11,886	15,363	11,956	17,190	21,572	13,738	
	Rt	205,195	230,524	213,602	155,176	229,352	148,776	218,659	112,988	174,522	154,560	185,733	151,367	186,503	163,963	131,462	150,055	116,628	146,665	230,762	158,103
	Rz	137,886	174,597	185,125	132,029	126,912	128,385	195,527	103,663	129,807	128,951	132,057	126,076	160,087	128,448	106,212	122,327	101,295	123,652	175,573	123,611
	RSm	530,40	481,41	441,31	568,96	595,20	467,64	522,74	507,94	514,77	455,22	549,61	410,26	516,13	506,81	484,22	558,72	442,72	455,26	463,77	448,72
řezání pasovka	Ra	41,171	42,588	43,381	35,007	45,555	45,995	48,465	41,954	42,206	52,647	42,600	41,592	45,349	43,720	35,203	44,013	45,486	41,650	49,150	31,681
	Rt	386,435	319,074	464,329	286,713	373,890	481,892	390,634	345,640	383,767	527,560	547,457	344,275	414,208	335,548	313,724	352,981	360,348	457,675	437,851	221,101
	Rz	250,459	259,529	296,990	240,767	292,227	327,946	285,400	269,242	279,262	344,789	301,394	261,914	287,406	283,311	241,592	273,346	292,772	327,554	345,117	202,892
	RSm	1023,27	1096,91	1062,05	887,18	1523,81	1362,76	1772,00	1096,96	850,61	1737,18	1511,50	882,10	1311,23	885,65	878,21	910,31	1066,67	941,18	1185,19	816,41
frézování	Ra	10,858	9,373	10,922	9,437	9,223	9,935	7,653	9,995	9,297	9,665	11,879	9,132	10,809	9,286	14,490	9,489	15,474	15,768	11,915	9,161
	Rt	139,276	144,398	161,904	133,660	118,928	141,000	84,386	113,777	101,095	132,640	179,358	92,476	118,042	98,229	169,491	147,037	193,138	208,934	167,522	114,455
	Rz	110,386	110,370	130,275	91,663	98,515	115,474	74,046	89,190	81,456	102,245	131,506	79,408	106,398	86,664	124,296	108,106	140,504	139,952	120,726	89,250
	RSm	555,21	569,36	522,91	771,45	516,13	652,56	482,73	540,58	485,33	574,66	477,61	634,90	525,81	603,77	563,62	484,38	680,85	580,72	523,70	535,38
broušení jemné	Ra	18,225	16,720	19,040	16,035	11,337	14,073	21,534	13,007	15,920	16,252	19,403	15,904	20,844	15,596	15,509	13,469	15,506	17,277	17,179	13,978
	Rt	188,088	173,200	249,392	165,895	136,554	151,934	254,052	121,288	130,882	161,373	233,188	138,636	171,230	143,771	178,255	141,992	150,701	175,690	162,000	115,798
	Rz	145,070	127,690	156,402	148,815	108,026	116,408	171,680	107,661	118,981	135,660	170,139	123,682	151,560	125,606	137,686	118,352	122,282	144,218	134,999	103,769
	RSm	531,87	492,31	593,10	456,36	541,50	492,31	621,04	418,40	480,70	500,00	426,45	440,07	492,51	462,14	454,81	461,05	492,31	551,72	499,92	425,73
broušení střední	Ra	14,520	11,387	16,206	11,509	13,973	12,587	14,704	12,583	14,360	12,081	12,442	12,723	14,001	11,801	12,921	12,563	12,111	15,802	12,915	13,434
	Rt	179,649	103,395	165,254	96,166	134,631	168,693	140,761	120,337	142,741	152,963	137,239	129,921	130,714	100,951	133,593	114,380	129,583	150,962	161,685	119,326
	Rz	132,664	90,374	131,485	85,389	108,454	106,232	121,166	100,440	116,508	109,274	104,851	113,828	117,999	90,657	104,123	90,465	101,183	123,375	122,237	96,111
	RSm	571,43	421,05	450,70	521,10	441,27	551,86	461,99	551,72	410,26	490,97	457,14	484,85	497,31	448,23	484,26	500,46	461,86	532,11	581,82	571,43
broušení hrubé	Ra	6,911	4,503	5,790	5,606	4,588	5,626	5,464	3,841	6,598	3,664	5,374	5,759	6,106	6,578	4,525	4,880	5,710	6,606	6,697	4,969
	Rt	64,221	47,711	80,482	93,944	57,265	62,350	76,824	64,774	75,518	36,947	73,851	90,752	82,270	66,258	61,647	54,009	79,784	58,619	64,864	51,135
	Rz	55,515	39,173	53,589	56,259	47,856	49,849	54,262	36,511	55,014	31,628	50,754	59,652	61,306	52,054	42,553	40,239	53,713	49,341	56,503	41,153
	RSm	243,90	206,67	206,33	312,50	227,27	212,77	267,62	289,00	205,20	237,37	231,91	306,73	294,12	238,10	213,40	267,58	284,61	207,22	223,16	226,63

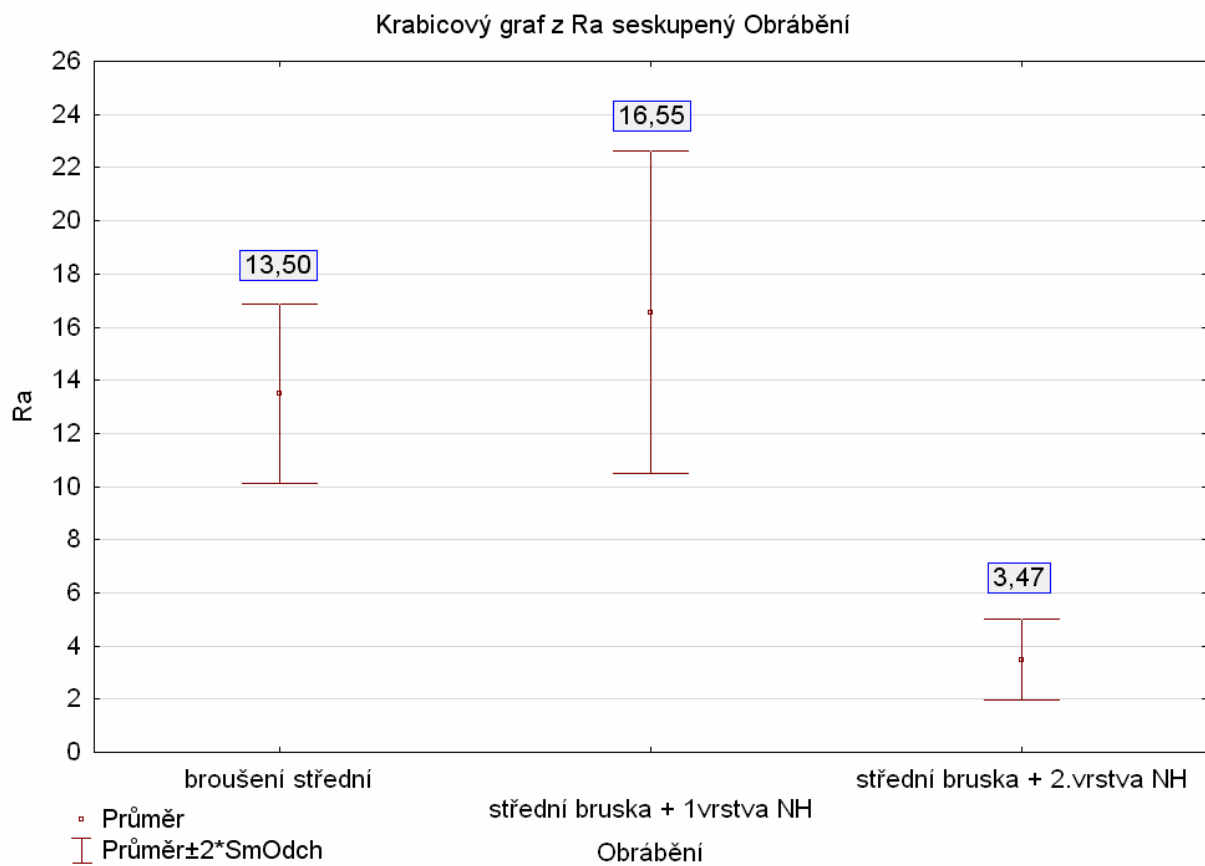
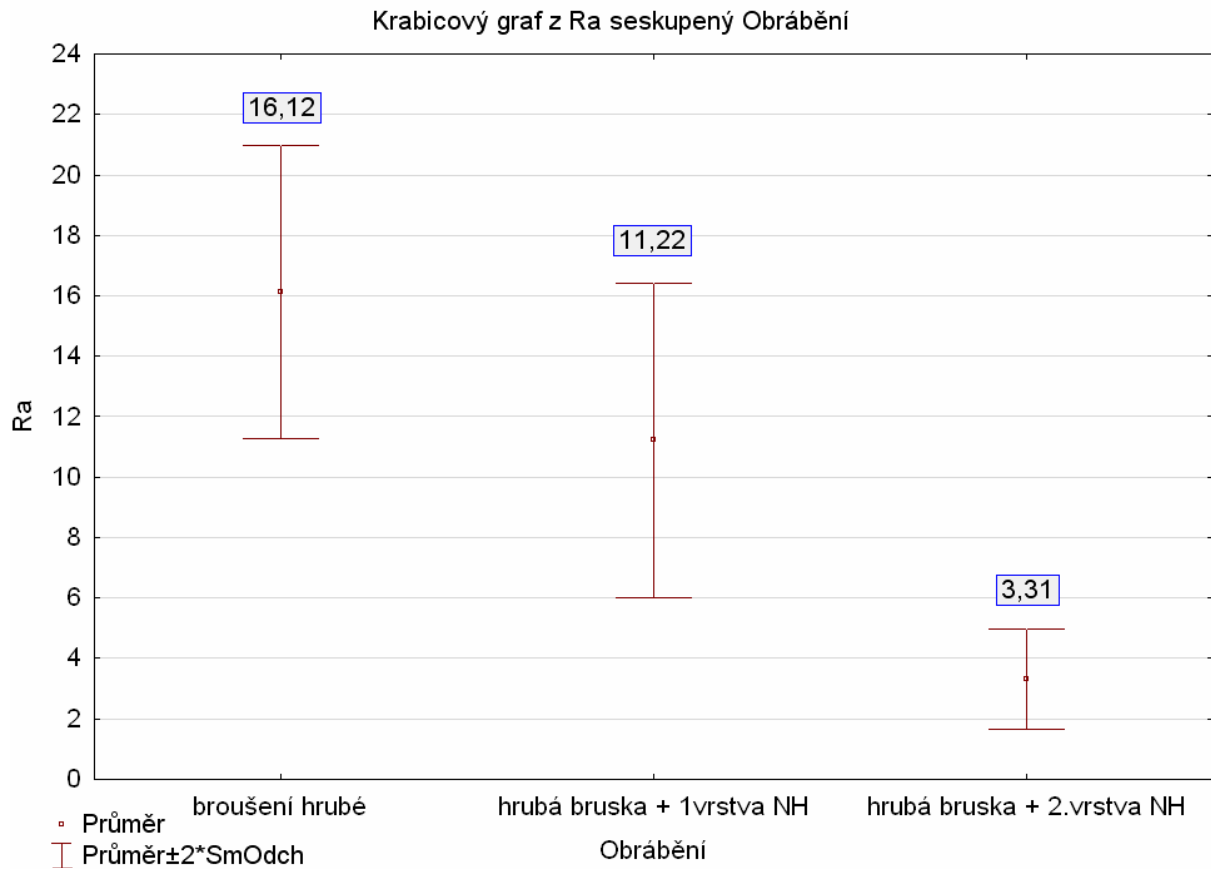
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
řezání kotouč.	Ra	17,818	12,402	13,866	19,489	10,220	13,845	12,447	17,892	11,519	16,015	17,702	14,207	20,433	14,960	16,288	17,829			
	Rt	147,389	154,367	128,867	192,931	88,603	154,956	158,463	160,162	128,678	184,435	187,054	130,448	237,534	169,214	178,649	155,485			
	Rz	124,434	117,194	104,980	147,765	80,331	119,621	112,067	133,456	93,620	134,426	151,585	117,763	172,361	124,281	127,673	129,368			
	RSm	495,00	500,00	470,59	580,74	466,87	435,06	570,10	450,70	560,34	464,79	451,56	496,27	511,85	524,59	541,79	433,68			
řezání pasovka	Ra	37,559	46,497	47,169	41,968	48,148	37,987	46,137	42,518	41,755	42,362	43,823	38,763	43,672	37,165	46,691	34,004			
	Rt	344,747	415,315	445,959	406,603	445,234	289,661	341,771	538,569	356,767	330,027	425,006	377,070	411,923	314,330	531,613	281,721			
	Rz	258,870	308,378	338,566	293,952	340,139	225,083	263,163	331,365	235,002	263,036	309,239	258,302	323,146	256,742	339,964	222,630			
	RSm	937,97	948,74	1029,36	780,49	941,18	930,04	967,70	1519,20	864,86	828,83	1103,45	761,90	1316,23	798,31	988,13	735,78			
frézování	Ra	13,726	10,706	14,779	10,192	11,561	8,521	10,713	10,802	16,257	13,465	7,970	10,057							
	Rt	152,921	124,329	215,127	231,105	164,957	88,335	131,721	147,092	255,043	156,731	117,107	145,962							
	Rz	129,380	112,027	153,214	127,552	124,683	73,031	104,161	101,552	156,836	130,366	93,151	108,145							
	RSm	514,31	522,72	689,70	682,40	614,06	431,90	507,63	497,79	605,35	563,06	529,84	561,40							
broušení jemné	Ra	16,322	14,459	14,444	14,711	13,823	12,249	15,296	19,206	21,278	15,114	14,474	17,893	17,868	16,843	14,965	14,667			
	Rt	187,270	134,699	168,449	150,693	121,606	142,882	163,933	190,874	200,374	142,834	141,660	214,026	276,596	155,454	157,813	151,813			
	Rz	138,892	112,330	135,065	118,938	112,300	116,607	137,551	138,799	158,552	115,022	109,608	170,652	188,615	128,647	130,195	118,708			
	RSm	463,77	400,00	551,03	492,26	462,26	447,94	609,00	484,85	546,00	463,77	535,47	537,28	525,54	457,14	454,86	517,50			
broušení střední	Ra	16,546	10,586	15,490	13,946	16,508	12,325	13,390	12,292	15,156	12,103	14,254	11,934	15,180	13,235	17,101	11,252			
	Rt	149,489	93,654	143,477	113,666	161,837	124,254	120,469	113,503	186,601	104,895	144,237	97,463	148,879	132,098	170,824	130,604			
	Rz	134,814	80,835	125,820	101,283	129,969	101,654	97,844	95,896	146,279	85,499	118,354	84,138	121,353	102,624	131,155	99,933			
	RSm	531,37	480,57	442,79	551,72	513,10	450,70	507,94	478,22	441,85	539,24	596,24	457,14	403,73	560,40	561,40	537,01			
broušení hrubé	Ra	6,103	4,026	5,866	4,578	6,653	6,371	6,897	4,104	5,354	4,588	5,664	5,098	5,762	4,751	5,014	5,386			
	Rt	111,737	41,114	82,361	37,625	97,834	56,226	69,797	42,533	60,968	44,817	71,488	50,625	60,062	52,611	60,946	69,728			
	Rz	73,843	33,465	57,580	32,837	66,272	48,872	57,321	35,188	46,638	37,837	45,040	38,260	49,408	43,858	43,515	46,948			
	RSm	385,04	208,37	249,98	154,90	284,23	242,69	273,86	221,84	212,77	189,13	222,22	231,79	215,07	216,79	274,33	292,21			

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
řezání kotouč 1NP	Ra	17,267	21,313	16,372	19,584	21,327	12,456	24,106	18,838	16,006	21,532	21,105	15,702	10,241	17,456	11,349	20,728	26,206	21,120		
	Rt	165,587	158,043	165,126	176,172	196,516	109,818	247,102	167,429	157,381	172,877	164,987	138,879	104,856	148,306	123,658	169,888	244,673	175,673		
	RZ	121,183	125,147	116,368	134,985	139,044	83,007	159,773	129,470	112,075	142,238	131,919	115,035	71,847	110,940	84,732	147,135	179,466	128,019		
	RSm	378,98	300,58	460,93	416,67	415,31	397,18	478,75	388,56	460,14	344,83	374,90	398,26	458,33	305,00	416,67	436,98	400,00	447,59		
řezání pasovka 1NP	Ra	34,413	40,443	33,084	29,876	52,426	33,145	26,824	25,527	31,811	42,343	40,074	44,156	44,853	40,646	32,009	38,170	35,812	27,836		
	Rt	298,022	448,782	381,684	260,356	338,035	259,252	213,229	175,188	229,693	357,396	289,923	318,422	301,919	238,781	234,476	276,346	365,966	236,322		
	RZ	196,593	282,275	217,114	187,069	267,428	174,127	151,916	144,920	190,037	256,272	235,145	264,432	238,324	204,489	197,458	211,227	213,255	167,143		
	RSm	623,84	996,78	1045,78	555,56	709,75	543,33	384,62	414,58	551,89	638,73	534,50	516,53	612,69	554,33	613,50	714,29	498,45	414,21		
frézování 1NP	Ra	5,793	9,195	8,400	8,402	10,376	5,767	5,418	7,134	22,066	10,146	8,951	8,043	14,501	9,994	14,589	10,003				
	Rt	48,601	107,381	90,611	85,576	115,898	85,120	70,714	68,512	233,146	138,124	120,662	85,060	193,200	119,280	121,050	150,612				
	RZ	34,191	77,803	66,158	68,550	84,113	49,486	43,809	49,687	154,407	86,217	84,070	62,958	111,281	84,117	95,743	89,828				
	RSm	889,82	611,34	322,58	405,85	384,62	652,87	908,45	714,29	577,62	570,59	728,13	416,67	476,19	434,78	329,87	459,93				
broušení jemné + 1NP	Ra	16,096	14,168	12,985	12,068	8,781	15,379	8,647	9,205	7,015	8,406	10,454	9,524	9,661	10,853	12,118	14,519	11,801	10,235		
	Rt	139,353	149,693	125,875	143,912	83,899	137,681	94,238	100,587	69,942	106,648	94,185	119,156	152,317	149,739	229,884	231,217	120,777	110,901		
	RZ	106,232	103,145	105,123	96,895	63,264	86,983	70,620	62,227	50,065	80,733	63,958	86,718	99,658	101,486	125,508	154,172	99,076	94,061		
	RSm	603,41	686,36	618,72	764,04	749,04	602,00	476,05	655,90	608,53	645,27	622,91	1081,33	1215,71	1146,91	1015,55	791,03	761,90	780,49		
broušení střední + 1NP	Ra	19,103	18,471	14,470	20,729	17,953	17,953	20,926	17,805	10,691	12,030	15,644	17,843	15,107	13,448	21,037	13,773	17,004	14,538		
	Rt	206,175	211,429	146,766	249,356	236,368	203,791	162,209	159,126	134,393	150,256	164,035	166,751	146,549	167,576	213,631	163,342	159,855	162,240		
	RZ	156,266	144,990	123,007	170,545	158,067	151,610	139,956	135,384	104,536	119,835	132,565	133,749	129,083	134,976	160,884	120,366	139,403	120,426		
	RSm	603,77	636,50	627,45	680,24	711,11	569,90	582,25	484,85	1124,91	820,51	643,46	758,90	666,51	623,15	660,90	627,45	492,31	680,85		
broušení hrubé + 1NP	Ra	5,170	3,370	3,635	3,291	4,189	3,393	4,428	3,070	2,605	3,291	3,312	4,232	2,878	3,386	3,268	3,431	4,051	2,816		
	Rt	56,722	40,067	43,948	37,423	69,384	52,288	52,092	29,250	37,643	48,061	42,920	55,626	39,857	39,891	30,849	47,952	54,183	32,770		
	RZ	47,056	32,875	31,217	31,092	43,704	27,762	33,812	24,935	24,597	31,602	30,368	37,347	26,037	30,646	22,700	30,861	38,250	23,417		
	RSm	315,74	313,90	553,58	416,67	576,71	714,29	468,93	495,93	453,68	586,13	476,19	434,68	460,98	590,78	342,79	432,00	454,55	382,64		

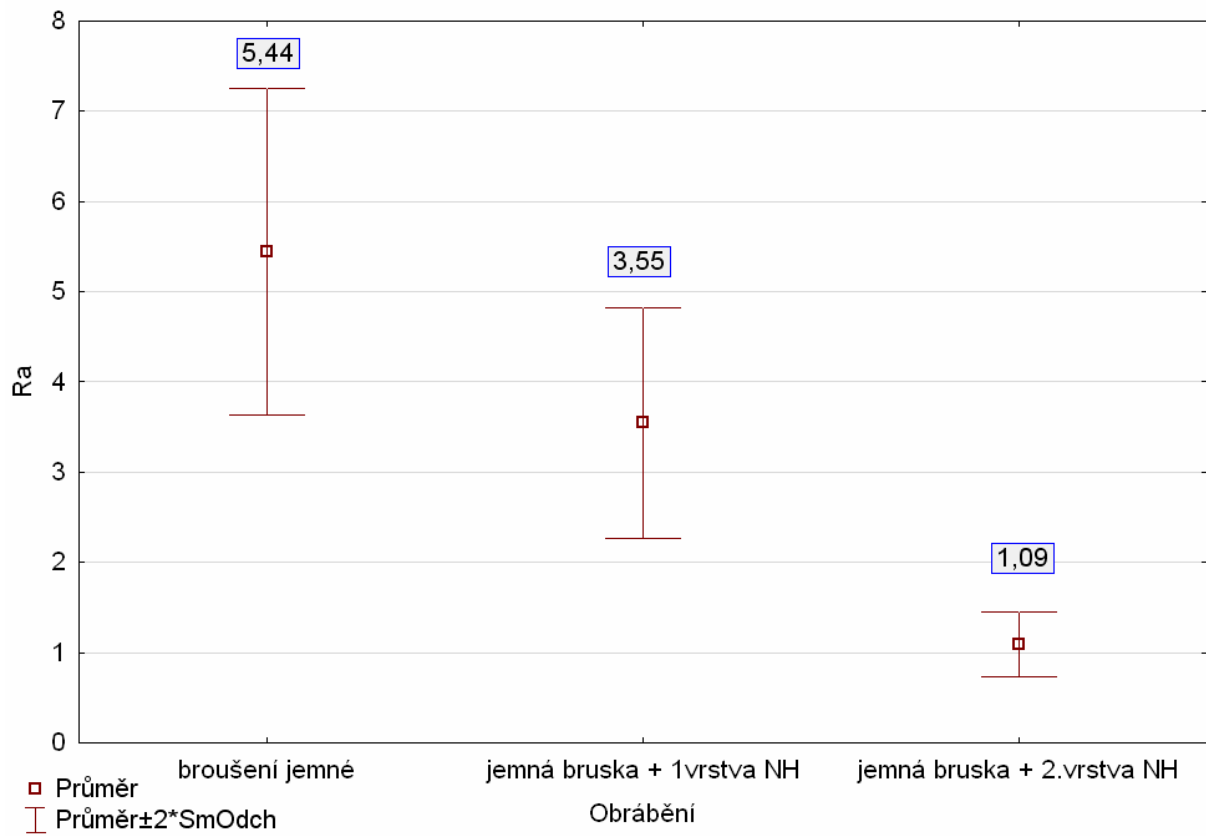
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
řezání kotouč. + ZNP	Ra	5,628	6,193	3,206	5,488	4,657	5,342	7,704	4,438	2,977	6,240	5,194	3,854	3,790	3,316	3,554	6,429	8,358	4,344		
	Rt	37,337	68,937	23,151	38,586	36,251	36,942	46,732	32,420	23,579	38,301	35,875	28,131	29,076	25,443	34,856	44,995	57,399	44,429		
	Rz	31,571	42,462	17,839	27,764	28,145	24,808	39,374	22,978	17,651	30,755	29,626	22,600	22,634	21,070	23,518	36,228	44,018	27,137		
	RŠm	395,72	482,90	461,74	613,56	487,60	531,53	468,29	690,32	490,52	625,00	555,56	500,00	500,00	500,00	620,44	706,88	495,53	476,19	639,63	
řezání pasovka + ZNP	Ra	20,792	18,467	10,786	17,554	15,269	24,414	17,024	13,238	26,258	21,742	22,895	20,776	13,921	19,719	20,372	14,786	16,221	13,127		
	Rt	157,781	150,375	83,915	139,729	95,151	193,337	92,680	120,997	193,874	183,463	182,646	165,292	138,586	179,343	132,612	106,684	183,244	109,376		
	Rz	100,460	96,339	74,869	98,759	79,248	119,225	74,264	77,517	135,000	110,331	125,167	106,963	91,740	95,275	95,962	81,356	82,871	88,328		
	RŠm	798,21	746,46	444,34	685,93	808,46	1098,89	732,50	657,67	1051,00	714,50	666,36	1156,75	591,44	813,50	765,46	553,61	1099,83	630,33		
frézování + ZNP	Ra	4,709	3,175	3,781	3,463	3,087	3,198	3,927	4,461	5,719	3,495	3,983	4,205	3,090	2,951	4,101	6,183				
	Rt	61,508	24,988	33,836	27,687	38,437	22,183	60,350	57,830	54,734	22,870	29,741	43,804	18,162	23,056	35,887	46,731				
	Rz	29,047	18,427	24,598	22,416	24,796	16,981	27,055	26,471	30,970	20,942	21,271	26,660	15,246	16,606	25,348	34,822				
	RŠm	1250,00	588,24	588,24	397,79	661,40	512,76	1111,11	973,80	588,24	678,50	544,97	654,50	625,00	625,00	550,61	551,03	749,62			
broušení jemné + ZNP	Ra	3,962	4,998	3,870	4,483	2,525	2,929	3,818	3,985	3,730	3,427	2,902	1,847	2,926	2,587	2,420	3,508	2,288	3,444		
	Rt	38,854	58,233	36,104	33,092	19,970	18,760	29,281	23,202	24,073	21,523	21,206	14,105	28,912	18,559	19,297	52,813	17,258	21,733		
	Rz	23,921	34,490	22,399	27,405	15,234	15,047	21,481	21,427	20,270	18,482	16,122	11,487	20,386	14,359	14,664	25,080	12,660	17,097		
	RŠm	714,29	985,55	676,46	666,67	552,22	700,00	736,27	787,21	907,41	612,78	731,12	550,86	753,15	863,82	759,23	1065,64	560,97	648,70		
broušení střední + ZNP	Ra	4,002	4,700	3,513	3,997	4,062	3,531	4,129	4,663	3,146	2,535	2,449	2,656	2,481	3,023	3,141	3,076	4,668	3,034		
	Rt	28,206	29,719	34,001	35,784	30,586	26,911	32,412	36,482	26,915	20,706	19,217	20,005	22,101	25,515	25,442	19,431	27,061	22,021		
	Rz	21,251	24,767	21,255	23,754	23,339	22,317	24,599	27,087	18,640	14,474	12,532	15,816	15,870	19,735	19,475	17,180	22,511	17,948		
	RŠm	666,67	478,95	666,67	526,32	398,12	395,65	508,11	438,50	900,77	714,29	578,59	909,09	615,06	666,67	523,24	526,32	500,00	571,41		
broušení hrubé + ZNP	Ra	1,094	1,236	1,041	0,810	1,095	1,175	0,972	0,757	0,946	1,195	1,284	0,826	1,019	1,147	1,352	1,050	1,307	1,311		
	Rt	7,131	11,998	8,271	5,375	13,181	8,267	6,960	6,285	7,084	8,152	8,688	6,005	7,226	8,726	10,712	11,551	9,578	8,438		
	Rz	5,201	7,366	5,545	4,480	6,958	5,909	4,656	4,062	5,372	5,709	6,813	4,844	5,328	5,767	8,132	6,827	7,379	6,151		
	RŠm	313,25	320,00	313,50	400,00	377,44	393,25	332,39	262,25	312,70	349,44	355,56	247,21	363,33	314,46	432,36	286,67	355,56	375,85		

Příloha C - Zbývající grafy hodnoty Ra





Krabicový graf z Ra seskupený Obrábění



Příloha D - Použité tabulky

Tab. č. 6: Klasifikace metod a přístrojů pro měření drsnosti povrchu (Bumbálek a kol. 1989)

1	2	3	4	5	6	7		
Metody hodnocení a měření drsnosti povrchu	souhrnné hodnocení			kvalitativní posuzování		porovnávací vzorky		
				nepřímé kvantitativní měření		mechanické komparátory		
						pneumatické komparátory		
						elektrické kapacitní komparátory		
	kvantitativní měření profilové metody	přístroje s postupnou transformací profilu	dotykové	mechanické	generátorového typu	s mechanickým převodem		
						mechanicko-pneumatické		
						mechanicko optický převod		
				mechanicko-elektrické		piezoelektrické		
						elektrodynamické		
						elektromagnetické		
		přístroje s okamžitou transformací povrchu	bezdotykové	destruktivní	šikmý řez	impedančního typu	induktivní	
							elektrické kapacitní	
							jiné elektrické principy	
			bezdotykové	šikmý řez	nosný podíl		optickými metodami	fotoelektrické s laserem
								metalografický výbrus
								světelný řez
				optický	stínové metody			
					interferenční metody			
					jiné optické metody			
					totální odraz světla			

Ve 2. sloupci je uveden způsob kontroly, 3. sloupec určuje způsob přenosu informací o tvaru profilu nebo plochy, ve 4. a 5. sloupci jsou způsoby snímání nebo znázornění tvaru profilu plochy a v posledních dvou sloupcích jsou rozvinuté klasifikace podle základních fyzikálních principů a podle druhů přístrojů. (Bumbálek a kol. 1989)

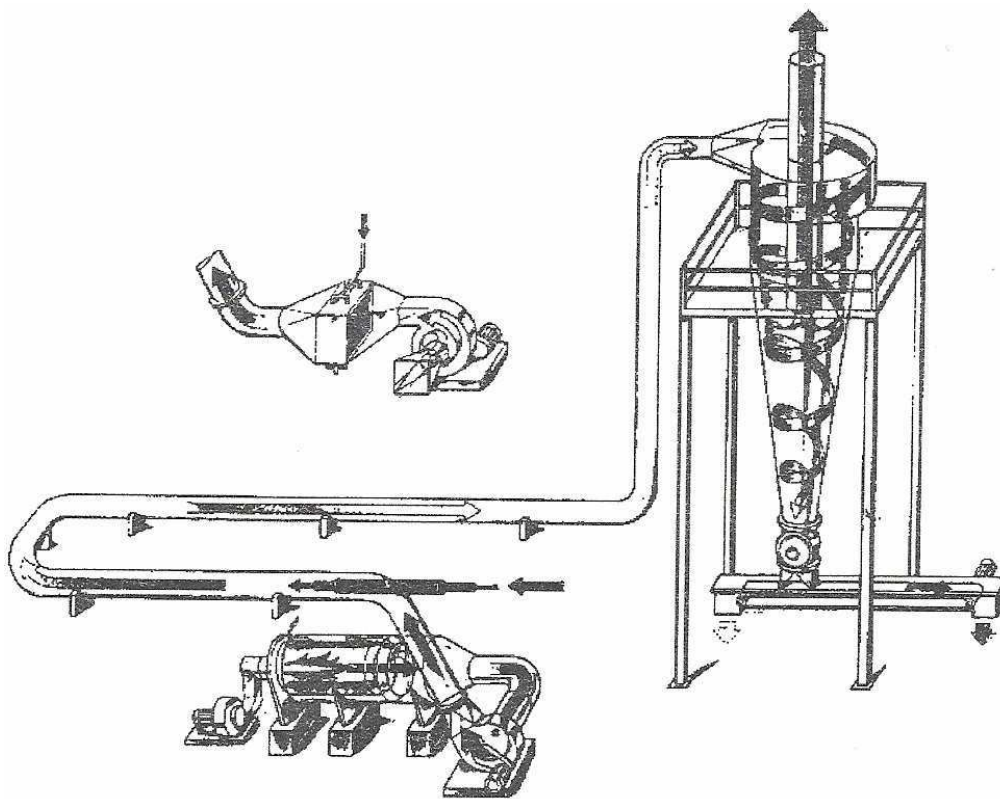
Příloha E - Použité obrázky



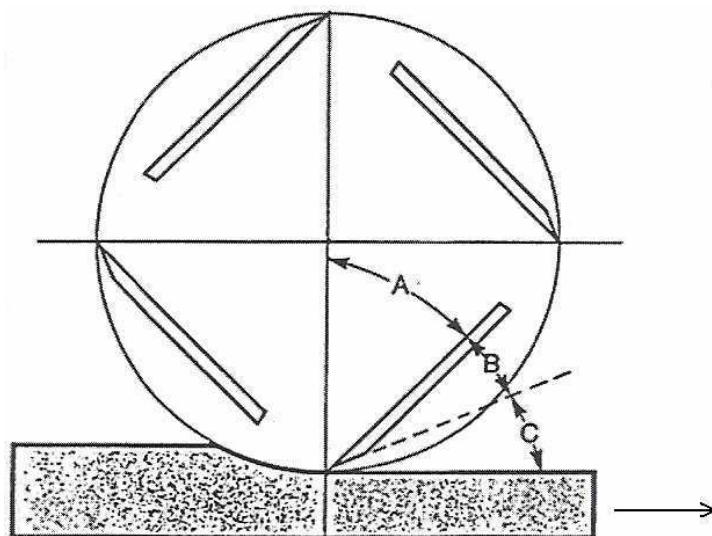
Obr. č. 1: MDF desky, příklad různých tloušťek (Ddl)



Obr. č. 2: Bubnový štěpkovač na dřevní odpad (Industrystock)



Obr. č. 4: Schéma jednostupňové proudové sušárny (Štefka 2006)



A - úhel čela
 B - úhel bříty
 C - úhel hřbetu

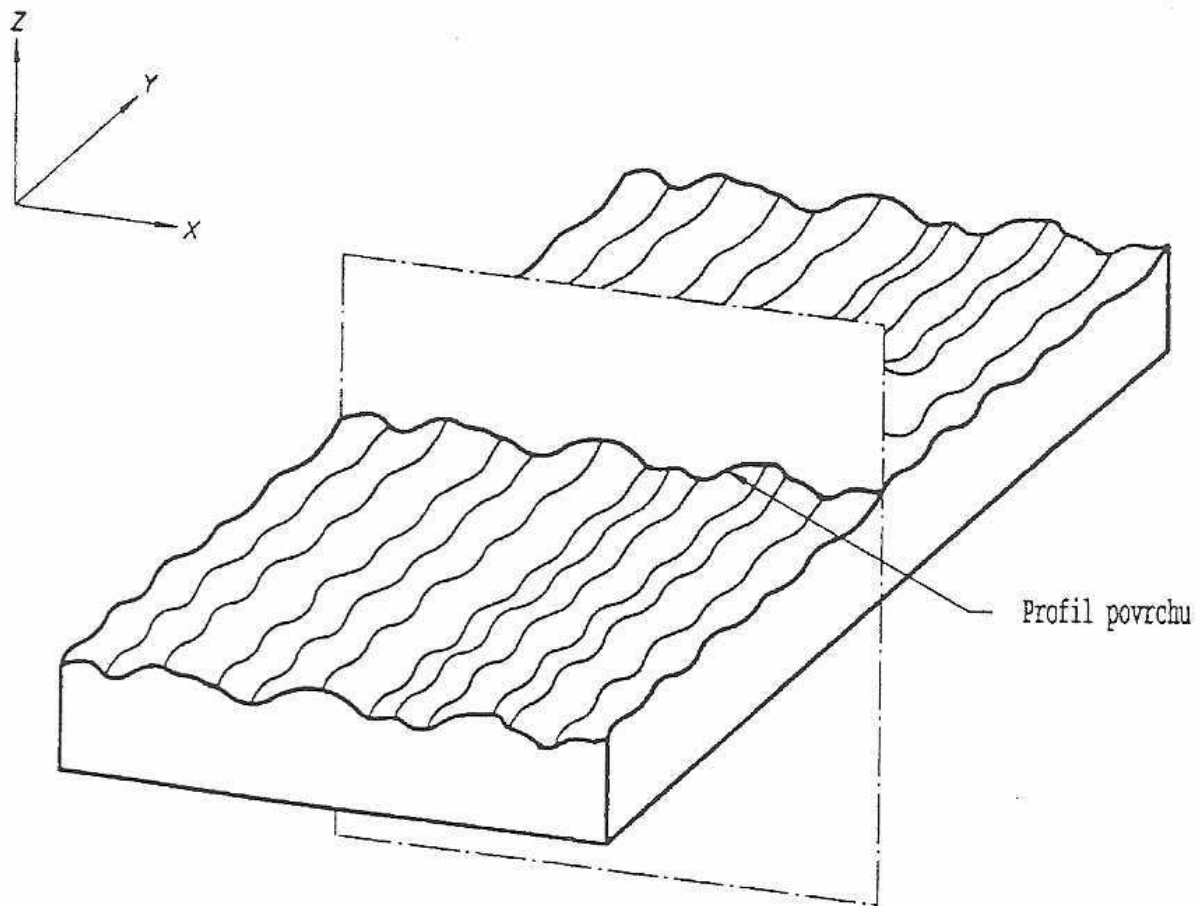
Doporučené hodnoty pro obrábění
 MDF:

Úhel řezu	- 10 - 25
C	- 7 - 20 °
Úběr na nůž	- 0,8 - 1,2 mm

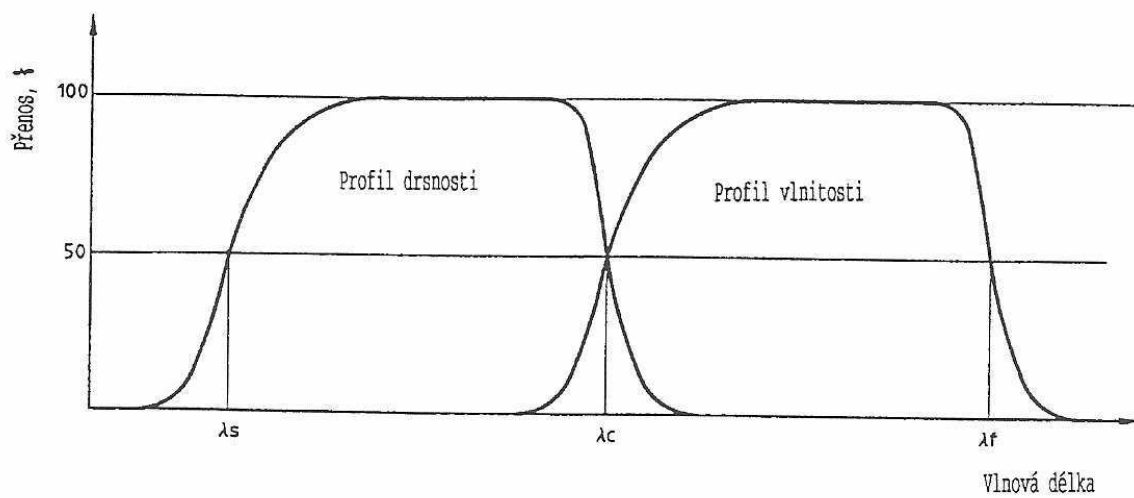
Obr. č. 5: Doporučené hodnoty úhlů při strojním obrábění MDF (Hrázský, Král 2007)



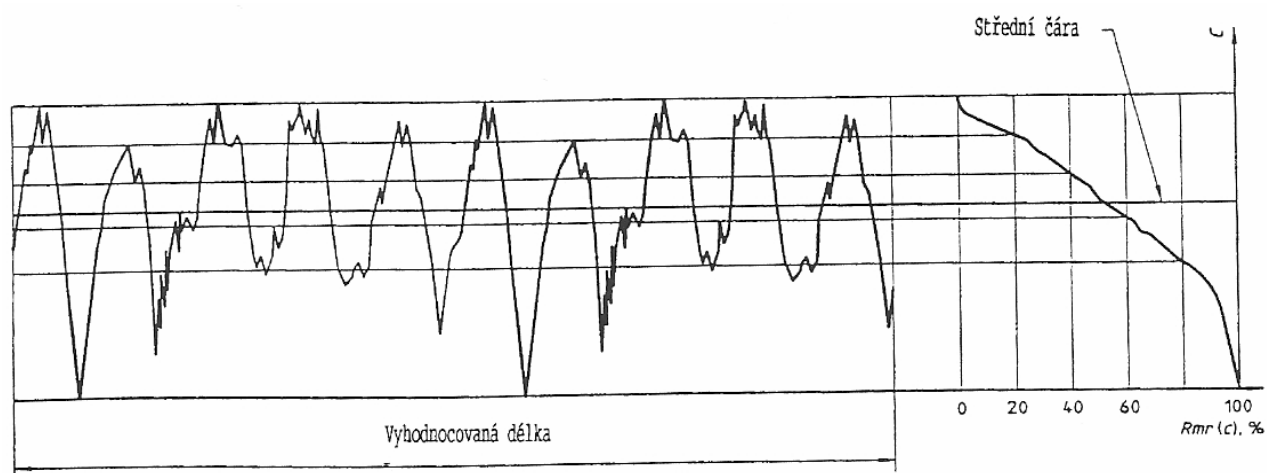
Obr. č. 6: Povrchy dokončené různými metodami



Obr. č. 7: Profil povrchu (Bumbálek a kol. 1989)



Obr. č. 8: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287)



Obr. č. 13: Materiálový poměr profilu stanoví podíl materiálu $R_{mr}(c)$ profilu jako funkci řezné výšky c (Abbott-Firestonova křivka) (ČSN EN ISO 4287)



Obr. č. 14: Stříkací pistole s dolní a horní nádobkou (Alanwake)



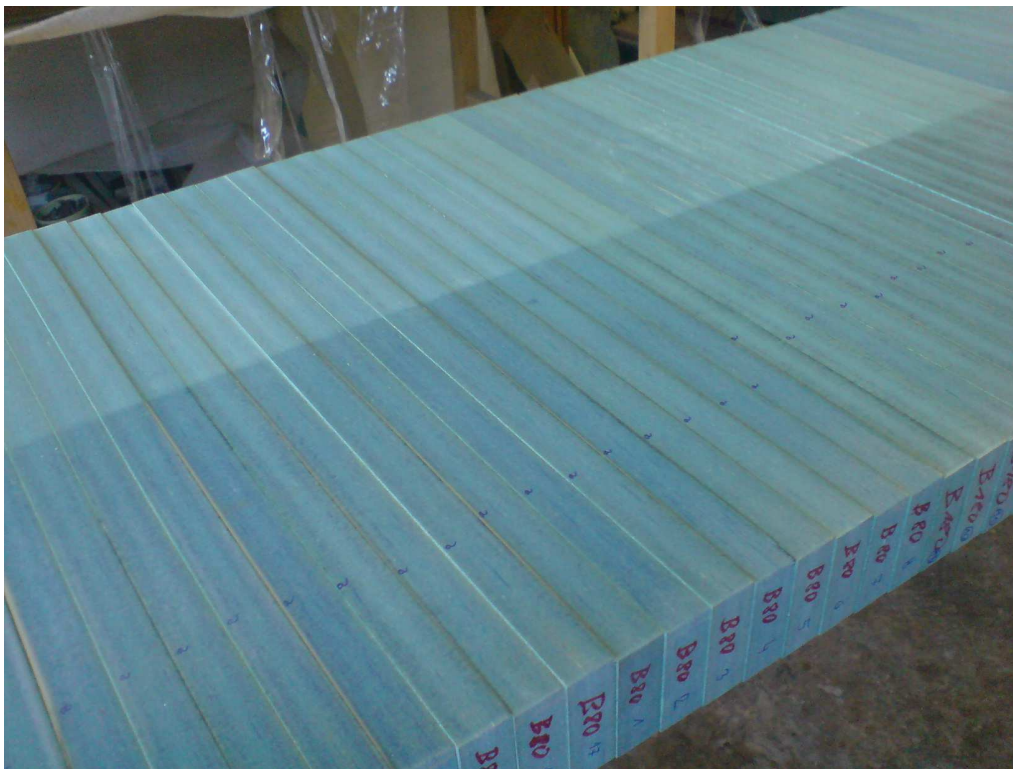
Obr. č. 16: Srovnané vzorky před prvním nánosem



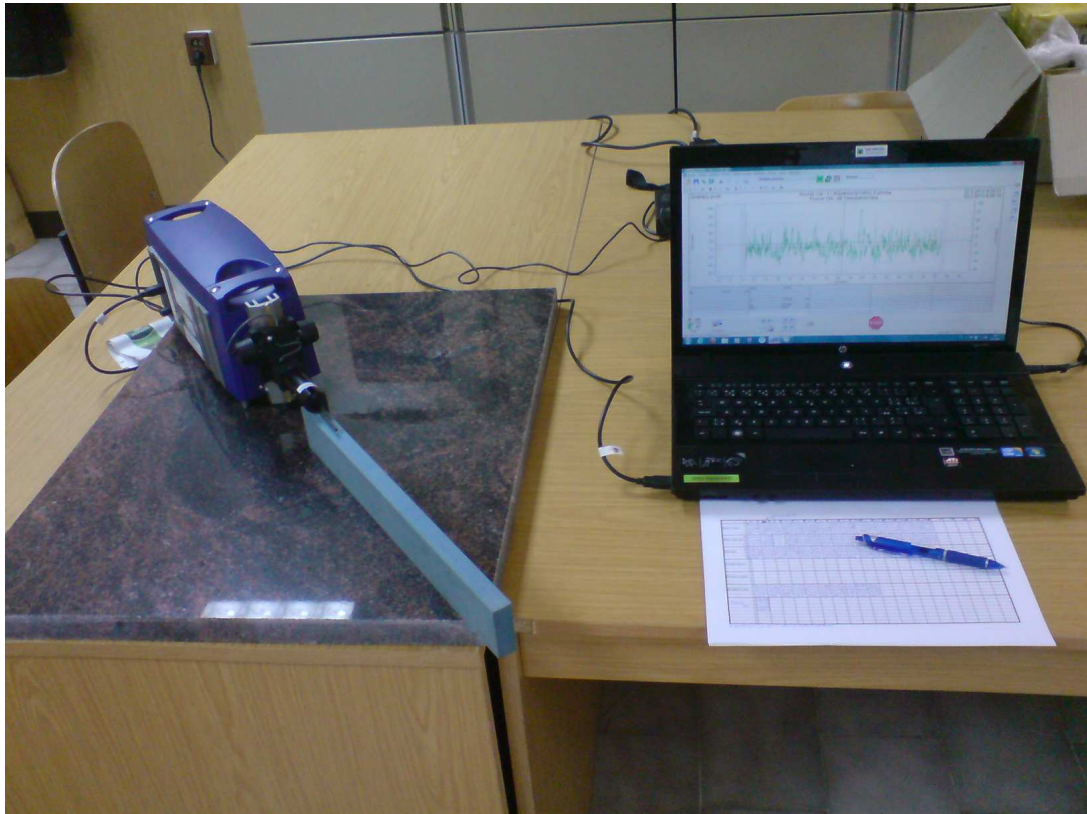
Obr. č. 17: Nanášení první vrstvy nátěrové hmoty



Obr. č. 18: Nanášení druhé vrstvy nátěrové hmoty



Obr. č. 19: Na první pohled patrné rozdíly mezi první a druhou vrstvou NH



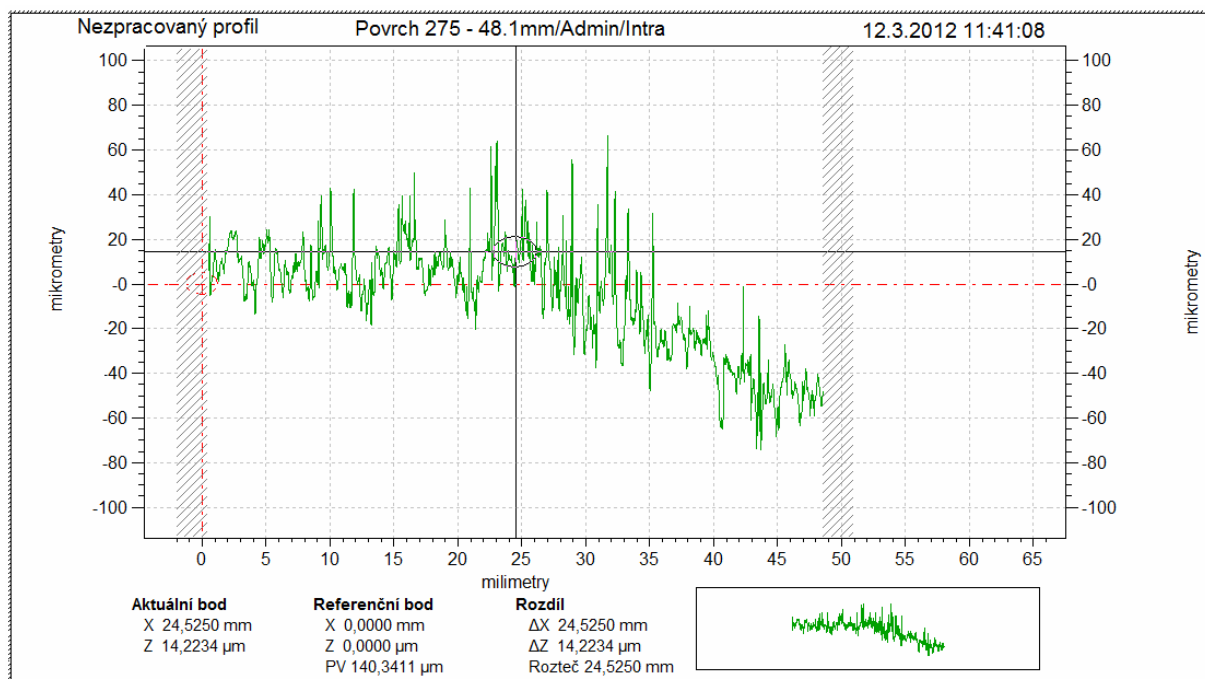
Obr. č. 20: Měřící zařízení, zkušební vzorek, propojení s počítačem



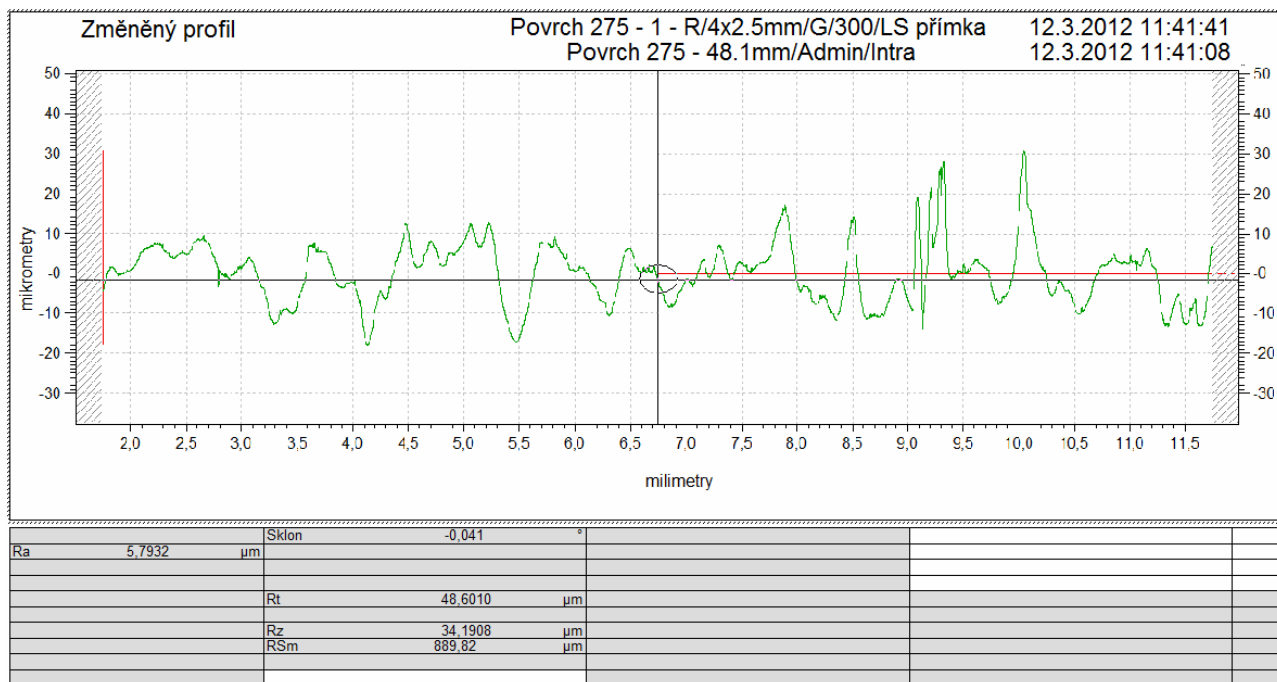
Obr. č. 21: Měřící zařízení, vysunutý snímač s měřícím hrotem



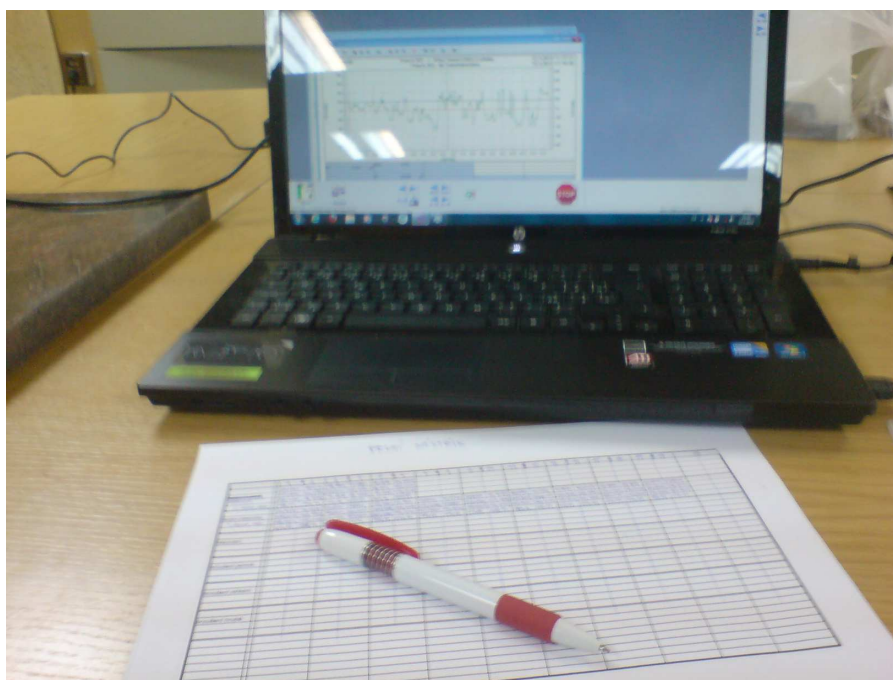
Obr. č. 23: Měřící hrot na zkoušeném materiálu.



Obr. č. 24: Zaznamenané nerovnosti v grafickém provedení na vzorku č.1 frézovaného povrchu s první vrstvou nátěrové hmoty

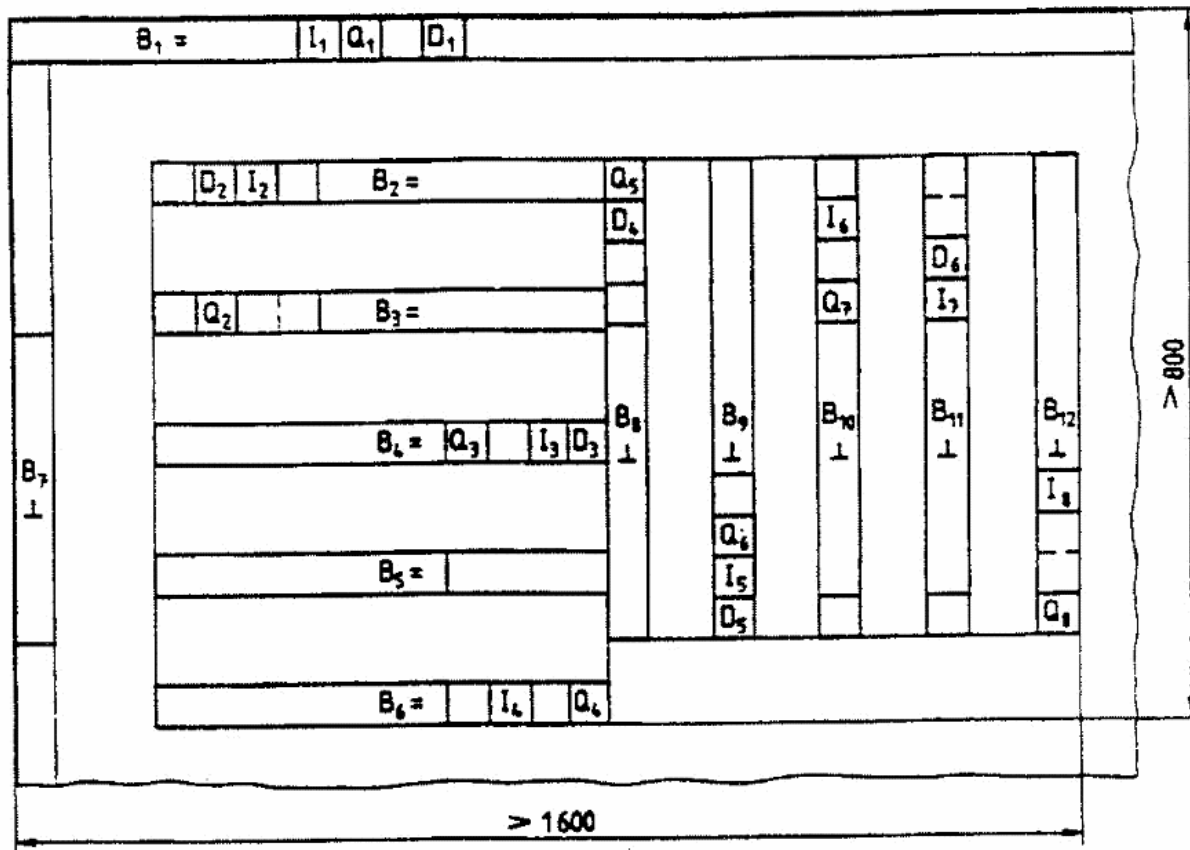


Obr. č. 25: Analýza s výpočtem vybraných ukazatelů a odfiltrování sklonu na stejném vzorku



Obr. č. 26: Zaznamenávání výsledků

Rozměry v mm



Obr. č. 33: Příklad nářezového plánu zkušebních těles (norma ČSN EN 326-1)

B₁ až B₁₂- vzorky pro zkoušku v ohybu, \perp orientace se směrem výroby