

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

**Hodnocení kvality laminace dřevotřískové desky  
z hlediska odštěpování laminátu při obrábění**

*Evaluation of chipping during the laminated particle board  
processing*

Diplomová práce

Autor: Petr Havelka

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Praha 2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Havelka

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Hodnocení kvality laminace dřevotřískové desky z hlediska odštěpování laminátu při obrábění**

Název anglicky

**Evaluation of chipping during the laminated particle boards processing**

---

### Cíle práce

Cílem práce je navrhnout postup pro provozní hodnocení kvality laminování třískové desky prostřednictvím vizuálního porovnání okraje řezu po definovaném způsobu obrábění. Navržený postup pro hodnocení kvality laminování nesmí být ovlivňován způsobem obrábění.

### Metodika

Před započítím experimentální části bude provedena literární rešerše a budou posouzeny parametry mající vliv na odštěpování laminátu na okraji řezu při obrábění. Další etapou řešení bude navrhnout, a na základě provedeného měření ověřit, rychlou a cenově nenáročnou metodu pro hodnocení kvality laminace s dostatečnou spolehlivostí. Zkušebními zařízeními bude CNC obráběcí stroj a pro definovaný nástroj budou navrženy parametry obrábění, zejména pak otáčky, úběr materiálu, rychlost posuvu a velikost obráběného vzorku.

## Doporučený rozsah práce

60-80 stran textu, 5-15 stran příloh

## Klíčová slova

laminovaná dřevotřísková deska, CNC stroj, obrábění

---

## Doporučené zdroje informací

COTÉ W. A., – KOLLMANN FRANZ F. P. *Principles of Wood Science and Technology.I. Solid Wood*. BERLIN: SPRINGER, 1968.

HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

KOLEKTIV. *Wood Handbook: Wood as an engineering material*. Washington: US Dep. of Agriculture, 1974.

KRÁL, P. – MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA.

*Obrábění dřevařských materiálů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. ISBN 978-80-7375-267-5.

PROKEŠ, – STANISLAV. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. Praha: SNTL/Alfa, 1982.

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FLD

## Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Elektronicky schváleno dne 6. 1. 2016

**doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2016

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 25. 02. 2016

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Hodnocení kvality laminace dřevotřískové desky z hlediska odštěpování laminátu při obrábění vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Martina Böhma, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne:

Petr Havelka

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Martinu Böhmovi, PhD., vedoucímu diplomové práce, za cenné rady a pomoc při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Davidu Rollovi z Dřevozpracujícího družstva Lukavec za poskytnutí dřevotřískových desek, Mgr. Martinu Lexovi za pomoc s obsluhou přístrojů a programového vybavení v laboratoři obrazové analýzy a Ing. Jiřímu Procházkovi za zrealizování obráběcího procesu na CNC stroji.

Největší dík samozřejmě patří mé rodině, která mi poskytla vytrvalou podporu a pomoc při dokončení této práce.

## **Abstrakt**

### **Hodnocení kvality laminace dřevotřískové desky z hlediska odštěpování laminátu při obrábění**

Cílem této práce bylo zhodnotit odštěpování laminace různých druhů dřevotřískových desek a navrhnout postup pro hodnocení kvality obrobené hrany. Pro výzkum byly použity 4 různé druhy laminované dřevotřísky o síle 18 mm: dekor dřeva a tři typy bílé. První typ bílé je označován dle struktury povrchu jako miniperla, ostatní dva typy byly pak klasické hladké bílé desky lišící se odstínem. Světlejší je označena jako hladká 1 a tmavší jako hladká 2. Desky dodalo Dřevozpracující družstvo Lukavec. Při obrábění jednotlivých typů desek byly užity různé posuvné rychlosti. Frézovací proces byl prováděn na tříosém obráběcím centru a nástrojem byla žiletková stopková fréza, typ frézování byl zvolen nesousledný. Každý typ materiálu byl podroben obrábění ve stanovené délce za stanovených podmínek obrábění. Následně byla stanovena drsnost obrobené hrany a míra odštípání laminace v závislosti na obrobené délce. Navíc byla stanovena hustota, vlhkost a přídržnost povrchu jednotlivých typů desek. Vliv obrobené vzdálenosti na kvalitu hrany byl prokázán, avšak u každého typu se více či méně lišil. Obecně platí, že při zvýšené posuvné rychlosti dochází k vyšší delaminaci, ale současně je patrný vliv typu materiálu.

**Klíčová slova:** laminovaná dřevotřísková deska, CNC stroj, obrábění, slinutý karbid

## **Abstract**

This research assesses lamination splitting of various particleboards and suggests quality evaluation process of machined edge. For research purpose sample of 4 laminated chipboards of 18 mm thickness was used: wood decor/wood imitation and three types of white. First type of white is due to its surface texture named “Miniperla”, other two types are classic smooth white in diverse shades of white. Lighter shade of white is described as “Smooth 1” while darker shade as “Smooth 2”. Boards were provided by Wood Processing Company Lukavec. During board machining various speeds of feeding were considered. Milling was executed on triple axis CNC machine with replaceable carbide cutter/blade using up-cut milling. Every material type was machined in specified length under specified

conditions. Consequently, the roughness of machined edge was assessed as well as splitting degree depending on the length of machined boarder. Furthermore, density, humidity and surface adhesiveness of individual boards were measured. The influence of machined distance on quality of edge was proven; however, varied across used boards. Generally, if feeding speed is increased degree of delamination also increases, although this relationship varies between materials.

**Key words:** laminated particleboard, CNC machine, machining, cemented carbide

## Obsah

1 Úvod.....	- 16 -
2 Cíl práce .....	- 16 -
3 Literární rešerše.....	- 17 -
3.1 Typy materiálů v dřevařském průmyslu obsahující laminát .....	- 17 -
3.1.1 Kompaktní desky (HPL).....	- 17 -
3.1.2 CPL laminát .....	- 18 -
3.1.3 Laminovaná dřevotřísková deska - „Lamino“ .....	- 20 -
3.2 Základní pojmy a prvky procesu frézování .....	- 26 -
3.2.1 Frézování .....	- 26 -
3.2.2 Prvky řezného nástroje.....	- 26 -
3.2.3 Řezná rychlost, posuvná rychlost a posuv na zub .....	- 28 -
3.2.4 Typy frézování.....	- 28 -
3.2.5 Sledované parametry při obrábění .....	- 29 -
3.2.6 Kvalita obrobení .....	- 30 -
3.2.7 Otupování nástroje.....	- 31 -
3.3 Nástroje pro dělení materiálů na bázi dřeva .....	- 31 -
3.3.1 Slinuté karbidy .....	- 33 -
3.4 CNC obráběcí stroj .....	- 37 -
3.5 Drsnost povrchu.....	- 38 -
3.5.1 Ukazatele drsnosti.....	- 38 -
3.5.2 Faktory ovlivňující drsnost povrchu .....	- 41 -
4 Metodika .....	- 42 -
4.1 Laminované desky – metody zkoušení.....	- 42 -
4.2 Frézování dřevotřískových desek .....	- 43 -
4.2.1 Materiál .....	- 43 -



4.2.2	Použité stroje a nástroje .....	- 44 -
4.2.3	Postup obrábění.....	- 44 -
4.3	Měření drsnosti .....	- 48 -
4.3.1	Zkoumaná tělesa .....	- 48 -
4.3.2	Použité přístroje a pomůcky .....	- 48 -
4.3.3	Postup měření .....	- 49 -
4.4	Měření hustoty desek.....	- 50 -
4.4.1	Zkoumaná tělesa .....	- 50 -
4.4.2	Použité stroje a přístroje .....	- 50 -
4.4.3	Postup měření .....	- 50 -
4.5	Měření vlhkosti materiálu.....	- 51 -
4.5.1	Zkoumaná tělesa .....	- 51 -
4.5.2	Použité přístroje .....	- 51 -
4.5.3	Postup měření .....	- 51 -
4.6	Měření přídržnosti povrchu .....	- 51 -
4.6.1	Zkoumaná tělesa .....	- 51 -
4.6.2	Použité přístroje a pomůcky .....	- 52 -
4.6.3	Postup měření .....	- 52 -
4.7	Měření odštěpování laminace.....	- 53 -
4.7.1	Zkoumaná tělesa .....	- 53 -
4.7.2	Použité přístroje a pomůcky .....	- 53 -
4.7.3	Postup měření .....	- 54 -
5	Výsledky .....	- 57 -
5.1.1	Analýza rozptylu (ANOVA).....	- 57 -
5.1.2	Hustota.....	- 58 -
5.1.3	Vlhkost.....	- 58 -

5.1.4	Přídržnost povrchu .....	- 58 -
5.2	Zpracování výsledků.....	- 59 -
5.2.1	Vyjádření drsnosti.....	- 59 -
5.2.2	Hustota .....	- 68 -
5.2.3	Vlhkost.....	- 69 -
5.2.4	Přídržnost povrchu .....	- 71 -
5.2.5	Odštěpování laminace.....	- 72 -
6	Diskuze.....	- 88 -
6.1	Odštěpování laminátu .....	- 88 -
6.2	Drsnost obrobené hrany .....	- 89 -
6.3	Vlhkost desek .....	- 90 -
6.4	Hustota.....	- 90 -
6.5	Přídržnost povrchu.....	- 90 -
7	Závěr .....	- 92 -
8	Seznam literatury .....	- 94 -
9	Přílohy .....	- 99 -

## Seznam tabulek

Tab. 1 Značení nástrojových materiálů podle normy ČSN ISO 513 (Humár, 2008) .....	- 34 -
Tab. 2 Opotřebenění ostří ve vztahu k obrobené dráze (Školník, 1987) .....	- 36 -
Tab. 3 Stanovené metry a posuvné rychlosti pro dané typy laminované dřevotřísky ....	- 46 -
Tab. 4 Parametry nástroje .....	- 46 -
Tab. 5 Řezné podmínky nástroje .....	- 46 -
Tab. 6 Určení měřících parametrů pro frézování (www.hommel-etamic.cz).....	- 49 -
Tab. 7 Počet odfrézovaných metrů a počet hodnocených metrů .....	- 57 -
Tab. 8 Výsledky měření drsnosti dle par. Ra a posuvné rychlosti $v_f = 6,5$ m/min.....	- 59 -
Tab. 9 Výsledky měření drsnosti dle par. Ra a posuvné rychlosti $v_f = 7,7$ m/min.....	- 60 -
Tab. 10 Výsledky měření drsnosti dle par. Ra a posuvné rychlosti $v_f = 5,2$ m/min.....	- 61 -
Tab. 11 Výsledky měření hustoty a popisné statistické ukazatele.....	- 68 -
Tab. 12 Výsledky měření vlhkosti a popisné statistické ukazatele.....	- 70 -
Tab. 13 Výsledky měření odtrhové pevnosti a popisné statistické ukazatele.....	- 71 -
Tab. 14 Plocha odštěpků v závislosti na materiálu a obrobené vzdálenosti .....	- 72 -
Tab. 15 Celková plocha odštěpení na hodnoceném úseku po 800 metrech obrobení ....	- 73 -
Tab. 16 Hodnoty odštěpování laminace pro posuvnou rychlost $v_f = 5,2$ m/min.....	- 79 -
Tab. 17 Hodnoty odštěpování laminace pro posuvnou rychlost $v_f = 6,5$ m/min.....	- 80 -
Tab. 18 Hodnoty odštěpování laminace pro posuvnou rychlost $v_f = 7,7$ m/min.....	- 81 -

## Seznam obrázků

Obr. 1 Složení HPL desky (www.sortim.cz) .....	- 18 -
Obr. 2 Struktura zkoumaných CPL laminátů dle Nemli a kol. (2005) .....	- 20 -
Obr. 3 Mikroskopický snímek laminátového povrchu (Böhm a kol., 2012) .....	- 25 -
Obr. 4 Základní úhly ostří (www.jhamernik.sweb.cz) .....	- 26 -
Obr. 5 Sousledné frézování (www.taegutec.cz) .....	- 28 -
Obr. 6 Nesousledné frézování (www.taegutec.cz) .....	- 29 -
Obr. 7 Parametr Ra (www.sps-vitkovice.cz) .....	- 39 -
Obr. 8 Parametr Rz (www.otik.uk.zcu.cz).....	- 40 -
Obr. 9 Parametr Rt (www.otik.uk.zcu.cz) .....	- 40 -
Obr. 10 Parametr RSm (www.otik.uk.zcu.cz) .....	- 40 -

Obr. 11 Použité desky: zleva dekor dřeva, miniperla, hladká 2 a hladká 2.....	- 43 -
Obr. 12 Drážkovací žiletková fréza Leitz.....	- 44 -
Obr. 13 Stanovení posuvné rychlosti, dle tloušťky materiálu .....	- 45 -
Obr. 14 CNC obráběcí centrum Homag .....	- 47 -
Obr. 15 Vzorčky po odfrézování stanovených vzdáleností.....	- 48 -
Obr. 16 Úseky měření drsnosti .....	- 49 -
Obr. 17 Měření drsnosti detail .....	- 50 -
Obr. 18 Sušící laboratorní komora Binder.....	- 51 -
Obr. 19 vlevo - Příklad na měření odtrhové pevnosti COMTEST OP 1 P 20.....	- 52 -
Obr. 20 Zkušební tělesa pro odtrhovou zkoušku .....	- 52 -
Obr. 21 Speciální čistící přípravek (před použitím) .....	- 52 -
Obr. 22 Sestava pro focení a hodnocení zkušebních těles .....	- 54 -
Obr. 23 Osvětlení zkoumaného povrchu .....	- 54 -
Obr. 24 Oříznutý měřený úsek 10 cm, dekor dřeva.....	- 55 -
Obr. 25 Ukázka zaměření jednotlivých vad v programu NIS Elements.....	- 56 -

## Seznam grafů

Graf 1 Průběh teploty jednotlivých fází přeměny pryskyřice při laminaci krátkotaktovým způsobem (Deppe, 1988).....	- 24 -
Graf 2 Vývoj lisovacích časů při klasické laminaci s chlazením v lise (Deppe, 1988).....	- 24 -
Graf 3 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky (Humár, 2008) .....	- 33 -
Graf 4 Historický vývoj řezných rychlostí (Humár, 2008).....	- 33 -
Graf 5 Vývoj parametru Ra u jednotlivých materiálů v závislosti na odfrézované délce a použité posuvné rychlosti .....	- 62 -
Graf 6 Očekávaný vývoj parametru Ra dle lineární regrese pro materiály zkoumané do 800 m.....	- 63 -
Graf 7 Očekávaný vývoj parametru Ra dle lineární regrese pro materiály zkoumané do 1000 m.....	- 64 -
Graf 8 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 1A.....	- 65 -

Graf 9 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 2A.....	- 65 -
Graf 10 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál miniperla .....	- 66 -
Graf 11 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál dekor dřeva .....	- 67 -
Graf 12 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 1B.....	- 67 -
Graf 13 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 2B .....	- 68 -
Graf 14 Výsledky měření hustoty .....	- 69 -
Graf 15 Výsledky měření vlhkosti.....	- 70 -
Graf 16 Výsledky měření odtrhové síly.....	- 71 -
Graf 17 Analýza rozptylu odštípané plochy jednotlivých typů desek při posuvné rychlosti 6,5 m/min .....	- 74 -
Graf 18 Analýza rozptylu odštípené plochy hladká 1 při dvou posuvných rychlostech.....	- 75 -
Graf 19 Analýza rozptylu odštěpené plochy hladká 2 při dvou posuvných rychlostech.....	- 75 -
Graf 20 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce .....	- 76 -
Graf 21 Regresní přímky pro vývoj odštěpené plochy jednotlivých typů materiálů a dané posuvné rychlosti.....	- 78 -
Graf 22 Regresní přímky pro vývoj odštěpené plochy typů materiálů obrobených do 1000 metrů .....	- 79 -
Graf 23 Druhy odštěpků v závislosti na obrobené délce pro dekor dřeva.....	- 82 -
Graf 24 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro miniperlu .....	- 83 -
Graf 25 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro hladká 1A.....	- 84 -
Graf 26 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro hladká 2A.....	- 85 -
Graf 27 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro hladká 1B.....	- 86 -
Graf 28 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro hladká 2B.....	- 87 -

## Seznam příloh

Příloha 1 Výzkum týkající se vlivu povrchu na vlastnosti dřevotřískové desky (Nemli a kol., 2005).....	- 99 -
Příloha 2 Výsledky měření ústupu ostří jednotlivých druhů povlaků ve srovnání s klasickým nepovlakovaným SK (Sheikh-Ahmad a Morita, 2001).....	- 101 -
Příloha 3 Vlastnosti nástrojových materiálů (Humár, 2008) .....	- 102 -
Příloha 4 Závislost tvrdosti nástrojových materiálů na teplotě (Humár, 2008).....	- 103 -
Příloha 5 Vývoj opotřebení ostří TiC/ a-C a kov/ta-C povlakovaných nástrojů v závislosti na tloušťce naneseného povlaku (Endler a kol., 1999).....	- 103 -
Příloha 6 Opotřebení ostří diamantových povlakovaných nástrojů v závislosti na použitém nosném substrátu, tloušťce vrstvy d a teploty substrátu Ts (Endler a kol., 1999).....	- 104 -
Příloha 7 Technický list drážkovací žiletkové frézy Leitz 40850 ( <a href="http://www.leitz.cz">www.leitz.cz</a> ).....	- 105 -
Příloha 8 Měření drsnosti.....	- 106 -
Příloha 9 Posuvné digitální měřítko Mytutoyo.....	- 106 -
Příloha 10 Digitální váha Imal Pal BL 100 LCD.....	- 107 -
Příloha 11 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rz a posuvné rychlosti $v_f = 6,5$ m/min .....	- 107 -
Příloha 12 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rz a posuvné rychlosti $v_f = 7,7$ m/min .....	- 108 -
Příloha 13 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rz a posuvné rychlosti $v_f = 5,2$ m/min .....	- 109 -
Příloha 14 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rt a posuvné rychlosti $v_f = 6,5$ m/min .....	- 109 -
Příloha 15 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rt a posuvné rychlosti $v_f = 7,7$ m/min .....	- 110 -
Příloha 16 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rt a posuvné rychlosti $v_f = 5,2$ m/min .....	- 111 -
Příloha 17 Výsledky měření drsnosti dle parametru RSm a posuvné rychlosti $v_f = 6,5$ m/min .....	- 111 -
Příloha 18 Výsledky měření drsnosti dle parametru RSm a posuvné rychlosti $v_f = 7,7$ m/min .....	- 112 -

### Seznam použitých zkratk a symbolů

PVD	otěruvzdorný povlak fyzikálně nanášený
CVD	otěruvzdorný povlak chemicky nanášený
MTCVD	otěruvzdorný povlak chemicky nanášený za středních teplot
DTD	dřevotřísková deska
SK	slinutý karbid
HPL	vysokotlaký laminát
CPL	kontinuálně lisovaný laminát
PKD	polykrystalický diamant
KNB	kubický nitrid boru
DPI	počet bodů na 1 palec
DDL	Dřevozpracující družstvo Lukavec

## 1 Úvod

Téma této diplomové práce je v současné době velice aktuální, zejména kvůli stále narůstající produkci nábytku vyráběného z laminovaných dřevotřískových desek. Tento materiál postupně začíná čím dál tím více nahrazovat klasickou dýhu, a to zejména kvůli nenáročné výrobě a aplikaci na povrch desky. Navíc je tento materiál daleko odolnější proti poškrábání a snadněji se udržuje. Dnešní laminační technologie dokáží vyrobit imitaci povrchu dřeva, který je skoro nerozeznatelný od skutečného dřeva a je k dostání za výrazně nižší cenu, než podýhovaný materiál.

Laminovaná dřevotříska je tedy nejčastěji používaným nábytkovým dílcem, a tak se jejími vlastnostmi výrobci prioritně zabývají. Jedním z nejvíce sledovaných parametrů je určitě kvalita opracování dřevotřískové desky a následné zhodnocení kvality obrobené plochy. Z tohoto důvodu byla naše instituce oslovena DDL, aby navrhla způsob hodnocení kvality laminace po obrobení CNC strojem.

Pro výzkum a stanovení jednotlivých hodnot byly použity 4 typy laminové dřevotřískové desky dodané DDL. Dodané materiály byly označeny následovně: dekor dřeva, miniperla, hladká 1 a hladká 2.

Práce je rozdělena do třech větších celků, první je literární rešerše zabývající se faktory mající vliv na kvalitu obrobení dílce, druhým je pak část metodika, která podrobně popisuje navržený způsob hodnocení a provedené zkoušky. V posledním celku jsou interpretovány výsledky měření a diskuze.

## 2 Cíl práce

Cílem práce bylo navrhnout postup pro provozní hodnocení kvality laminování třískové desky prostřednictvím vizuálního porovnání okraje řezu po definovaném způsobu obrábění. Navržený postup pro hodnocení kvality laminování nesmí být ovlivňován způsobem obrábění.

Dále byly stanoveny dílčí cíle:

- Zjistit vývoj drsnosti obrobené hrany v závislosti na obrobené délce
- Změřit hodnoty přídržnosti laminace a porovnat je mezi sebou



- Stanovit hustotu a vlhkost pro každý typ desky a určit míru odlišnosti, která by mohla mít eventuální vliv na odštěpování laminátu
- Vyhodnotit odštěpování laminace pro každý typ desky

### 3 Literární rešerše

Začátek rešerše má za úkol popsat nejznámější materiály na bázi dřeva, obsahující laminát a ujasnit tak rozdíly mezi jednotlivými druhy. Zároveň jsou u každého materiálu popsány jeho výhody a nevýhody. První část je věnována kompaktním deskám z vysokotlakého laminátu (HPL), dále je popsán kontinuálně lisovaný laminát (CPL), laminovaná dřevotřísková deska označovaná hovorově „lamino“ a dnes již nevyrábějící se původně český produkt s názvem Umakart. Jelikož je tato práce věnována hodnocení odštěpování laminátu u dřevotřískové laminované desky, je u ní oproti ostatním materiálům ještě popsána výroba laminační vrstvy. Dále je dohledána problematika vztahující se ke kvalitě obrábění a životnosti nástroje. Jsou zde i vysvětleny základní nástrojové úhly, a jejich vliv na obrábění. Další část je věnována nástrojovým materiálům, které se používají pro obrábění aglomerovaných materiálů. V závěru rešerše je stručně popsáno CNC obrábění a parametry drsnosti, které byly užity pro experiment vyhodnocení závislosti drsnosti obrobené plochy na odfrézované vzdálenosti.

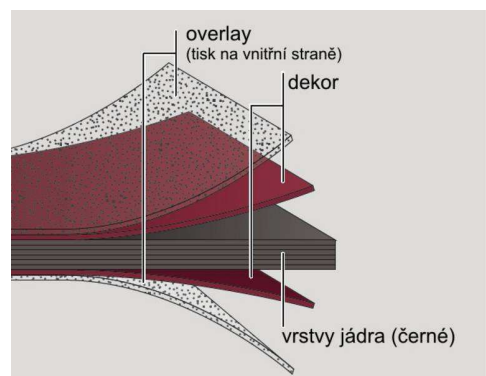
#### 3.1 Typy materiálů v dřevařském průmyslu obsahující laminát

##### 3.1.1 Kompaktní desky (HPL)

Kompaktní desky často označované jako HPL (high pressure laminate) je typ aglomerovaného materiálu vyráběný z vysokotlakého laminátu (Böhm a kol., 2012). Tyto desky jsou nejčastěji tvořeny z několika tenkých naimpregnovaných celulosových folií, které jsou za účinku vysokého tlaku a teploty slisovány dohromady a vytváří tak vysoce síťovaný termoset. Nosný materiál vysokotlakých laminátových desek nemusí být jen z celulosové folie, ale například i z jádrového či kraftového papíru, nebo i z plátna, syntetických vláken či vláken skelných. V minulosti byl na nosný materiál používán i azbest, který se však kvůli zdravotní závadnosti již nepoužívá (Young, 1969).

Pro jádro panelu se používají nejčastěji fenolické pryskyřice a pro dekorační vrstvu pryskyřice melaminové (EGGER1, 2015). Tyto desky jsou vyráběny zejména v etážových lisech za vysoké teploty (130-150°C) a tlaku okolo 7 GPa (Böhm a kol., 2012). Výsledkem lisování je pak homogenní neporézní materiál s vynikajícími fyzikálně mechanickými vlastnostmi, dlouhou životností a odolností proti chemikáliím (Kronospan 1, 2010).

Jednotliví výrobci se v použitém nosném materiálu různí. EGGER deklamuje namísto celulosové folie kraftový papír (EGGER1, 2015) a JAF HOLZ papír jádrový. Svrchní vrstva dekoračních HPL desek bývá označována termínem „overaly“ a má za úkol chránit dekorační papír. Navíc může být tato vrstva i modifikována do určitého typu vzoru, např. dřevní textury. Pod overaly vrstvou je dekorační papír, určující barevný vzhled desky. Pod těmito



**Obr. 1 Složení HPL desky**  
([www.sortim.cz](http://www.sortim.cz))

vrstvami se nachází jádro desky. Jádro desky bývá zbarveno do hněda či černa, kvůli použité fenolformaldehydové pryskyřici. Konstrukce jednotlivých kompaktních desek se různí v závislosti na konečném použití. Desky mohou být s jednostranným nebo oboustranným dekorem (Fundermax 1, 2015).

Tento materiál se vyrábí nejčastěji v tloušťkách od 6 -15 mm a díky své vysoké ořezuvzdornosti a uzavřenému povrchu se nejčastěji používá pro větrané fasády a veřejná místa, kde je požadována vysoká trvanlivost povrchu a odolnost proti povětrnostním vlivům (Fundermax 2, 2015). Nevýhodou tohoto materiálu může být vysoká cena a velká objemová hmotnost okolo až 1500 kg/m<sup>3</sup> (Böhm a kol., 2012).

### 3.1.2 CPL laminát

Tento typ materiálu, jak už sám název napovídá (continuous pressure laminate), je vyráběn kontinuálním válcováním předeřtých papírů nasáknutých ve speciálních pryskyřicích, které při zvýšené teplotě vytvrzují a vytváří tak uzavřený povrch (Německý, 2016). Tyto materiály mají stejné složení jako klasický vysokotlaký laminát (krycí vrstva, dekorační vrstva, nosná vrstva), avšak oproti kompaktním deskám je tento typ materiálu

daleko tenčí a využívá se jako vrchní vrstva desek s neatraktivním vzhledem a vysokým požadavkem na oteřuvzdornost.

Nemli a kol. (2005) ve svém článku uvádějí, že opatřením DTD desky CPL laminátem dochází všeobecně ke zvýšení všech mechanických vlastností, mimo rozlupčivost a navíc ještě tato povrchová úprava snižuje bobtnání a zvyšuje tak celkově trvanlivost desky.

CPL lamináty nepodléhají žádným normám jako například kompaktní desky. Výrobci se proto snaží tento produkt přiřazovat k normám EN 438 platící pro HPL desky a předstírat tak vyšší kvalitu materiálu než ve skutečnosti je (Německý, 2016).

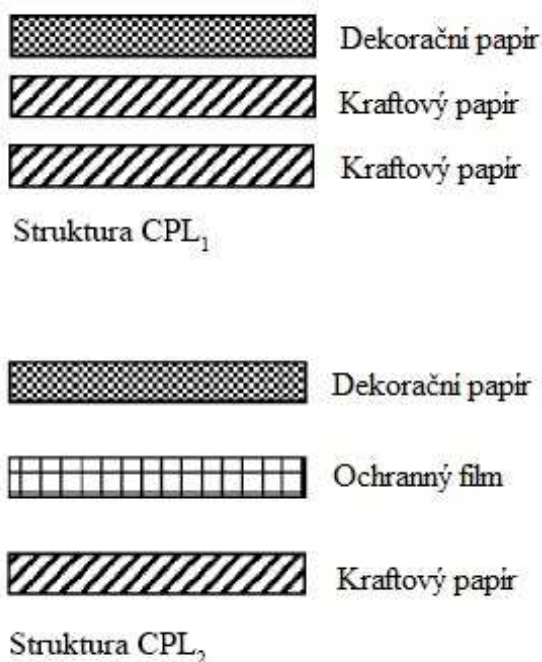
Tento materiál je často nazýván jako dekorační laminát či střednětlaký laminát, sám o sobě však nevykazuje díky své malé tloušťce mechanické vlastnosti jako HPL, a tak je vždy používán jako krycí či dekorační vrstva pro ostatní typy desek (Prům, 2013).

Oproti HPL deskám jsou cenově dostupnější a při dnešních technologiích takřka nerozeznatelné od dýhy. Vlastnosti povrchu těchto laminátů jsou v zásadě stejné, jako je tomu u kompaktních desek.

Stejně tak jako jiné laminátové povrchy mají CPL desky uzavřený povrch nevyžadující žádnou údržbu, navíc se tento materiál velice dobře čistí a lze ho tak udržovat hygienicky čistý (Anonym, 1963). Tento zdroj dále uvádí, že dekorační lamináty vyřešily spoustu konstrukčních oříšků jako například krytí hran. Díky technologii „post forming“ lze tyto materiály použít i na zaoblené boční plochy dílců a uzavřít tak celou exponovanou plochu dílce jedním kusem. Dekorační lamináty díky použité melaminové pryskyřici disponují vysokou odolností proti poškrábání, nepodléhají korozi ani kroucení. Mají vysokou tvarovou stálost, nepodporují hoření, jsou žáruvzdorné a odolají obvykle dostupným kyselinám.

Nemli a kol. (2005) ještě dodávají, že CPL laminát je aplikován na povrchy desek jednak kvůli snížení absorpce vody, zvýšení mechanických vlastností, ale i kvůli eliminování úniku nebezpečných plynů, jako je např. formaldehyd. CPL laminát je jedním z nejpoužívanějších typů povrchové úpravy pro dřevotřískové desky, neboť jejich dostatečně hladký povrch a uniformní hustota vychází vstříc požadavkům pro aplikaci CPL laminátů. Výhodou těchto materiálů oproti laminovaným deskám je vyšší odolnost proti žáru cigaret.

V příloze č. 1 jsou přiloženy tabulky a grafy z výzkumu Nemli a kol. (2005), kde je názorně ukázán vliv povrchu na vlastnosti desek. Zkoumanými povrchy jsou melaminové papíry s různým nánosem označené jako M 70 a M 100, klasická dýha a CPL lamináty různé konstrukce označované jako CPL 1 a CPL 2. Struktura CPL laminátů je uvedena na obrázku č.2.



**Obr. 2** Struktura zkoumaných CPL laminátů dle Nemli a kol. (2005)

### 3.1.3 Laminovaná dřevotřísková deska - „Lamino“

Označení „lamino“ je používáno pro dřevotřískové desky s laminovaným povrchem. Štefka (2002) i Böhm (2005) uvádějí, že laminace je vůbec nejrozšířenější povrchová úprava mezi aglomerovanými materiály. Díky tomuto povrchu mají desky vyšší odolnost proti opotřebování v porovnání s jinými druhy povrchové úpravy, vyjma povrchové úpravy dekoračními vrstvenými hmotami, například CPL.

ČSN EN 14322 definuje laminovanou desku (MFB – melamine faced board ), jako desku vyrobenou přímým aplikováním papírů, impregnovaných vytvrzovatelnou aminoplastickou pryskyřicí na jednu nebo obě strany středové desky. Ke slepení s nosnou deskou a vytvrzení dochází v jednom procesu použitím tepla a tlaku bez přídavku lepidla mezi vrstvy. Povrchové vrstvy jsou nejčastěji tvořeny melaminovou pryskyřicí. Povrchy desky mohou být hladké nebo strukturované na jedné nebo obou stranách a vnější povrchy mají dekorativní barvu nebo texturu, či obojí.

Dle Slavíka (1987) lze laminaci dřevotřískové desky podle výchozích surovin zařadit do syntetických druhů povrchové úpravy, která reaguje polykondenzací fenolformaldehydové, močovinoformaldehydové či melaminformaldehydové pryskyřice. Co se týče chemického složení, řadíme fenolformaldehydové pryskyřice do fenoplastů a močovinoformaldehydové pryskyřice do aminoplastů. Dle chování za tepla lze tyto látky označit za látky termosetické.

Počátky této termosetické povrchové úpravy spadají do třicátých let minulého století, povrch je tvořen několika vrstvami papírů napuštěných fenolformaldehydovou pryskyřicí, které utváří nosnou vrstvu materiálu. Povrchová vrstva je tvořena dekoračním papírem napuštěným melaminovou pryskyřicí (Böhm, 2005). K vytvoření laminačního povrchu je zapotřebí prosytit podkladový a dekorační papír vhodnými pryskyřicemi podobně jako u předchozích materiálů. Nosný a plášťový papír musí splňovat určité požadavky (Štefka, 2002).

#### 3.1.3.1 Materiálové požadavky na nosný materiál laminační vrstvy

Impregnované papíry jsou vyráběny z kvalitních sulfitových a sulfátových papírů, které musí splnit určité kvalitativní požadavky. Hlavními sledovanými faktory jsou: rovnoměrnost plošné hmotnosti, savost, krycí schopnost barevného odstínu, pevnost za mokra atd. Dnešní technologie umožňuje vytlačit do povrchu určitý dezén, a tak je již relativně těžké na první pohled poznat, zda se jedná o dřevotřískovou desku potaženou dýhou či laminací (Štefka, 2002).

Štefka dále uvádí, že krycí impregnované papíry („overaly“), slouží k ochraně dekoračního papíru. Tyto papíry jsou vyráběny ze sulfitové celulózy zbavené veškerých nečistot. Nároky na kvalitu podkladových papírů nejsou tak vysoké a vyrábějí se ze sulfátové buničiny. Kvůli trendu snižování hmotnosti jsou tendence snižovat plošnou hmotnost dekoračních a podkladových papírů. Toto snižování je však limitované krycí schopností.

Mezi nejčastěji používané impregnační pryskyřice patří vodní předkondenzáty melaminformaldehydových, močovinoformaldehydových a fenolformaldehydových pryskyřic. Krycí a dekorační vrstvy laminace jsou nejčastěji syceny melaminformaldehydovými pryskyřicemi. Močovinoformaldehydové a fenolformaldehydové pryskyřice se pak používají na impregnaci podkladových papírů. Melaminová pryskyřice je ze všech zmíněných pryskyřic nejdražší, a tak se z důvodu

úspory na krycí a dekorační vrstvy může použít směs melaminové a močoviny pryskyřice. Takto vyrobené desky nemají však tak kvalitní povrch, protože močovina nepříznivě ovlivňuje kvalitu povrchu. Mimo výše zmíněných pryskyřic se ještě používají i nenasyčené polyesterové a dialylftalátové pryskyřice a jejich směsi (Štefka, 2002). Pro laminování stavebních desek může být ještě navíc použita tmavá fenol-formaldehydová nebo resorcin-formaldehydová pryskyřice zvyšující odolnost proti vodě (Böhm, 2005).

Papíry jsou impregnovány ve dvou fázích. Nejprve se papír naimpregnuje ve speciálních zařízeních a v druhé fázi se ještě papír obohacuje pryskyřicí na již impregnovaný povrch. Druhá fáze je častěji prováděna v posledních letech kvůli vyřazení krycího papíru, který se v současné době již téměř nepoužívá, vyjma laminace určené pro náročnější použití se zvýšenou odolností povrchu. Po impregnaci putuje papír do sušících komor, kde dochází k další kondenzaci impregnační pryskyřice. Štefka (2002) uvádí, že nános pryskyřice pro krycí papír může být 240-250%, pro dekorační papír 90-100% a pro podkladový papír okolo 50% sušiny pryskyřice na hmotnost papíru. Předkondenzační proces musí být nastaven tak, aby při lisování byla pryskyřice dostatečně roztavena a vytvořila tak souvislý uzavřený film a zároveň došlo ke správnému přilnutí s nosným materiálem.

Böhm (2005) ve své publikaci uvádí, že po nanesení pryskyřic dochází k vysušení papírových souborů. Poté nejsou termosetické pryskyřice na papíru ještě zcela vytvrzeny, neboť ještě nedochází k prostorovému sesítování. K vytvoření celistvého povrchu dochází až v horkém lisu, kde je papír přilepen k nosnému materiálu a kde se vytvoří konečný povrch se strukturou lisovacího plechu.

Böhm (2005) se shoduje se Štefkou (2002), že nosný materiál musí mít vysokou jakost povrchu. Částice na povrchu desky musí být z jemných částic a u třískových desek dokonce z mikrotřísek. Při nedodržení těchto požadavků na hrubost částic může dojít k překreslování třískové struktury na povrch laminátu a narušení klidného homogenního uzavřeného povrchu. Doporučená vlhkost desek je 6-8%, protože nižší vlhkost může mít za následek snížení adheze laminátu k desce. Při vyšší vlhkosti dochází k nadměrnému stlačení desek a mohou se začít pod povrchem tvořit skvrny, puchýře, či se mohou vyskytnout nedokonalosti uzavření povrchu.

Hustota desek by měla být zvolena tak, aby při relativně dlouhých lisovacích časech nedocházelo k nadměrnému stlačení, přípustné stlačení je do 5%. Ke zmenšení rizika se doporučuje zvýšit nánosy lepidla o 2-4% (Štefka, 2002).

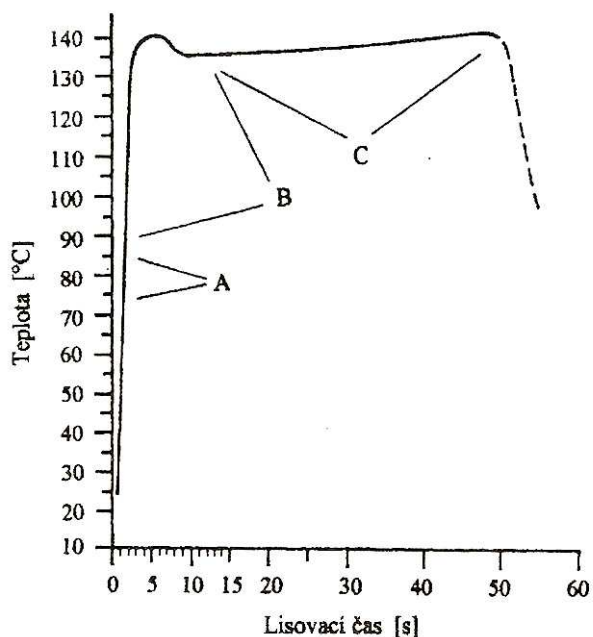
Výběr dřevní suroviny, její zpracování (mletí, lisování, tvarování, broušení) a rozličnost kvality jednotlivých částic ovlivní konečnou kvalitu povrchu desky (Hoag, 1993).

### 3.1.3.2 Laminační postup

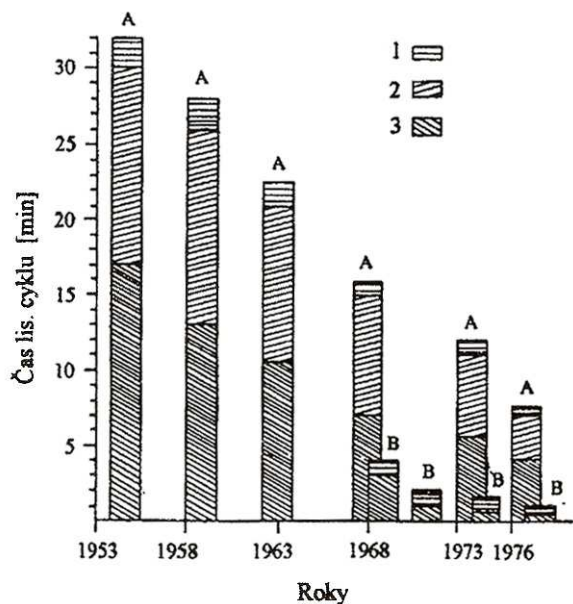
Štefka (2002) uvádí, že laminační proces může probíhat dvěma postupy: jednostupňový a dvojstupňový. Jednostupňový se používá zpravidla pro tvarované výlisky. Pro velkoplošné dílce se používá dvojstupňový postup, kde je nejdříve vyrobena deska a pak vytvořen laminovaný povrch. Technologický proces laminace se rozlišuje na laminaci se zpětným chlazením a na laminaci krátkotaktovým způsobem.

Proces krátkotaktové laminace nemá fázi chlazení, a tak není tolik energeticky náročný. K rozvoji krátkotaktové laminace zejména přispěly speciální vysokoreaktivní pryskyřice a jejich modifikace s vhodnými přísadami. Díky vysokoreaktivní pryskyřici se není třeba obávat rizika tvorby trhlin na laminovaném povrchu. Díky rychlé reakci pryskyřice dojde k rychlému vytvoření neporušeného a uzavřeného povrchu. Vysokoreaktivní pryskyřice mají krátké vytvrzovací časy, a tak je nutné dodržovat navržené postupy. Nejdůležitější je dodržení času působení tepla z plat lisů na laminační folie bez tlaku, o rychlé uzavření lisu a stanoveného měrného tlaku v lise. Klade se také důraz na čas od dotyku laminačních papírů s rozžhavenými platy lisu až po dosažení potřebného měrného tlaku, který nesmí překročit stanovený čas o 15-20%. Při překročení tohoto času může docházet k předčasnému vytvrnutí pryskyřice a vytvoření tak porézního a neuzavřeného, a tudíž nekvalitního povrchu. Tímto způsobem lze dosáhnout pouze matného a polomatného povrchu, a nemohou se takto vyrábět desky s odolnějšími povrchy proti opotřebování. Oproti způsobu se zpětným chlazením má tento způsob následující klady: nutnost pouze 15% energie oproti procesu s chlazením, není potřeba chladicí voda a kratší lisovací časy do 50 s. Dnes je běžný lisovací čas okolo 15-20 s a celý lisovací proces trvá cca 30 s, tento postup pracuje s vyššími teplotami lisování, ale kratšími časy. Tato metoda nevyžaduje zvýšenou hustotu desek a vyšší nános lepidel, neboť prakticky nedochází ke slisování desek. Provozní náklady tohoto typu laminace mají nižší investiční

náklady, a tak se technologický proces se zpětným chlazením již skoro neuvádá (Štefka, 2002).



**Graf 1** Průběh teploty jednotlivých fází přeměny pryskyřice při laminaci krátkotaktovým způsobem A - zahřívání pryskyřice, B - tečení pryskyřice, C - kondenzace živice (Deppe, 1988)

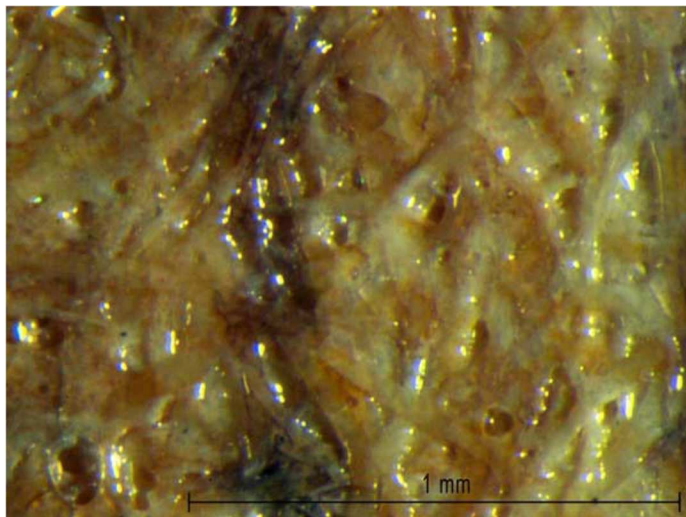


**Graf 2** Vývoj lisovacích časů při klasické laminaci s chlazením v lise (A) a laminace krátkotaktovým způsobem (B), 1 - plnění a vyprazdňování lisu, 2 - chlazení, 3 - vyhřívání (Deppe, 1988)



Böhm a kol. (2012) uvádí, že struktura laminační vrstvy se odvíjí podle povrchu použitého lisovací plechu (lesk, mat, póry...). Vytvořený povrch je velmi odolný proti mechanickým vlivům, vlhkosti, slabým kyselinám zvýšené teplotě a je světlostálý.

Dále autoři popisují, že laminace navíc oproti plastovým foliím částečně umožňuje pronikání vlhkosti a únik formaldehydu. Obrázek č. 3 zobrazuje mikroskopický snímek laminátového povrchu, světlá místa představují miniaturní otvory na první pohled v celistvě vypadajícím povrchu.



*Obr. 3 Mikroskopický snímek laminátového povrchu (Böhm a kol., 2012)*

### 3.1.3.3 Delaminace dřevotřískové desky

Laminace spadá dle Prokeše (1982) do skupiny tvrditelných hmot. Pevnost v tlaku tvrzeného papíru (laminace) uvádí v rozmezí 300 až 320 Mpa. Slavík (1987) uvádí, že obrábění laminační vrstvy může být srovnatelné s odporem při obrábění kovů. Hodnoty řezného odporu se pohybují od 1000-2000 MPa, pro představu ve srovnání s řezným odporem dřeva 30-200 MPa. Navíc při obrábění vzniká drobná prachová tříška obsahující části výztuže, a při neefektivním „odsávání“ dochází k usedání prachu na všech okolních plochách a výrazně se pak zrychluje nástrojové opotřebení.

Laminované dřevotřískové desky patří podle Endlera a kol. (1999) mezi nejvíce abrazivní materiály v dřevařském průmyslu. Tudíž je pro obrábění těchto desek nutno použít nástroje s vysokým výkonem.

Davim a kol. (2008) ve svém článku tvrdí, že rozdílná kvalita použité suroviny pro výrobu desek hraje určitou roli i v kvalitě obráběného povrchu. Podle tohoto výzkumu k odštipování laminátu dochází zejména při špatných řezných podmínkách, kdy nástroj nemůže obrobit materiál, a tak namísto čistého řezu vznikne odštěpek. Dále také autoři uvádějí, že charakter obrábění je nejvíce ovlivněn hustotou obráběného materiálu. S ostatními autory se pak shodují, že stupeň delaminace je velice ovlivněn řeznou a posuvnou rychlostí. Výsledky jejich výzkumu ukázaly, že vysoké řezné rychlosti při

obrábění většího úběru materiálu souvisí s nižší delaminací. Potvrzují, že i nižší řezné rychlosti a vyšší podávací rychlost mají negativní vliv na obroběný povrch a zvyšují delaminaci. Navíc uvádějí, že posuvná rychlost nemá takový vliv, pokud je nástroj veden do materiálu při vysokých otáčkách. Dodávají, že díky vysokým otáčkám dochází ke snížení řezných i střížných sil, které se snižující rychlostí nástroje narůstají, a dochází tak ke zvýšení delaminace desky.

Sofuoglu a Kacal (2013) deklamují, že zvýšením otáček nástroje dojde také k zvýšení opotřebení nástroje. Toto však platí zejména pro povlakované nástroje a nástroje z rychlořezné oceli.

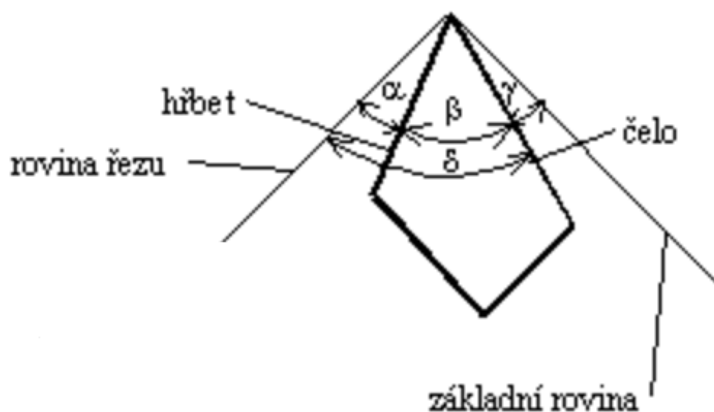
### 3.2 Základní pojmy a prvky procesu frézování

#### 3.2.1 Frézování

Je to proces, při kterém rotující nástroj různého tvaru opracovává povrch dílce na požadovaný tvar, jakost či obojí. Nástrojem při frézování může být nožová hlava s vloženými noži (rovnými, spirálovými), frézovací kotouč, pilový kotouč malého průměru anebo stopková fréza (Lisičan, 1988).

#### 3.2.2 Prvky řezného nástroje

Tříska vzniká působením částí řezného nástroje, které jsou s materiálem v bezprostředním styku. Nástrojové úhly jsou zobrazeny na obrázku č. 4.



Obr. 4 Základní úhly ostří ([www.jhamernik.sweb.cz](http://www.jhamernik.sweb.cz))

Úhlové prvky:

- $\alpha$  - úhel hrbu (hřbetu), uzavřený řezným povrchem a hřbetovou plochou nástroje
- $\beta$  - úhel ostří, uzavřený čelní plochou a plochou hrbu
- $\gamma$  - úhel čela, také nazývaný úhel třískový

Součet těchto tří základních úhlů dává dohromady  $90^\circ$ . Součet úhlu hřbetu a úhlu ostří tvoří tzv. „řezný úhel“, symbolizovaný konvenčním znakem  $\delta$ .

Význam úhlových prvků:

Úhel  $\alpha$

- zvětšováním tohoto úhlu se zmenšuje kontaktní plocha hrbu zubu s materiálem a snižuje se tak tření (Lisičan, 1988). Prokeš (1982) ještě dodává, že styková plocha mezi hřbetem a obráběnou plochou se zvyšujícím se otupením zvětšuje. Se zvětšujícím se styčnou plochou také dochází k většímu zahřívání nástroje, což má za následek větší otupování břitu a zvýšení tření mezi nástrojem a obráběnou plochou. Tento úhel v praxi dosahuje nejčastěji hodnot od  $10-30^\circ$ .

Úhel  $\beta$

- Lisičan (1988) popisuje, že tento úhel by měl být co možná největší, aby se ostří odpozem materiálu neodlamovalo, a tím i méně otupovalo. Jeho účel je v rozporu s úhly  $\alpha$  a  $\gamma$  a doporučuje se dodržovat určité hodnoty jednotlivých úhlů ověřené v praxi pro kýžené druhy technologie. Prokeš (1982) ve své knize navíc uvádí, že menší úhly břitu jsou vhodné při řezání měkkých materiálů s menší objemovou hmotností a menší pevností. U slinutých karbidů je volen tento úhel větší, než u nástrojové oceli, neboť je křehký.

Úhel  $\gamma$

- Zvětšováním tohoto úhlu klesá odpor proti vnikání zubu, z čehož vyplývá, že se zmenšuje potřebná řezná síla. Zmenšováním tohoto úhlu dochází ke zvětšování řezného úhlu a zvýšení řezného odporu (Lisičan, 1988). Při zvětšení úhlu čela pak dochází ke snižování úhlu ostří a břit tak ztrácí pevnost a rychleji se otupuje. Od toho se také odvíjí i kvalita povrchu. Hodnoty úhlů čela se v praxi pohybují od  $12-120^\circ$  (Prokeš, 1982).

### 3.2.3 Řezná rychlost, posuvná rychlost a posuv na zub

Dle definic Lisičana (1988) se při dělení laminovaných desek pomocí CNC frézy využívá rotačního pohybu ostří nástroje, jako je tomu u kotoučových pil, fréz a vrtáků. Pohyb obrobku je buď přímočarý posuvný anebo rotační, a jeho rychlost nazýváme posuvnou rychlostí udávanou v metrech za minutu. Pohyb ostří v obrobku se nazývá pohyb řezný, a jeho rychlost nazýváme řeznou rychlostí označenou symbolem „ $v_c$ “, udávanou nejčastěji v metrech za sekundu.

Výpočet řezné rychlosti pro frézování:

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad [m/min] \quad (1)$$

Výpočet posuvné rychlosti

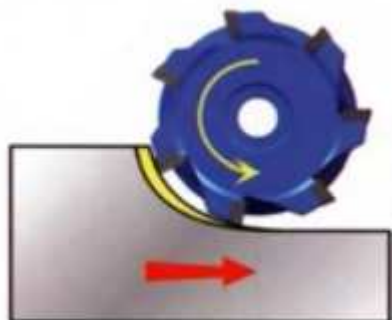
Posuv na zub  $f_z$  je základní jednotkou posuvového pohybu. Posuvná rychlost  $v_f$  je délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje, dělená počtem zubů nástroje.

$$f_z = \frac{v_f}{z_{eff} * n} \quad [mm] \quad (2)$$

$$v_f = f_z * z_{eff} * n \quad [m/min] \quad (3)$$

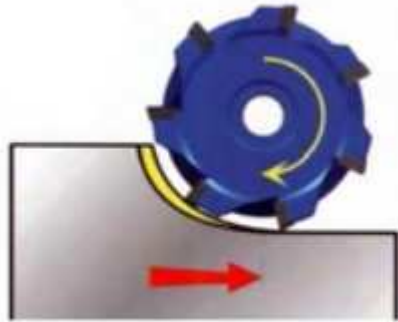
### 3.2.4 Typy frézování

Při sousledném frézování se fréza točí ve směru pohybu obrobku, jak je zobrazeno na obrázku níže. Výhodou tohoto frézování je částečný odchod tepla v tříске a řez začíná silnou třískou. Kvalita obrobku je vyšší, než u obrábění nesousledného.



Obr. 5 Sousledné frézování ([www.taegutec.cz](http://www.taegutec.cz))

Při frézování nesousledném se fréza otáčí proti směru pohybu obrobku. Průřez třísky se postupně zvětšuje od nuly do maxima. Teplo odchází tělem nástroje a dochází ke tření a otěru břitu, a tak dochází k většímu opotřebení nástroje a i horší kvalitě povrchu (Taegutec, 2016).



**Obr. 6 Nesousledné frézování ([www.taegutec.cz](http://www.taegutec.cz))**

Dle studijních materiálů pro studenty Technické Univerzity v Liberci (2001) se frézování dá rozdělit dle tloušťky ubírání materiálu na hrubování (10-20 mm i více), středně těžké obrábění (2-10 mm) a na čisto (0,5-2mm). Posuv na zub by neměl klesnout pod 0,05 mm, protože pak už se začíná projevovat vliv poloměru ostří břitu nástroje. Obvykle se tato hodnota pohybuje v rozsahu (0,05-0,4 mm). Řezné rychlosti pro frézování s SK materiály se pohybují v závislosti na materiálu od 120 – 570 m/min.

### 3.2.5 Sledované parametry při obrábění

Dle Lisičana (1988) jsou podmínky a jevy při obrábění silně ovlivněny jejich fyzikálními, mechanickými a technologickými vlastnostmi. Sledované fyzikální vlastnosti nejčastěji pozorované u aglomerovaných materiálů jsou: objemová hmotnost a schopnost pojmout vodu, teplotní a elektrická vodivost. Dle Kollmanna a kol. (1968) je dřevo bráno jako nevodivý materiál, jeho vodivost se však zvyšuje se stoupající vlhkosti. Objemová hmotnost závisí od míry zhuštění. Rozlišujeme materiály nezhuštěné (0,85 až 1,1 g/cm<sup>3</sup>) a zhuštěné (1,2 až 1,45 g/cm<sup>3</sup>). Dále jsou sledovány mechanické vlastnosti zahrnující tvrdost, pevnost a pružnost. Tvrdost materiálu je závislá od množství použitého lepidla. V neposlední řadě podmínky obrábění určují technologické vlastnosti jako: štípatelnost, tvárnost, obrobitelnost (Lisičan, 1988).

### 3.2.6 Kvalita obrobení

Na kvalitu obrobení frézovaného povrchu mají vliv hlavně tyto faktory: řezný úhel nože, stav otupení ostří, vlhkost obrobku, posuvná rychlost, řezná rychlost a tloušťka frézované vrstvy (Lisičan, 1988). Hruška (1987) dodává, že při extrémně malých posuvech na zub nedochází ke klasickému oddělování třísky. Břity nástroje se pouze třou o obráběnou plochu, což má za následek pálení, zhoršení jakosti obrábění a dochází i k brzkému otupení břitů. Podziewski a Górski (2011) ve svém článku uvádějí, že efekt otáček lze ve vztahu k posuvné síle zanedbat.

Jak Lisičan (1988) tak Varkoček a kol. (1996) se v těchto faktorech shodují. Dle Gawrónského (2013) se pro materiály určené na výrobu nábytku užívají nižší posuvné rychlosti, aby se zaručila vysoká kvalita obrobení a byly uspokojeny i požadavky nástroje. Zmiňované faktory dle výše zmíněných autorů jsou vysvětleny následovně:

#### Vlhkost obrobku

Se zvyšujícím se obsahem vlhkosti se obecně kvalita povrchu zhoršuje. Nejhorší kvalitu obrobení vykazují materiály s vlhkostí 27-30% .

#### Vliv řezného úhlu

Při malých posuvných rychlostech se projevuje různě, a to zejména v otázkách tvorby odlomků apod. Při malých posuvných rychlostech (0,8-1,65 m/min) při podélném frézování je pro lepší kvalitu povrchu lepší malý řezný úhel okolo 35-40°. Pro čelní a tangenciální frézování zvětšování řezného úhlu působí negativně.

#### Vliv otupení ostří

V počátku záběru ostří neřeže, ale zatlačuje materiál na určité délce pod sebe, a to tím víc, čím je ostří víc otupené. Po vypružení se výška vlnek mění a kvalita povrchu klesá.

#### Vliv posuvné rychlosti

Všeobecně se s vzrůstajícím posuvem kvalita povrchu zhoršuje. Kvalitní povrchy lze nejlépe získat při posuvech  $v_f = 1-1,5$  m/min.

#### Vliv řezné rychlosti

V případě, že změnou řezné rychlosti se nezmění další faktory řezného procesu, vliv řezné rychlosti se prakticky na kvalitě povrchu neprojeví, a to ještě ani při  $v_c = 100$  m.s-1.

Vliv tloušťky frézované vrstvy

Při větší frézovací vrstvě je snížena možnost odlomků v rovině obrobeného povrchu.

### 3.2.7 Otupování nástroje

Bilík a Mádl (2001) ve své publikaci uvádí, že obráběcí nástroj lze považovat za otupený tehdy, jestliže není schopen obrábět dále danou plochu v požadované jakosti, anebo je otupení takové, že by se břit při dalším pokračování v práci v krátkém čase zcela porušil. Dle Prokeše (1987) posuzujeme dva termíny při otupování nástroje. Trvanlivost břitu je doba, po kterou je naostřený břit schopen pracovat. Vyjadřuje se jednotkami času a délkovým jednotkami (řeznou dráhou). Životnost břitu je definována násobkem trvanlivosti ostří a vyjadřuje se délkovými jednotkami a časem. Mez pro životnost nástroje je moment, kdy nástroj již není schopen plnit svou funkci.

Dominika a kol. (2013) ve své publikaci uvádí, že dokonce i když je zvolen správně řezný úhel, opotřebení nástroje má velký vliv na kvalitu obráběného povrchu. Dále uvádí, že se zvětšujícím se opotřebením nástroje dochází ke zvýšení řezných sil, což může mít velký vliv na odlamování laminátu.

Stejně jako Lisičan (1988) kolektiv autorů uvádí, že nejdůležitějšími parametry při obrábění je posuvná rychlost, otáčky nástroje, geometrie nástroje a řezná rychlost.

Dominika a kol. (2013) ze svého experimentu vyvozuje, že míra řezné síly koreluje s faktorem odštěpování laminátu, a tak je možno použít míru řezné síly jako počáteční bod k návrhu parametrů pro posuvnou rychlost a otáčky nástroje ve vztahu ke kvalitě povrchu.

## 3.3 Nástroje pro dělení materiálů na bázi dřeva

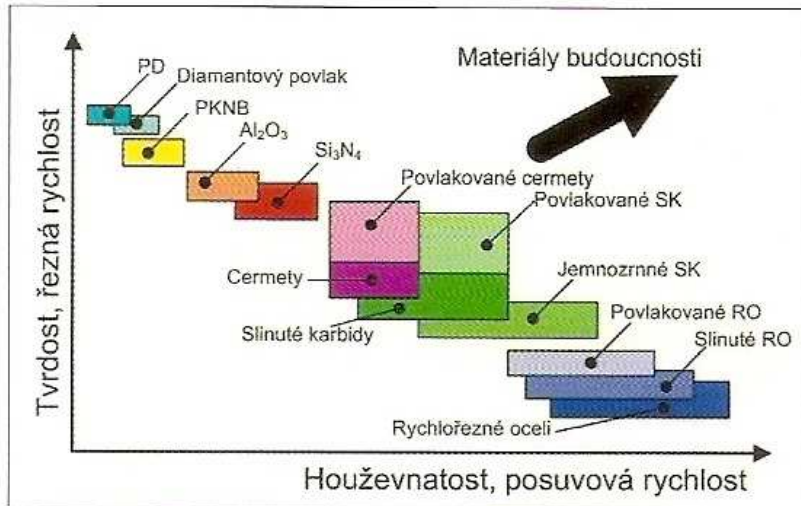
Požadavky na nástroj pro obrábění materiálů na bázi dřeva jsou relativně náročné. Prvním požadavkem je, aby byl nástroj velice tvrdý, a to kvůli dosažení co nejvyšší odolnosti a vysoké abrazivnosti nástroje. Dalším požadavkem je dostatečná houževnatost, která umožňuje vystavit nástroj vysoké posuvné rychlosti, a dodržet či snížit stanovenou dobu obrábění. V neposlední řadě je také důležité, aby byl nástroj odolný vůči vysokým teplotám, které vznikají při vysokých otáčkách a vysokých posuvech. Díky těmto požadavkům je vyražena rychlořezná ocel (HSS), (Sheikh-Ahmad a Morita, 2001).

Pro tyto požadavky se v současné době nejvíce hodí slinuté karbidy, které tyto vlastnosti jsou schopny nejlépe pokrýt. V budoucnu však lze očekávat nástup povlakových slinutých karbidů připravovaných fyzikální či chemickou cestou (PVD, MTCVD a CVD). V současné době tyto materiály zaznamenávají velký postup ve vývoji, avšak ještě svými vlastnostmi nepřevyšují významně nepovlakový slinutý karbid. Povlakované SK materiály jsou doposud limitovány nízkou adhezí nosného materiálu vůči povlaku, díky čemuž dochází k předčasnému ustoupení hrany i povlaku nástroje, což má za následek nežádoucí ovlivnění kvality obrobění. V příloze č. 2 je názorně ukázán rozdíl opotřebení povlakovaného karbidu (chemickou a fyzikální cestou) a nepovlakovaného SK.

Nepovlakované slinuté karbidy jsou dodneška nejekonomičtějším a nejvíce funkčním materiálem pro obrábění materiálů na bázi dřeva, a to také díky možnosti změny poměru jednotlivých složek. Drsnější karbidy s vyšším obsahem kobaltu jsou používány zejména v prvovýrobě a tvrdší karbidy s nižším obsahem kobaltu zase v druhovýrobě. Díky možnosti změny poměru jednotlivých složek pak lze připravit typ slinutého karbidu, který nejlépe vyhovuje fyzikálně i mechanicky danému způsobu obrábění. Z těchto důvodů se tento materiál používá stále ještě nejčastěji (Sheikh-Ahmad a Morita, 2001).

Humár (2008) ve své knize o materiálech pro řezné nástroje tvrdí, že k odebrání třísky a vytváření nových povrchů požadovaného tvaru, rozměru a jakosti je zapotřebí břit s odpovídající houževnatostí a současně vysokou tvrdostí v oblasti ostří, která nesmí poklesnout ani při vysokých pracovních teplotách. Nástrojové materiály mající vysokou tvrdost lze použít při vysokých rychlostech a malých průřezech třísky, kde převládá spíše tepelné zatížení nad mechanickým. Materiály s vysokou houževnatostí lze použít při vysokých posuvových rychlostech, kde převládá mechanické zatížení nad tepelným.

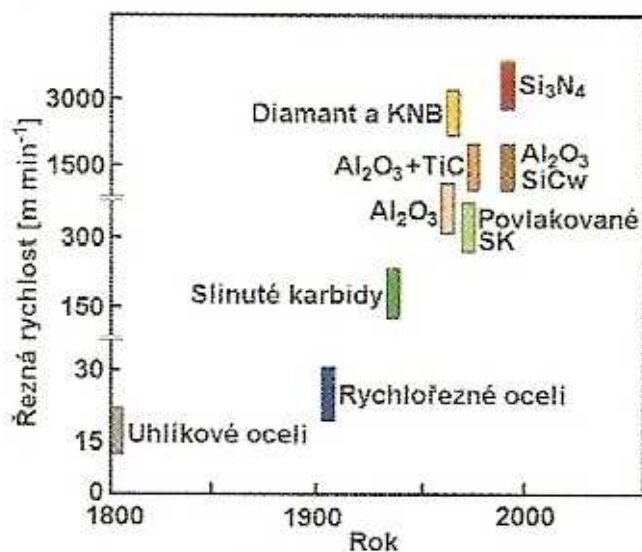




**Graf 3** Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky (Humár, 2008)

### 3.3.1 Slinuté karbidy

Aglomerované materiály oproti masivnímu dřevu mají vyšší tvrdost a abrazivnost. Tyto vlastnosti můžeme přičíst použitým lepidlům, které jsou po vytvrzení obtížněji obrobitelné, než samotné dřevo. Pro tyto materiály se obecně vyžaduje pevnější ostří, nejčastěji vyráběné ze spěkaných (slinutých) karbidů (Lisičan, 1988). Endler a kol. (1999) se s Lisičanem shoduje. Dále autor uvádí, že využití slinutých karbidů je dáno požadavky obrábění aglomerovaných materiálů. Pro tento typ materiálu je vyžadována vysoká pracovní rychlost a trvanlivé ostří, což SK materiály v poměru cena/výkon splňují.



**Graf 4** Historický vývoj řezných rychlostí (Humár, 2008)

Tyto materiály se vyrábějí spečením wolframového a uhlíkového prášku v kobaltovém práškovém pojivě, za účinků vysoké teploty cca 1600 °C. Malé destičky SK plátků se pak dají připájet například na čela zubů pilových kotoučů. Tvar destiček bývá různý a volí se podle druhu řezaného materiálu (Lisičan, 1988). Výchozími materiály pro výrobu slinutých karbidů jsou wolfram, titan, karbid titanu, tantal, niob, chrom a vanad. Obsah jednotlivých nerostů v SK plátku se různí podle požadavků pro konkrétní typ obrábění a typ obráběného materiálu (Humár, 2008).

Dle normy ČSN ISO 513 jsou nepovlakované slinuté karbidy označovány symboly HW a HF. Jejich vlastnosti vyjadřuje tabulka níže.

**Tab. 1 Značení nástrojových materiálů podle normy ČSN ISO 513 (Humár, 2008)**

Vlastnost		Slinutý karbid WC+Co
Měrná hmotnost [g.cm <sup>-3</sup> ]		12,0÷15,1
Pevnost v ohybu [MPa]		1 000÷2 400
Tvrдость	[HV]	1 900
	[HRA]	90÷92
Modul pružnosti v tahu [GPa]		520÷660
Souč. délkové roztažnosti [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]		4,5÷7,0
Měrná tepelná vodivost [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		80
Lomová houževnatost [MPa.m <sup>1/2</sup> ]		10÷17

Slinuté karbidy mají velkou objemovou hmotnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Tvrдость SK plátků se nemění ani při zvýšených teplotách obrábění a hmot ze dřeva, a tudíž nejsou tak snadno otupovány. Kobalt dodává plátku potřebnou houževnatost, avšak snižuje schopnost vůči otěru. K nevýhodám SK patří malá pevnost v ohybu a značná křehkost, takže je nutno s ostřím zacházet opatrně a přepravovat ho ve speciálních obalech (Prokeš, 1982).

Prokeš (1982) ve své knize uvádí, že nejodolnějším materiálem vůči teplu vznikajícím na břitu, jsou právě slinuté karbidy. Tento typ nástrojové úpravy se používá pro obrábění aglomerovaných materiálů jednak kvůli tomu, že dřevo v podstatě teplo neodvádí, a tak je většina tepelné energie odváděna břitem, a navíc použitá lepidla mají vysokou abrazivní schopnost.

Hlavní kritéria, pozorovaná při obrábění aglomerovaných materiálů, je trvanlivost ostří a kvalita řezu, v neposlední řadě pak také spotřeba energie na proces řezání. Trvanlivost SK plátků je cca 50% vyšší, než u nástrojů z nástrojové oceli. S vyšší trvanlivostí pak souvisí i větší časová výdrž zubů v dobré kvalitě řezu. Prokeš (1982) navíc

uvádí, že SK plátky mají daleko větší chemickou odolnost, než běžně používané nástroje z nástrojové oceli. Kvůli různým chemickým sloučeninám použitých v aglomerovaných materiálech je i tato vlastnost velmi vítaná.

Na trvanlivost břitů ze slinutých karbidů má vliv:

- Druh slinutého karbidu použitého pro určitý druh obráběného materiálu
- Geometrie břitu a způsob ostření nástroje
- Řezné podmínky
- Přesnost chodu nástroje
- Výskyt cizích těles a částí v obrobku

Pokud se vyskytnou v materiálu tvrdé vměšky, je potřeba volit karbid s vysokou houževnatostí, v ostatních případech je možno volit karbidy s vyšší tvrdostí, které jsou odolnější proti otěru. Doporučuje se dodržovat úhel břitu 45-50°, neboť při snížení úhlu dochází k vydrolování břitu a snížení jeho trvanlivosti, zejména pak při obrábění tvrdších materiálů. Tuto informaci potvrzuje ve své publikaci i Endler a kol. (1999).

Hruška (1987) pak ještě dodává, že obecně vzato řezné rychlosti mají být dodržovány doporučením výrobce nástroje. V zásadě však nástroje SK vyžadují použití vyšších řezných rychlostí, než u rychlořezné oceli.

Díky své tvrdosti i při zvýšené teplotě je možno s SK plátky řezat i ve vysokých řezných rychlostech, jsou totiž daleko méně citlivé na zahřátí, než ostatní typy cenově dostupných materiálů používaných na nástroje. Stanovení horní meze se odvíjí od pevnosti nástroje, spodní mez je pak stanovena dle požadované jakosti obrobenej plochy. Dalším faktorem mající vliv na trvanlivost SK plátek je přesnost chodu nástroje. Dovolená axiální odchylka je 0,01 mm, u strojů s obvyklými otáčkami 0,02 mm (Prokeš, 1982). Posuv obrobku by měl být rovnoměrný a vedení obrobku pevné, aby nedocházelo k nárazovému zatížení břitů. V případě nedodržení těchto požadavků je efektivnost SK plátek snižována.

Slavík (1987) ve své kapitole o plastických hmotách uvádí, že pro SK plátek je z hlediska opotřebení nástroje lepší volit nízké řezné rychlosti a vysoké posuvy. Opotřebení nástroje na obrobenej plochu je tak nižší. Limitujícím faktorem však může být kvalita obrobenej, protože při výstupu nástroje může docházet k odlamování.

Povrch SK plátek, (jak již bylo napsáno výše) může být i povlakovaný, nejčastěji titankarbidem. Pro aglomerované materiály však tento typ SK plátek není příliš vhodný, neboť nanesením povlaku na původně ostrý zub dojde k zvýšení hrubosti nástroje, a tím se změní i výchozí hodnota hrubosti při začátku obrábění (Školník, 1987).

Pinkowski a kol. (2011) ve svém článku uvádí, že při použití nástrojů se speciální povrchovou úpravou (povlakováním) došlo nejen ke zvýšení trvanlivosti břítu, a tak i k delší obráběné vzdálenosti, ale i ke zvýšení drsnosti obráběného povrchu. Nejlepších výsledků z povlakovaných materiálů pak dosáhl povlak CRCN/CrN.

Pro srovnání SK s ostatními materiály jsou v příloze č. 3 a 4 přiloženy grafy zobrazující závislost tvrdosti nástrojových materiálů na teplotě a další vlastnosti nástrojových materiálů.

### 3.3.1.1 Trvanlivost SK plátek

Školník (1987) ve své kapitole o SK materiálech uvádí, že kvalitní opracování pomocí SK plátku se pohybuje okolo 500 bm nábytkové hrany. Z čehož vyplývá, že když se za 1 směnu obrobí 2000 bm nábytkové hrany, je třeba nástroj vyměnit 4 krát za směnu. Výsledky Školníkova výzkumu jsou v tabulce níže. Test podléhal podmínce, kde poškození povrchové úpravy nesmí překročit 1,5 mm. Zároveň však autor uvádí, že s příchodem nových typů SK plátek lze očekávat výrazné zvýšení trvanlivosti ostří. Endler a kol. (1999) uvádějí, že k nejvyššímu otupení nástroje dochází v místě obrábění laminační vrstvy, tento efekt je způsoben použitým lepidlem.

*Tab. 2 Opotřebení ostří ve vztahu k obrobené dráze (Školník, 1987)*

<u>Mat. vazby</u> hm %	<u>Obsah KNB</u> %	<u>Zrnitost</u> $\mu\text{m}$	<u>Nařezané</u> <u>Bm řezu</u>	<u>Opotřebení</u> $\mu\text{m}$
Ni/Ti 66,5/33,5 %	25	80/63	50	140
Cu/Ti 77,0/33,0	25	80/63	150	500
Cu/Ti 50,0/50,0	25	80/63	150	300
SK - G 2.4	25	80/63	500	140
SK - G 2.4	0	0	500	95
SK - G 2.4	25	25/0	500	135
SK - G 2.4	50	25/0	200	220
SK – STEHLE – porov.	0	0	500	80

Na základě údajů z tabulky je jasné, že trvanlivost ostří je podstatně ovlivňována tvrdostí vazby, při vysokém obsahu KNB (kubický nitrid boru) trvanlivost klesá, velikost zrn neměla zásadní vliv na trvanlivost ostří a ani nejlepší výsledky s obsahem KNB 25% a velikostí zrn 25 nedosáhly trvanlivosti ostří čistého SK.

Sheikd-Ahmad a kol. (2003) se s Endlerem a kol. shodují v tom, že nástup povlakovaných nástrojů je současně limitován nedostatečnou adhezí diamantového filmu na nosný materiál. Větší uplatnění povlakovaných nástrojů dále také brzdí nutnost ostrých řezných úhlů a nízká zrnitost povrchu. Při menších řezných úhlech totiž dochází

k vydrolování materiálu a zvýšená zrnitost má negativní vliv na jakost povrchu a životnost ostří.

Dominika a kol. (2013) navíc dodává, že při obrábění materiálů na bázi dřeva, kde je použita jako příměs recyklovaná surovina, může docházet ke střetnutí ostří například se zbytkem šroubu, písku či kousků železa. V případě takového střetu dochází téměř k okamžitému poničení nástroje, které může změnit geometrii nástroje a zvýšit tak řezné síly a i kvalitu obrobeného povrchu, nejvíce náchylné jsou pro tento střet právě diamantové nástroje z PKD a nástroje z KNB.

Endler a kol. (1999) ve svém článku podrobili různé typy nástrojů těmto podmínkám: hřídelová rychlost 6000rpm, řezná rychlost 57 m/s, posuvná rychlost 10 m/min, hloubka obrábění 2 mm a posuv na zub 1,7 mm/rev. Výsledky z měření ukazují přílohy č. 5 a 6.

### **3.4 CNC obráběcí stroj**

Název těchto obráběcích center pochází z anglických slov „Computer Numerical Control“ česky pak „počítačem řízený obráběcí stroj. Jsou to stroje využívající „CNC řídicí systém“ k tomu, aby dokázaly obrábět výrobek dle předem připravených NC programů. K hlavním přednostem CNC strojů patří možnost práce ve více osách, dále pak je nespornou výhodou vysoká přesnost a spolehlivost výrobního zařízení bez nutnosti seřizování, velmi rychlá a pružná výměna nástroje, možnost fixace obrobku, omezení rozsahu lidské činnosti. Další nespornou výhodou je provádění posloupnosti úkonů podle zadaného programu, opětovné zahájení výroby určitého sortimentu bez nutnosti nastavení stroje a možnost přeprogramování (Král, 2009).

CNC stroj je složen z několika konstrukčních a speciálních prvků. Je to stojan s hnacími a obráběcími agregáty osazenými nástroji, lože s pohonem nebo posuvnými prvky, stůl s upínacími systémy, ovládání a řízení nutné pro regulaci obrábění, bezpečnostní prvky a odsávání. Stroje mají buď směrový (vektorový) pohyb omezený na nástroj, nebo obrábění probíhá současným pohybem nástroje a pracovního stolu.

Pro obrábění musí být buď agregát nástrojů či pracovní stůl pohyblivý. Nejčastěji se tyto pohyby rozdělují do tří os (X, Y a Z), které spolu svírají pravý úhel. Pro každou osu je k dispozici vlastní hnací motor, aby mohly pohyby nástroje probíhat nejen jednotlivě, ale i současně ve všech osách. Základem pohybu nástroje v jednotlivých osách je

pravoúhlý (kartézský) systém, přičemž osy X a Y jsou nejčastěji rovnoběžné s pracovním stolem a pro vertikální pohyb obráběcího agregátu je použita osa Z. Další osy pak vyplývají z otočných pohybů obráběcích agregátů. Základní tři osy X, Y a Z se protínají v počátku souřadnic. Tento průsečík je nazýván nulovým bodem, protože vzdálenost os v tomto bodě je nula (Král, 2009).

Stavebnicový systém obráběcích center umožňuje libovolný výběr obráběcích nástrojů a agregátů. Tyto centra mohou být vybavena vrtacími nástroji, frézami nebo pilovým kotoučem. Ze základních pohybů agregátů ve třech, čtyřech, či pěti osách vychází i rozsah použitelnosti stroje. Pracovní hlava u tříosého CNC centra je schopna pohybu ve třech osách, jak bylo již popsáno. Čtvrtou osou je pak označován pohyb nástroje otáčející se kolem své vlastní osy. Pátou osou pak může být natáčení hlavy vlevo či vpravo pod určitým úhlem.

Upnutí obrobku je ve většině případů zajištěno přísavkami pomocí pneumatického podtlakového zařízení. Upínané dílce musí být dostatečně hladké tak, aby je přísavky byly schopny bezpečně zafixovat.

Pro konstrukční přípravu výroby jsou nejčastěji používány CAD grafické programy a převedení grafického návrhu do strojového kódu zabezpečují programy v systému CAM (Král, 2009).

### **3.5 Drsnost povrchu**

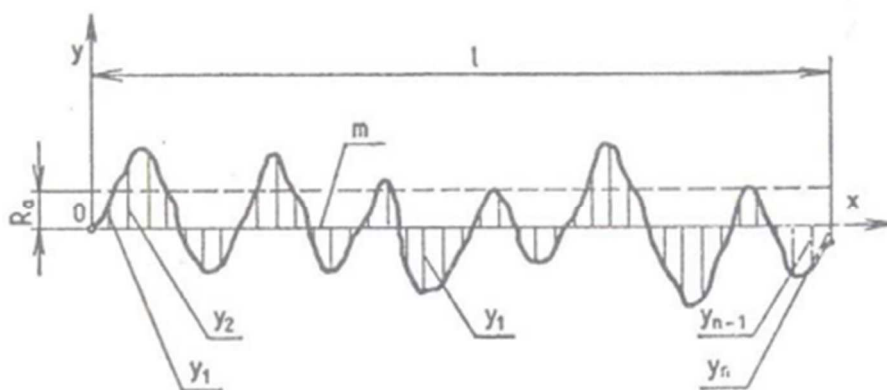
Drsností povrchu můžeme označit nerovnost povrchu, která vzniká při výrobě součástí. Tato veličina je ovlivněna technologickými podmínkami ve výrobě. Nerovnosti objevující se na obrobené ploše mají určité charakteristické uspořádání, které je výsledkem vzájemných geometrických a kinematických vztahů nástroje a obrobku, doprovázené některými fyzikálními jevy. Nejvýznamnější vliv na výsledný tvar obrobené plochy má z hlediska geometrického tvar zubu řezného nástroje a z hlediska kinematických vztahů posuvná rychlost. Mezi fyzikální jevy lze zařadit teplotu při obrábění, či vlhkost obrobku atd. Drsnost můžeme měřit jak ve směru příčném tak i podélném (Bumbálek a kol., 1989).

#### **3.5.1 Ukazatele drsnosti**

K posuzování drsnosti nám slouží několik ukazatelů, které měřený povrch charakterizují jednou nebo několika veličinami příslušné hodnoty a základní délkou, na které se veličina určuje. Pro naše měření nám postačí parametr Ra, Rz, Rt, A RSm. Tyto

ukazatele vychází z normalizované charakteristiky drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287.

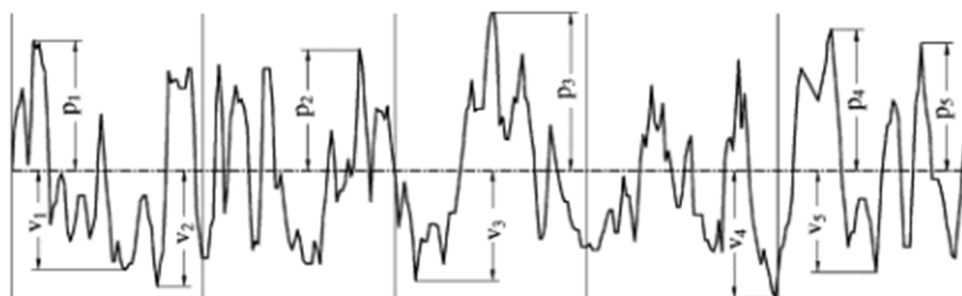
$R_a$  střední aritmetická úchylka profilu je přednostní výškovou charakteristikou drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky. Geometricky lze tuto hodnotu interpretovat výškou obdélníku sestaveného na střední čáře a o shodné ploše jako nerovnosti profilu, uzavřené profilem od střední čáry. Nevýhodou tohoto ukazatele je, že udává pouze střední hodnotu, ale neuvádí nic o jeho vlastnostech jako je pórovitost, členitost povrchu, trhliny či porušení povrchu rýhami. Velkou výhodou tohoto ukazatele je jednoduchost při určování, snadnost měření a přesnost. Je nejčastějším ukazatelem pro popis mikrogeometrie povrchu.



Obr. 7 Parametr  $R_a$  ([www.sps-vitkovice.cz](http://www.sps-vitkovice.cz))

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_n|}{n} \quad (4)$$

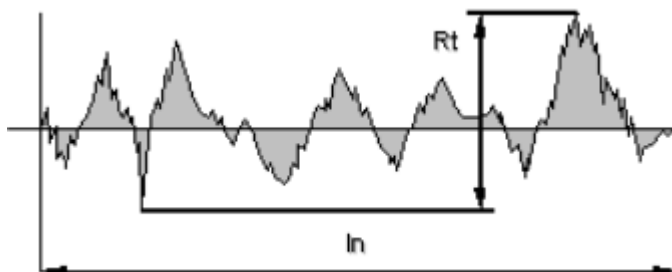
$R_z$  výška nerovností profilu je definována jako součet nejvyššího výstupku profilu (značeno jako  $p_i$ ) a nejnižší prohlubně profilu  $v_i$  v rozsahu základní délky. Symbol „n“ označuje počet výstupků. V minulosti se tato hodnota vyjadřovala jako střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky. Tento ukazatel je používán jako doplňkový, protože v řadě případů nevyjádří správně drsnost povrchu. Například jedna větší nedokonalost povrchu zásadně změní celkovou drsnost, i když zbytek povrchu má drsnost daleko menší.



Obr. 8 Parametr  $R_z$  ([www.otik.uk.zcu.cz](http://www.otik.uk.zcu.cz))

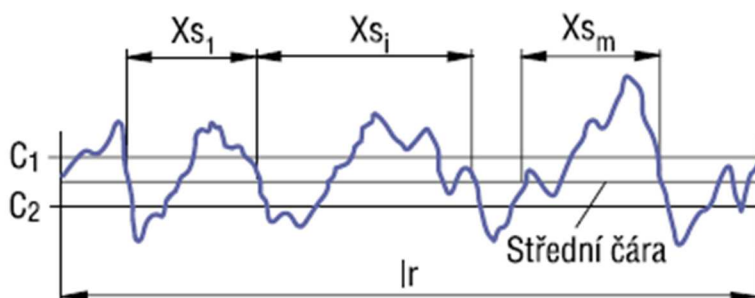
$$R_z(DIN) = \frac{1}{2n} \left( \sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (5)$$

$R_z$  celková výška profilu je definována jako součet nejvyššího výstupku profilu a nejhlubší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky „ln“.



Obr. 9 Parametr  $R_t$  ([www.otik.uk.zcu.cz](http://www.otik.uk.zcu.cz))

$RSm$  průměrná šířka nerovností profilu je definována aritmetickým průměrem šířek  $X_s$  prvků v rozsahu základní délky, neboli určuje šířky prvků profilu v rozsahu základní délky. Vyhodnocení tohoto parametru požaduje zadání hladiny řezu  $c_1$  a  $c_2$ . Tento parametr je charakteristikou drsnosti povrchu v podélném směru povrchu. Slouží také pro délkové ocenění drsnosti povrchu, zvláště pro zhodnocení základní periodické složky v profilu povrchu.



Obr. 10 Parametr  $RSm$  ([www.otik.uk.zcu.cz](http://www.otik.uk.zcu.cz))



$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{S_i} \quad (6)$$

### 3.5.2 Faktory ovlivňující drsnost povrchu

#### Vlhkost desek

Nejvýhodnější vlhkost pro obrábění je okol 10-12%. Při moc vysoké vlhkosti dochází k nadzvedávání vláken a elementů desky a tvoří tak hrubší povrch, čímž dochází i ke zvýšení drsnosti. Při příliš nízké vlhkosti vzniká hodně brusného prachu, který je při opracování nežádoucí a i nebezpečný (Čížek, 1985).

#### Hustota desek

Při větší hustotě desek dochází k většímu stlačení dřevních elementů a zvyšuje se tak i tvrdost materiálu. Pro tvrdší materiály je pak nutno zvýšit otáčky nástroje, a tím i řeznou rychlost. Pro obrábění materiálů s nižší hustotou není třeba tak vysokých otáček tudíž klesají i náklady na energii. V případě, že nelze s otáčkami laborovat, postačí pro stejnou kvalitu obrobění vyšší posuvná rychlost (Čížek, 1985).

#### Směr vláken

Kvalitnějšího obrobění dosáhneme při opracování podél vláken. Při obrábění obrobku kolmo na vlákna dochází k většímu vytrhávání vláken, a tak ke snížení jakosti a zvýšení drsnosti obrobenej plochy. Tato zákonitost platí zejména u masivního dřeva, a tak při obrábění dřevotřískových desek můžeme tento faktor zanedbat (Čížek, 1985).

#### Nečistoty

Při obrábění dřevotřískových desek dochází ke vzniku pilin, hoblin a brusného prachu. Částice brusného prachu se pak usazují na obrobek a dochází tak k zatlačování částic již obrobenej zpátky do materiálu. Tomuto faktoru lze snadno předejít kvalitním odsáváním (Čížek, 1985).

## 4 Metodika

Zkoumání byly podrobeny 4 druhy laminovaných desek od Dřevozpracujícího družstva v Lukavci. Desky byly obrobena na CNC obráběcím centru stopkovou frézou s SK vyměnitelnými břity při shodných obráběcích podmínkách. Po vizuálním zhodnocení odštěpování laminátu jednotlivých typů desek byly následně obrobena znovu ještě dva typy desek, pro které byl dostatek materiálu pro další výzkum. Tyto dva druhy byly obráběny jinými posuvnými rychlostmi tak, aby byl zohledněn faktor vyštípání a obráběcí čas. Obráběné desky byly zkoumány v laboratoři s konstantní vlhkostí vzduchu 65 % a teplotou okolí 20 °C.

Před započítáním frézování dřevotřískových desek byly odebrány vzorky pro zjištění vlhkosti a hustoty jednotlivých typů desek. Vzorky pro tyto zkoušky byly odebrány dle ČSN EN 326-1 (1997). Následně proběhlo stanovení hustoty jednotlivých typů desek dle ČSN EN 323 (1994). Dále byly vzorky podrobeny zkoušce zjišťování obsahu vlhkosti dle ČSN EN 322 (1993). Po obrobění všech desek byly vzorky podrobeny měření drsnosti obroběného povrchu dle ČSN 49 0231 (1993). Předposlední měření bylo zacíleno na přídržnost povrchu. Vzorky byly odebrány opět dle ČSN EN 326-1 a postup měření byl učiněn podle ČSN EN 311 (2003).

Poslední měření bylo učiněno v laboratoři obrazové analýzy, kde byly zhotoveny snímky jednotlivých zvolených úseků obroběných hran. Fotografie byly nakonec zpracovány v programu NIS Elements, kde byly jednotlivé odštěpky hran změřeny.

### 4.1 Laminované desky – metody zkoušení

Zkoušení laminovaných desek spadá pod normu ČSN EN 14323, k našemu tématu se vztahuje pouze část „poškození hrany“ a „vyjádření výsledků“. Dle ČSN se poškození hrany stanoví umístěním měřicí šablony nebo pásového měřidla na zkoušenou desku nebo panel a měřením velikosti kousků papíru se stanoví podíl odtržených částí. Pásové měřidlo či šablona by měla být odstupňována s dělením 1 mm. Zkušební tělesem je deska nebo panel tak, jak je dodána.

Zkušební těleso je položeno vodorovně na ochrannou podložku. Uvolněné kousky povrchu se odstraní použitím jemného štětce. Použitím kovového pásového měřidla nebo šablony se změří velikost útržků (třísky) kolmo ke hraně směrem ke středu desky. Následně se zaznamenají rozměry největšího útržku papíru na 1 mm.

Všechny vady s označením jejich typu, počtu a velikostí se zaznamenají a sumarizuje se jejich plocha a délka. Dovolená jednotka vady (viz EN 14322) je 2 mm<sup>2</sup> na m<sup>2</sup> plochy. A dovolená délka vady je 20 mm na m<sup>2</sup>.

Vzorec pro výpočet přípustných celkových vad (TE):

$$TE = \text{délka desky} \times \text{šířka desky} \times \text{dovolená jednotka vady}$$

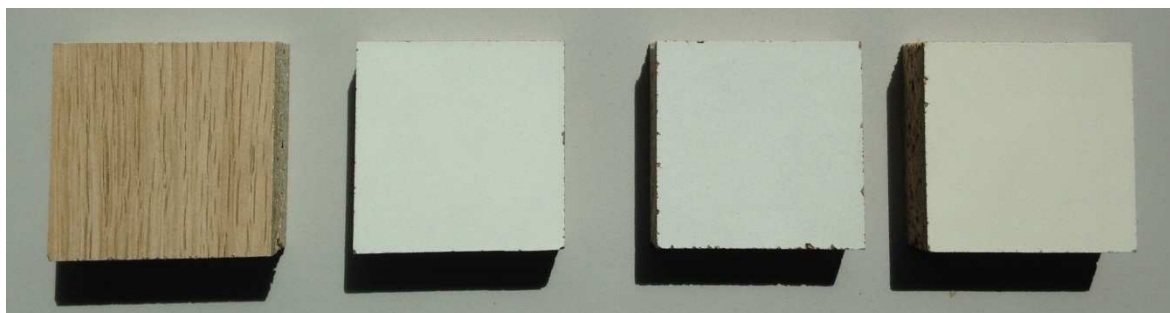
*Pozn.: Je třeba dbát, zda je hodnocena délka vady či jde o bodové hodnocení!*

Norma neříká nic o hodnocení odštěpování laminátu při obrobení CNC strojem, výše uvedené hodnoty jsou stanoveny pro desku tak, jak je výrobcem dodávána. Hodnocení odštěpování laminátu při obrábění je závislé na druhu zkoumaného materiálu, nástroji, řezných podmínkách a požadavků výrobce a zákazníka.

## 4.2 Frézování dřevotřískových desek

### 4.2.1 Materiál

Výzkum probíhal na 4 typech laminované dřevotřísky o shodné tloušťce 18 mm. Dodané desky jsem označil takto: dekor dřeva, miniperla, hladká 1 a hladká 2. Materiál byl dodán v různých šířkách a délkách cca 183 cm. Všechny desky byly naformátovány pomocí kotoučové pily na jednu délku 180 cm, a to z důvodu lepší kalkulace najetých metrů a umožnění použití pouze dvou obráběcích programů. Každý typ materiálu byl frézován novými SK břity, což umožňuje porovnat odštěpování materiálu v závislosti na obrobené délce. Materiál hladká 1 a hladká 2 jsou v textu označeny za číslicí ještě písmenem A nebo B mající usnadnit orientaci v použitých rychlostech. Písmeno A je použito pro standartní střední doporučenou posuvnou rychlost 6,5 m/min a písmeno B pro rychlosti zvolené dle doporučených krajních hodnot výrobce nástroje.



**Obr. 11 Použité desky: zleva dekor dřeva, miniperla, hladká 1 a hladká 2**

#### 4.2.2 Použité stroje a nástroje

Jednotlivé typy lamina byly obráběny na obráběcím centru od firmy Homag konkrétně typ OPTIMAT BHC VENTURE 06S. Jedná se o klasické tříosé obráběcí CNC centrum s několika typy frézovacích a vrtacích nástrojů. Desky byly obráběny nástrojem 130058883 od firmy Leitz. Tento nástroj se skládá z upínacího pouzdra 37711 a stopkové frézy 40850. Stopková drážkovací žiletková fréza byla osazena vyměnitelnými noži ze slinutého karbidu, konkrétně 7668 HW: 50x12x1,7 a 5161 HW: 30x12x1,5 od stejné firmy jako celý nástroj. Úhel břitu nástroje byl stanoven na 55°, úhel čela a hřbetu závisí na uložení žiletky do těla nástroje. Tyto úhly nebyly výrobcem specifikovány. Fréza ještě disponuje zavrtávacím nožem 5080 HW: 7,6 x12x1,5, který ale nebyl při frézování použit, neboť fréza najížděla do materiálu z boku. Dále byla použita kotoučová pila sloužící k odřezání vzorku o stanovené tloušťce.



**Obr. 12**  
**Drážkovací žiletková**  
**fréza Leitz**

#### 4.2.3 Postup obrábění

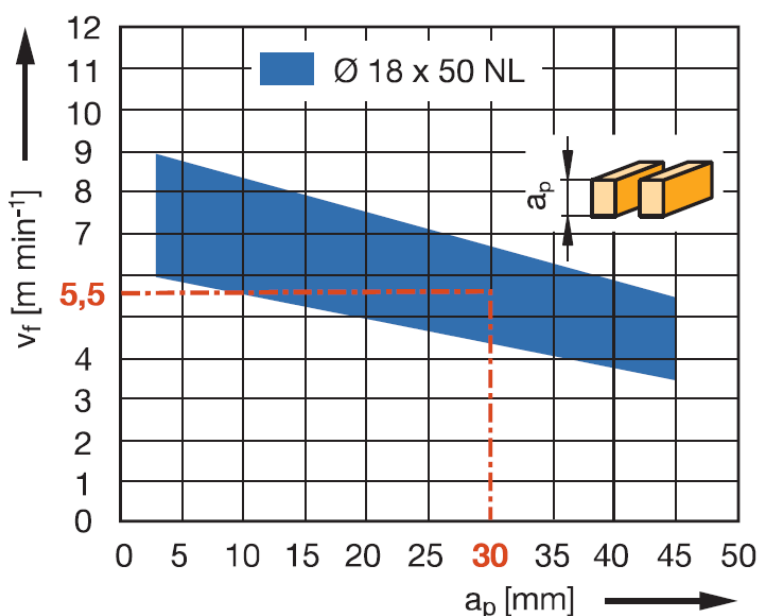
Vzhledem k množství dodaného materiálu byla stanovena délka obrobení pro dekor dřeva a miniperlu v délce 1000 metrů pro každý typ a zbylé dva typy hladkých bílých desek v délce 1600 metrů taktéž pro oba typy. Jelikož se v literatuře uvádí, že nože ze slinutých karbidů se v praxi mění cca po 500-600 metrech obrobené délky, bylo stanoveno, že materiál miniperla a dekor dřeva bude obroben do délky 1000 metrů, a zjistí se tak míra odštěpení dál za hranici doporučené výměny. Zbylé dva typy hladké byly podrobeny odštěpování laminace na dvakrát, a to oba typy v délce 800 metrů. První nastavení obrábění bylo shodné pro všechny typy desek. Jelikož se po odfrézování první série ukázalo, že skupina hladká 1 vykazuje nižší odštěpování laminace než hladká 2, byla pro hladkou 1 zvolena vyšší posuvná a pro hladkou 2 naopak rychlost nižší ve snaze snížit míru odštěpení laminace.

Před započítím samotného frézování bylo zapotřebí vytvořit výkresy v nějakém rýsovacím programu, který dokáže vytvořit soubor typu dxf. Pro tento krok se nejlépe hodí asi nejdostupnější rýsovací software AUTOCAD. Následně byly výkresy konvertovány

pomocí speciálního programu pro převod formátů na soubory s příponou mpr., se kterou pracuje program CNC centra WOOD WOP, který celý program nahrává do frézovacího agregátu.

Obráběcí parametry nástroje byly nastaveny podle doporučení výrobce uvedených v technickém listě nástroje. Technický list se nachází v příloze č. 7. Doporučené otáčky pro výše zmíněný nástroj jsou 18 000 ot/min a posuvná rychlost se odvíjí podle tloušťky obráběného materiálu. Z obrázku č. 13 lze určit ideální posuvnou rychlost pro daný typ materiálu. Osa Y označuje posuvnou rychlost, osa X pak tloušťku ubíraného materiálu. Dle tloušťky materiálu lze pak

v modrém poli odvodit ideální posuvnou rychlost. Spodní hranice modré plochy označuje ideální nejnižší posuvnou rychlost a horní hranice modré plochy pak nejvyšší ideální rychlost nástroje. V našem případě při obrábění dřevotřískových desek o tloušťce 18 mm bylo z obrázku určeno, že ideální posuvná rychlost pro materiál o tloušťce 18 mm pohybující



**Obr. 13 Stanovení posuvné rychlosti, dle tloušťky materiálu (technický list nástroje Leitz 40850)**

se zhruba uprostřed modrého pole je 6,5 m/min. Maximální ideální posuvnou rychlost byla stanovena na 7,7 m/min a nejnižší pak na 5,2 m/min. Úběr materiálu byl stanoven na 2 mm. Typ frézování byl zvolen nesousledný, neboť tento typ odebrání materiálu je v dřevařském průmyslu nejčastější. Nakonec bylo dle vědeckých publikací věnující se otupení ostří stanoveno odebrání vzorků vždy po 100 metrech obrobění, neboť stejně většina autorů hodnotí i otupení ostří, a tak lze tento rozsah brát v potaz, jelikož kvalita obrobění se odvíjí od otupení nástroje. Při stanovení kratší délky odběru vzorků by nebyl rozdíl mezi jednotlivými metry tak patrný. Shrnující informace o obráběných typech desek a parametrů obrábění vyobrazují tabulky níže.

**Tab. 3 Stanovené metry a posuvné rychlosti pro dané typy laminované dřevotřísky**

Typ desky	Posuvná rychlost (m/min)	Odfrézovaná vzdálenost (m)
miniperla	6,5	1000
dekor dřeva	6,5	1000
hladká 1A	6,5	800
hladká 2A	6,5	800
hladká 1B	7,7	800
hladká 2B	5,2	800

**Tab. 4 Parametry nástroje**

Parametr	Velikost	Jednotky
otáčky nástroje - n	18 000	ot/min
průměr frézy - D	18	mm
počet efektivních břitů - zeff	2	ks
$\pi$	3,14159	

**Tab. 5 Řezné podmínky nástroje**

Posuvná rychlost (m/min)	Otáčky	Řezná rychlost $vc = (D \cdot \pi \cdot n) / (1000)$ m/min	vc (m/s)	Posuv na zub $fz = vf / (zeff \cdot n)$ (mm)
5,2	18 000	1017,87	16,96	0,14
6,5	18 000	1017,87	16,96	0,18
7,7	18 000	1017,87	16,96	0,21

Kromě doporučených otáček nástroje a posuvné rychlosti byl dodržen i doporučený posuv na zub popsáný v kapitole frézování.

Desky byly před frézováním uloženy několik dní v klimatizované laboratoři, kde podmínky okolí byly 20 °C při 65% vlhkosti vzduchu. Desky byly z tohoto prostředí vynášeny pouze do truhlářské dílny za účelem jejich vykrácení na vzorky, či frézování stanovené vzdálenosti na CNC. Ihned po provedení nutných operací prováděných mimo laboratoř (frézování, řezání) byly vzorky, či desky zpátky uloženy v místnosti laboratoře.

Samotný proces frézování probíhal následovně. Nutno podotknout, že pro každý typ materiálu byly použity nové SK břity, aby bylo možno jednotlivé materiály mezi sebou porovnávat. Materiál vykrácený na požadovanou délku 180 cm byl doražen na stanovený nulový bod CNC stroje a zafixován na pracovní stůl pomocí vakuových přísavek. Poté byl spuštěn první program, který nesousledně odfrézoval prvních 180 cm boční hrany. Tato hrana byla brána jako „nulový“ metr pro hodnocení odštěpování laminace. Poté byla deska

vyjmuta z pracovního stolu CNC a na kotoučové pile byl odříznut pruh v délce 180 cm 3 cm široký. Takto odříznutý pruh byl označen příslušnými popisky jako například: typ materiálu, směr frézování, ukazatele označující zkoumanou hranu, posuvnou rychlost a ujeté metry. Poté byla deska zpět upnuta do CNC stroje a následovalo frézování prvních 100 metrů. Po odfrézování této vzdálenosti byl z desky opět odříznut pruh o šířce 3 cm a popsán příslušnými parametry. Takto se postupovalo až do konce stanovené obrobené délky.



***Obr. 14 CNC obráběcí centrum Homag***

Po odfrézování všech typů lamina byly vzorky vykráceny na kotoučové pile na požadovaný jeden metr, který byl následně podrobován dalšímu zkoumání. Reprezentativní vzorky měly tedy rozměry 100x3x1,8 cm. Tyto vzorky byly postupně podrobovány zkoumání drsnosti obrobené plochy a odštěpování laminace.



*Obr. 15 Vzorky po odfrézování stanovených vzdáleností*

### **4.3 Měření drsnosti**

#### **4.3.1 Zkoumaná tělesa**


Sledovanými tělesy byly vzorky vytvořené po odfrézování stanovených metrů tj. tělesa o rozměrech 100x3x1,8 cm. Drsnost povrchu se odvíjela dle doporučení normy ČSN 49 0231.

#### **4.3.2 Použité přístroje a pomůcky**

Drsnost povrchu byla měřena pomocí speciálního přístroje na měření drsnosti od firmy Tylor Hobson LTD typ Form Talysurf Series 50 mm Intra 2. Přístroj byl připojen do klasického stolního počítače, kde software Taylor Hobson Ultra zobrazoval jednotlivé výsledky měření pro zvolené typy parametrů drsnosti.



Tab. 6 Určení měřících parametrů pro frézování (www.hommel-etamic.cz)

Periodické profily např. soustružení, frézování		Měřicí podmínky Podle DIN EN ISO 4288:1998 a DIN EN ISO 3274:1998				
 <p>Střední vzdálenost rýh elementů drsnosti</p>		Mezní vlnová délka		$\lambda_c$ (lc)		
		Základní délka		$l_r$		
RSm (mm)		Měřená délka		$l_n$		
> 0,013 ...0,04		Celková délka		$l_t$		
> 0,04 ...0,13		Rádus hrotu		$r_{tp}$		
> 0,13 ...0,4		Krátkovlnný filtr		$\lambda_s$ (ls)		
> 0,4 ...1,3		$\lambda_c = l_r$ (mm)	$l_n$ (mm)	$l_t$ (mm)	$r_{tp}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda_s$ ( $\mu\text{m}$ )
> 1,3 ...4,0		<b>0,08</b>	0,40	0,48	2	2,5
		<b>0,25</b>	1,25	1,5	2	2,5
		<b>0,8</b>	4,00	4,80	2 nebo 5*	2,5
		<b>2,5</b>	12,5	15,00	5	8
		<b>8,0</b>	40,00	48,00	10	25

Parametry měření byly stanoveny dle ISO 4288:1998. Pro frézování se nastavení zařízení řídí podle hodnoty parametru RSm. Po prvním zkušebním měření se parametr RSm pohyboval v rozmezí 0,013-0,04, a tak byly měřicí parametry zvoleny tak, jak uvádí tabulka nahoře.

#### 4.3.3 Postup měření

Jednotlivé metrové vzorky byly označeny na pěti místech lihovým fixem tak, aby vzdálenosti jednotlivých míst byly rovnoměrně rozmístěny po celé délce zkušebního tělesa. Konkrétně pak ve vzdálenosti 10 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm a 90 cm od začátku vzorku. Díky těmto úsekům lze pak snáze získat směrodatná data v průběhu celého metru, než při měření pouze kratší části, například pouze v prostředku. Názorně zobrazuje obrázek dole.



Obr. 16 Úseky měření drsnosti

Následně byly jednotlivé vzorky upnuty do speciálního přípravku zajišťující pevné upnutí zkoumaného vzorku a stabilitu celé konstrukce. Nastavení celého měřícího aparátu názorně zobrazuje v příloze č. 8.



**Obr. 17** Měření drsnosti detail

Drsnost povrchu byla měřena na frézované ploše po směru frézování těsně pod laminací cca 0,5 mm pod hranou desky, kde je ještě deska tvořena mikrotřískami. Zde je možnost získat nejpřesnější výsledky o vývoji drsnosti povrchu ve vztahu k ujetým metrům. Střed desky je pro toto měření nevhodný, neboť je tvořen většími lístkovými třískami. Měřené úseky byly prováděny na označených místech, vysvětlených v předchozím odstavci. Celková délka měření na jeden úsek byla 48 mm.

#### **4.4 Měření hustoty desek**

##### **4.4.1 Zkoumaná tělesa**

Tělesa pro tento druh zkoušky byla odebrána z každého typu desek dle ČSN EN 326-1. Z každé zkoumané desky bylo odebráno 6 vzorků o rozměrech 5x5 cm. Pro každý typ laminované dřevotřísky bylo tedy odebráno 24 kusů plus jeden rezervní vzorek.

##### **4.4.2 Použité stroje a přístroje**

Vzorky byly nařezány pomocí kotoučové pily. Pro stanovení gramáže vzorků byla použita klasická laboratorní váha od IMAL PAL BL 100 LCD. Ke stanovení rozměrů těles bylo použito digitální posuvné měřítko, měřící s přesností na 2 desetinná místa. Přístroje jsou vyobrazeny v příloze č. 9 a 10.

##### **4.4.3 Postup měření**

Postup měření se odvíjel dle ČSN EN 323. Vzorky byly ihned po nařezání vráceny do laboratoře s okolním prostředím 20°C a relativní vlhkostí vzduchu 65%. První den bylo provedeno měření několika vybraných vzorků, pro která byla stanovena váha. Druhý den bylo měření zopakováno, a jelikož se gramáž vzorků nezměnila, mohlo se přejít

k samotnému měření hustoty dle citované normy. Následně byly jednotlivé vzorky zváženy a změřena jejich délka, šířka a tloušťka. Pro vypočítání hustoty byl použit vzorec číslo 10 v kapitole o použitých vzorcích.

## 4.5 Měření vlhkosti materiálu

### 4.5.1 Zkoumaná tělesa

Pro určení vlhkosti každého typu lamina byly použity vzorky z předchozí zkoušky.

### 4.5.2 Použité přístroje

K vysoušení vzorků na nulovou vlhkost byla použita laboratorní sušárna od firmy Binder a k vážení vzorků byla použita stejná váha, jako při zkoušce stanovení hustoty.



*Obr. 18 Sušící laboratorní komora Binder*

### 4.5.3 Postup měření

Tato zkouška byla prováděna dle ČSN EN 322. Zkoumané vzorky byly před vložením do sušárny označeny příslušným číslem a zváženy. Poté byly umístěny do sušárny, kde se vysoušely cca při  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Po ustálení váhy dle zmíněné normy byly vzorky opět převáženy a následně zjištěna skutečná vlhkost vzorků před vysoušením ze vzorce 11 z kapitoly o použitých vzorcích.

## 4.6 Měření přídržnosti povrchu

### 4.6.1 Zkoumaná tělesa

Zkoumanými tělesy byly odřezky z předešlých pokusů. Z každé zkoumané desky byl odebrán požadovaný počet zkušebních těles dle ČSN EN 326-1. Pro desku byl určen

minimální počet 8 zkušebních těles. Tato zkouška byla realizována dle ČSN EN 311 a počet zkoumaných desek byl 3 typy od každého druhu. Čili minimální počet zkušebních těles pro jeden druh desky je tedy 24 kusů. Jednotlivé vzorky byly rovnoměrně rozmístěny na zkoumané desky tak, aby byla zhodnocena celá plocha vzorku.

#### 4.6.2 Použité přístroje a pomůcky

K této zkoušce byl použit speciální přístroj na měření odtrhové pevnosti od firmy COMING PLUS konkrétně typ COMTEST OP 1 P 20. Zkušebními tělesy byly hliníkové hříbky dodávané spolu se soupravou, foto níže. K očištění lepených povrchů byl použit technický benzínový čistič od Severochema Liberec. K lepení hříbků k povrchu desky bylo použito epoxydové lepidlo od firmy KM plus konkrétně CHS EPOXY souprava.



**Obr. 19 vlevo - Přístroj na měření odtrhové pevnosti COMTEST OP 1 P 20**

**Obr. 20 vpravo- Zkušební tělesa pro odtrhovou zkoušku, vlevo vzorek po ofrézování povrchu, vpravo pak před ofrézováním**

#### 4.6.3 Postup měření

Vybrané desky byly očištěny technickým čističem a stejně tak i odtrhovací hříbky. Poté bylo nanášeno lepidlo na povrch očištěného hříbku. Lepidlo dle výrobce vytvrzuje cca do 48 hodin. Po této době by lepidlo mělo být dokonale vytvrzené a poskytovat maximální pevnost slepu.

Samotná zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 311. Hříbky byly před odtrhovou zkouškou zbaveny přebytečného lepidla, které bylo vytlačeno ze spáry mezi hříbkem a deskou. Pro toto opracování firma dodala speciální čisticí přípravek, který navíc kromě čištění samotného hříbku



**Obr. 21 Speciální čisticí přípravek (před použitím)**

má na starost i narušení laminace tak, aby byla měřena odtrhová síla pouze plochou zkoumaného hříbku na který je přístroj kalibrován. Měřicí zařízení je vybaveno digitálním displejem, který zaznamenával hodnoty odtrhu v MPa, které byly zaznamenány do sešitu aplikace Microsoft Excel.

## **4.7 Měření odštěpování laminace**

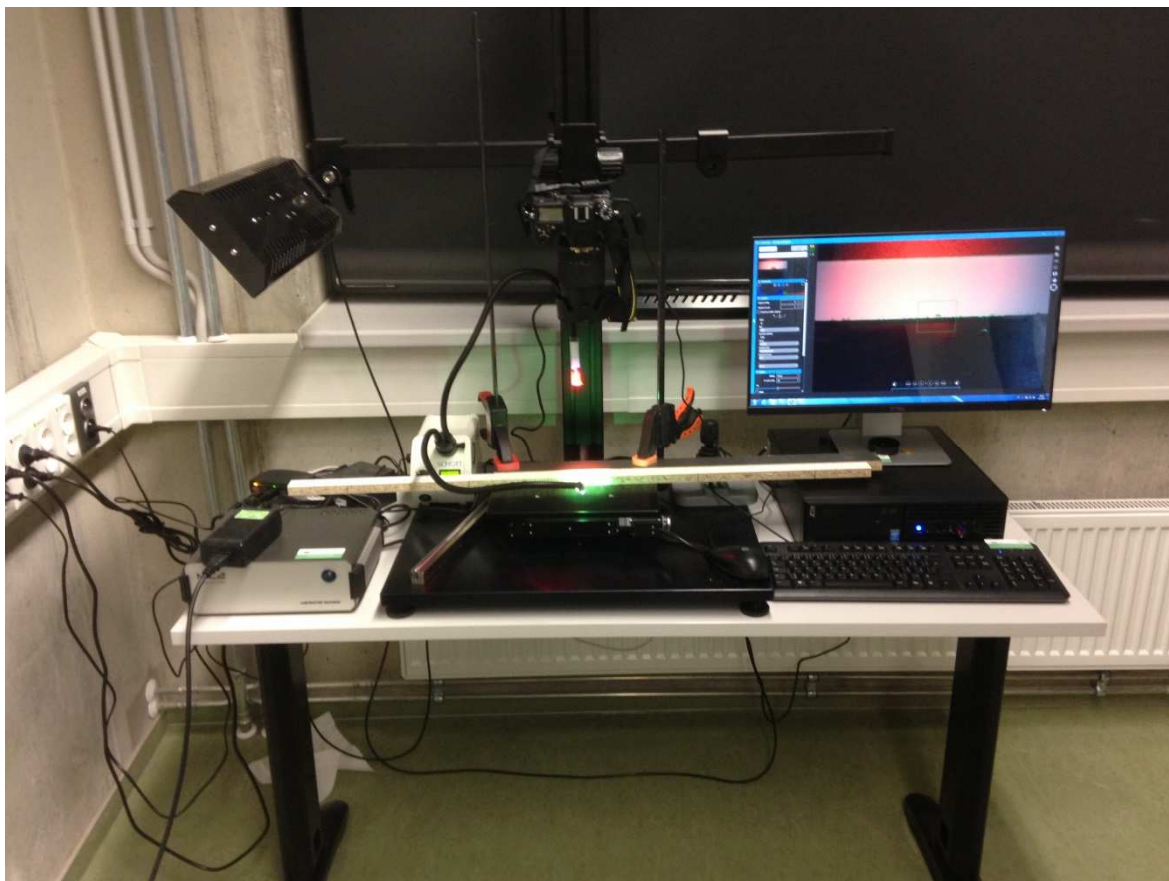
### **4.7.1 Zkoumaná tělesa**

Pro toto měření byly použity stejné vzorky jako pro měření drsnosti obrobené plochy. Analýze odštěpování laminátu bylo podrobena všech šest obráběných souborů: čtyři druhy lamina obráběné ideální posuvnou rychlostí a 2 druhy lamina obrobeny doporučenými hraničními posuvovými rychlostmi. Dle míry odštěpování byla posuvná rychlost pro další etapu zkoumání změněna tak, aby byla zohledněna kvalita obrobení a obráběcí čas. Pro materiál hladká 2 byla zvolena nižší doporučená posuvná rychlost, neboť se daný materiál po vizuální kontrole jevil jako hůře obrobený než materiál hladká 1, kde byla posuvná rychlost naopak zvýšena, aby se zjistilo, zda při vyšší ideální posuvné rychlosti dochází k výraznějšímu odštěpování, než za hodnot středních.

### **4.7.2 Použité přístroje a pomůcky**

Osvětlení zkoumaného úseku bylo zajištěno dvouramenným bodovým diodovým osvětlovacím přístrojem značky Schott, konkrétně KL 2500 LED. Intenzita osvětlení byla nastavená na 50%, jelikož se při pořízení fotografie nejlépe osvědčila. Jednotlivá ramena byla upravena pomocí barevných filtrů (červená a zelená) tak, aby odštěpky byly lépe rozeznatelné od celistvého povrchu.

K pořizování fotografií jednotlivých úseků byl použit fotoaparát NIKON D7100 s ohniskovou vzdáleností 105 mm. Fotografie byly pořízeny v kvalitě 300 dpi a rozlišení 6000x4000 pixelů.

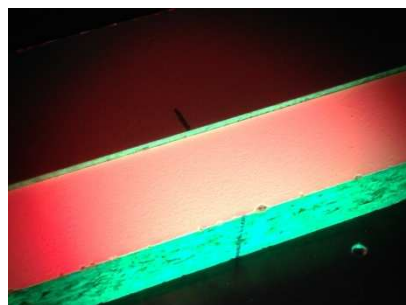


*Obr. 22 Sestava pro focení a hodnocení zkušebních těles (osvětlení, fotoaparát a stolní počítač)*

Ke skupinovému oříznutí fotografií byl použit software od Adobe Photoshop. Označení odštěpků hrany bylo provedeno ve speciálním grafickém programu NIS Elements.

#### 4.7.3 Postup měření

Samotné měření odštěpování laminátu v závislosti na ujeté délce bylo měřeno v laboratoři obrazové analýzy. První fáze měření se skládala z nasvícení zkoumané plochy pomocí barevně zabarvených diod. Červeně zbarvená dioda byla namířena na horní plochu vzorku a zelená pak tak, aby plně osvětlovala boční frézovanou plochu a docházelo tak k osvětlování a zvýraznění odštěpených ploch. Po několika zkušebních fotografiích byly oba světelné zdroje namířeny tak, aby výsledná fotografie byla co nejvíce kontrastní a



*Obr. 23 Osvětlení zkoumaného povrchu*

odštěpky byly co nejlépe rozeznatelné.

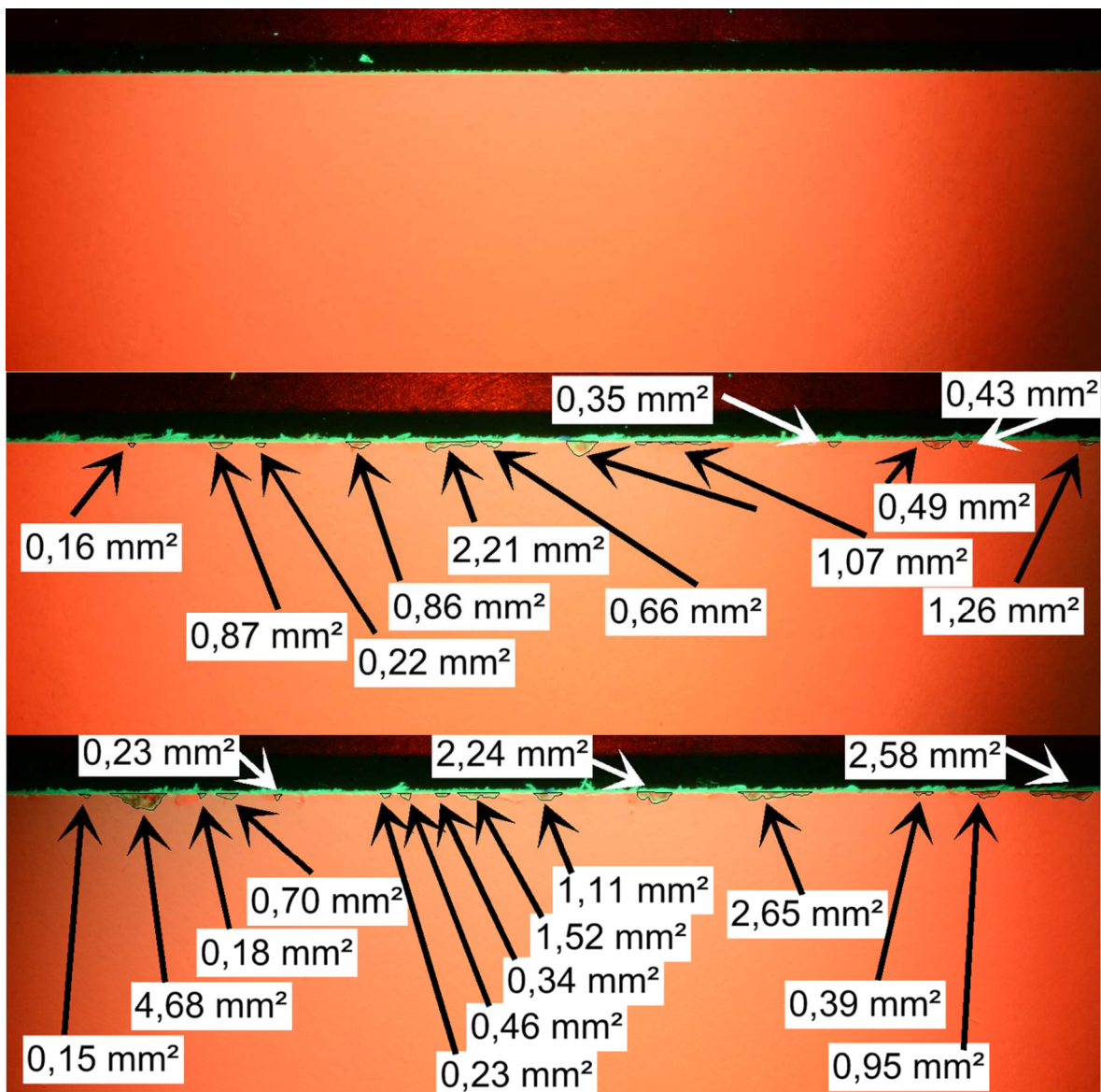
Po nastavení ideálního osvětlení vzorku byly prováděny snímky jednotlivých úseků stanovených již při měření drsnosti. Každá fotka obsahovala číslo vzorku (počet ujetých metrů) a část měřeného úseku. Hodnoceno bylo opět pět úseků, avšak oproti drsnosti, kde byla měřena vzdálenost cca 5 cm, zde byla hrana hodnocena na 10 cm na úsek, čili na metrový vzorek celý půl metr. Zvolené úseky, jak již bylo vysvětleno u měření drsnosti, byly voleny tak, aby byly schopny obsáhnout míru odštěpení v průběhu celého metru a ne pouze například na začátku.

Po zhotovení jednotlivých snímků zkoumaných úseků byly všechny fotografie, dle určeného měřítka oříznuty na reálnou šířku 10 cm na focený úsek s tím, aby byla zahrnuta nejlépe osvětlená část úseku.



*Obr. 24 Oříznutý měřený úsek 10 cm, dekor dřeva*

Následně se jednotlivé fotky analyzovaly v programu NIS Elements, kde byla nejprve provedena kalibrace fotky, aby označené odštěpky měly reálnou velikost. Pro každý hodnocený úsek byly všechny odštěpky označeny pomocí nástroje na měření plochy. Za pomoci toho nástroje pak byla vyčíslena plocha pro každý výštep hodnoceného úseku. Program automaticky generoval zaznamenané výsledky do textového souboru, což velice usnadnilo záznam dat. Nakonec měření byly tyto hodnoty převedeny do sešitu aplikace Microsoft Excel, kde byly následně upraveny a modifikovány na zpracování v programu Statistica 12.



*Obr. 25 Ukázka zaměření jednotlivých vad v programu NIS Elements, konkrétně hladká 7,7 (0-500-800 metr)*



## 5 Výsledky

V této kapitole jsou vyhodnoceny naměřené hodnoty z uskutečněných zkoušek. Téměř ke každé zkoušce je přiložena tabulka naměřených hodnot obsahující vždy hodnoty průměrů, mediánu, směrodatných odchylek, variačních koeficientů a navíc jsou zde také ve většině případů maximální a minimální hodnoty. Podrobné hodnoty vybraných měření jsou umístěny v kapitole přílohy.

Vyhodnocení naměřených hodnot bylo uskutečněno v programu Statistica 12. Pro zjišťování odštěpování laminace byl vždy odebrán jeden metrový vzorek po ujetí prvního 1,80 m a tento vzorek byl brán jako výchozí (nulový) metr pro určování odštěpování laminace, dále pak byl po každých dalších ujetých 100 metrech odebírán metrový vzorek. Počet hodnocených vzorků pro jednotlivý druh lamina a danou posuvnou rychlost uvádí tabulka níže.

**Tab. 7 Počet odfrézovaných metrů a počet hodnocených metrů**

Typ desky	Posuvná rychlost (m/min)	Odfrézovaná vzdálenost (m)	Počet metrových vzorků
miniperla	6,5	1000	11
dekor dřeva	6,5	1000	11
hladká 1	6,5	800	9
hladká 2	6,5	800	9
hladká 1	7,7	800	9
hladká 2	5,2	800	9
<b>celkem</b>	<b>x</b>	<b>5200</b>	<b>58</b>

Z tabulky je patrné, že celková odfrézovaná vzdálenost pro všechny materiály byla 5200 metrů celkem. Z toho celkem 58 metrů vzorků z níž každý metr byl podroben analýze popsané v kapitole „Frézování dřevotřískových desek“.

Měření vlhkosti, objemové hmotnosti a přídržnosti povrchu bylo provedeno na základně uvedených norem, kdy byl vždy dodržen požadovaný počet vzorků.

### 5.1.1 Analýza rozptylu (ANOVA)

Jedná se o souhrnný název pro skupinu metod, kde hlavní myšlenkou je rozklad celkové variability na jednotlivé složky. Tyto složky mohou být přisouzeny jednotlivým příčinám variability. Touto analýzou lze zjistit závislost mezi kvantitativní vysvětlovanou proměnnou a vysvětlující proměnnou (faktorem). Zjišťuje se tedy, zda a jak velkou měrou

ovlivňuje daný faktor vysvětlovanou proměnou. Tato analýza má několik podob: jednofaktorová analýza rozptylu, vícefaktorová analýza rozptylu, jednorozměrná analýza rozptylu a vícerozměrná analýza rozptylu. V našem případě byla použita jednorozměrná analýza podle jednoho faktoru, kde zkoumáme jeho vliv na výsledek experimentu (Hebák a kol., 2004). Pro porovnání odlišnosti souborů dle určeného sledovaného parametru byl užit vícenásobný srovnávací HSD Tukeyův test.

Pro odhadnutí lineárního vývoje naměřených hodnot byly data z měření drsnosti a odštěpování laminace proložena lineární regresní přímkou doplněnou koeficientem determinace určující míru spolehlivosti trendu přímky.

### 5.1.2 Hustota

Pro každé zkoumané těleso byla zjištěna šířka, délka a tloušťka, která je měřena s přesností na 0,01 mm dle normy ČSN EN 325. Hustota tělesa  $\rho$  každého zkušebního tělesa ( $\text{kg/m}^3$ ) se vypočítá podle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{b_1 * b_2 * t_2} * 10^6 \text{ [MPa]} \quad (7)$$

Kde  $m$  je hmotnost zkušebního tělesa uvedená v gramech,  $b_1$  je šířka  $b_2$  je délka a  $t$  je tloušťka tělesa. Hustota desek se vypočítá jako aritmetický průměr hustoty všech těles. Hodnota je vyjádřena v  $\text{kg/m}^3$  s přesností na 3 desetinná místa.

### 5.1.3 Vlhkost

Vlhkost  $H$  zkušebního tělesa se udává v procentech s přesností na 0,1% dle ČSN EN 322 a vypočítá se podle vzorce:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} * 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

Kde  $m_H$  je hmotnost zkušebního tělesa při prvním vážení v gramech a  $m_0$  je hmotnost zkušebního tělesa při posledním vážení o vysušení v gramech. Vlhkost desky je pak aritmetickým průměrem vlhkostí všech zkušebních těles vyjádřený v % vlhkosti.

### 5.1.4 Přídržnost povrchu

Přídržnost povrchu  $SS$  v Newtonech na čtvereční milimetr se vypočítá podle následující rovnice:

$$SS = \frac{F}{A} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (9)$$

Kde  $F$  je nevyšší síla v Newtonech a hodnota  $A$  je plocha povrchu zkušebního tělesa. Výsledek se pak uvede s přesností na  $0,01 \text{ N/mm}^2$  dle normy ČSN EN 311. V našem případě přístroj sám spočítal výslednou sílu pro jednotlivý vzorek. Přídržnost povrchu je pak aritmetickým průměrem všech zkušebních těles vyjádřený v MPa.

## 5.2 Zpracování výsledků

### 5.2.1 Vyjádření drsnosti

Pro porovnání míry drsnosti u každého typu desky a různé posuvné rychlosti byl na začátku pro názornost zvolen parametr  $R_a$ , jelikož je v praxi nejvíce využíván a umožňuje nám tak porovnávat zjištěné hodnoty s jinými materiály. Popisné statistiky parametru  $R_a$  uvádí tabulky níže rozčleněné dle posuvných rychlostí. Jak již bylo popsáno v kapitole „Metodika“ na metrovém vzorku od každého stanoveného úseku bylo provedeno 5 měření v celkové délce 24 cm. To znamená, že pro každý typ desky při počtu 9-ti vzorků na 800 metrů odfrézované vzdálenosti bylo hodnoceno 216 cm obrobené hrany. Pro miniperlu a dekor dřeva zkoumaných do 1000 metrů odfrézované vzdálenosti pak bylo provedeno měření v délce 264 cm pro každý typ.

Třetí sloupec tabulky nám ukazuje průměrnou hodnotu parametru  $R_a$  v závislosti na odfrézované délce. Ve čtvrtém sloupci je uvedena hodnota mediánu, která se odvíjí od prostředních hodnot souboru a není tolik ovlivněna extrémními hodnotami jako například průměr. V pátém a šestém sloupci jsou uvedena minima a maxima dosaženého parametru. V sedmém sloupci jsou vyobrazeny hodnoty směrodatné odchylky, která nám ukazuje míru odlišnosti v souboru zkoumaných čísel. Když tento ukazatel dosahuje vysokých čísel, vypovídá to o velké odlišnosti naměřených dat a naopak. Poslední osmý sloupec zobrazuje variační koeficient, který udává míru variability. Výsledky měření pro parametr  $R_z$ ,  $R_t$  a  $R_{Sm}$  jsou v příloze č. 11-19.

**Tab. 8** Výsledky měření drsnosti dle parametru  $R_a$  a posuvné rychlosti  $v_f = 6,5 \text{ m/min}$

Odfrézované metry	Typ desky	Průměr ( $\mu\text{m}$ )	Medián ( $\mu\text{m}$ )	Minimum ( $\mu\text{m}$ )	Maximum ( $\mu\text{m}$ )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	dekor dřeva	9,49	10,59	6,46	12,89	2,89	30,49
100	dekor dřeva	9,42	9,54	7,13	12,07	1,99	21,13

200	dekor dřeva	12,58	13,06	8,34	16,09	2,91	23,12
300	dekor dřeva	11,46	9,84	8,27	16,80	3,46	30,16
400	dekor dřeva	11,15	10,54	6,15	17,12	4,02	36,09
500	dekor dřeva	12,10	11,58	10,28	14,20	1,74	14,40
600	dekor dřeva	12,70	12,50	7,44	17,06	3,51	27,66
700	dekor dřeva	16,31	16,77	9,20	23,29	6,13	37,59
800	dekor dřeva	12,52	13,77	8,60	14,43	2,44	19,46
900	dekor dřeva	17,54	14,69	12,49	24,30	5,85	33,34
1000	dekor dřeva	21,63	20,32	14,26	29,40	5,63	26,03
0	miniperla	7,28	7,30	5,19	8,60	1,37	18,85
100	miniperla	8,95	8,80	7,65	10,60	1,15	12,87
200	miniperla	11,31	11,08	5,16	16,99	4,90	43,32
300	miniperla	12,87	10,20	7,50	23,90	6,50	50,52
400	miniperla	13,22	14,80	9,27	16,50	3,37	25,49
500	miniperla	16,59	15,59	11,80	23,15	4,36	26,30
600	miniperla	16,70	17,10	10,50	23,30	5,24	31,38
700	miniperla	22,77	23,70	11,05	42,39	12,56	55,15
800	miniperla	15,16	16,76	9,28	21,38	4,80	31,67
900	miniperla	20,99	21,40	14,80	26,63	4,85	23,09
1000	miniperla	26,13	19,67	18,24	41,87	10,33	39,53
0	hladká 1	8,50	8,40	3,90	14,60	4,18	49,23
100	hladká 1	8,63	8,20	6,06	11,21	2,05	23,70
200	hladká 1	10,36	9,60	6,30	15,40	3,36	32,42
300	hladká 1	10,73	9,22	7,70	18,47	4,40	40,97
400	hladká 1	13,79	12,30	9,30	22,63	5,13	37,18
500	hladká 1	12,90	9,30	8,70	19,40	5,41	41,91
600	hladká 1	9,42	8,70	5,80	13,70	3,28	34,80
700	hladká 1	11,04	10,90	8,90	14,20	2,21	19,99
800	hladká 1	15,32	16,90	7,30	22,60	6,04	39,45
0	hladká 2	8,12	8,10	5,00	12,20	2,78	34,30
100	hladká 2	11,12	7,20	6,00	19,40	6,18	55,57
200	hladká 2	11,32	11,80	7,50	15,10	2,76	24,39
300	hladká 2	14,50	15,70	7,50	20,00	4,61	31,78
400	hladká 2	14,72	16,20	6,50	17,60	4,67	31,73
500	hladká 2	10,31	11,70	5,30	12,60	2,95	28,59
600	hladká 2	13,35	13,65	9,90	18,98	3,75	28,10
700	hladká 2	9,52	9,49	7,76	12,20	1,71	17,99
800	hladká 2	17,00	15,10	6,69	35,11	11,69	68,81

**Tab. 9** Výsledky měření drsnosti dle parametru Ra a posuvné rychlosti  $v_f = 7,7$  m/min

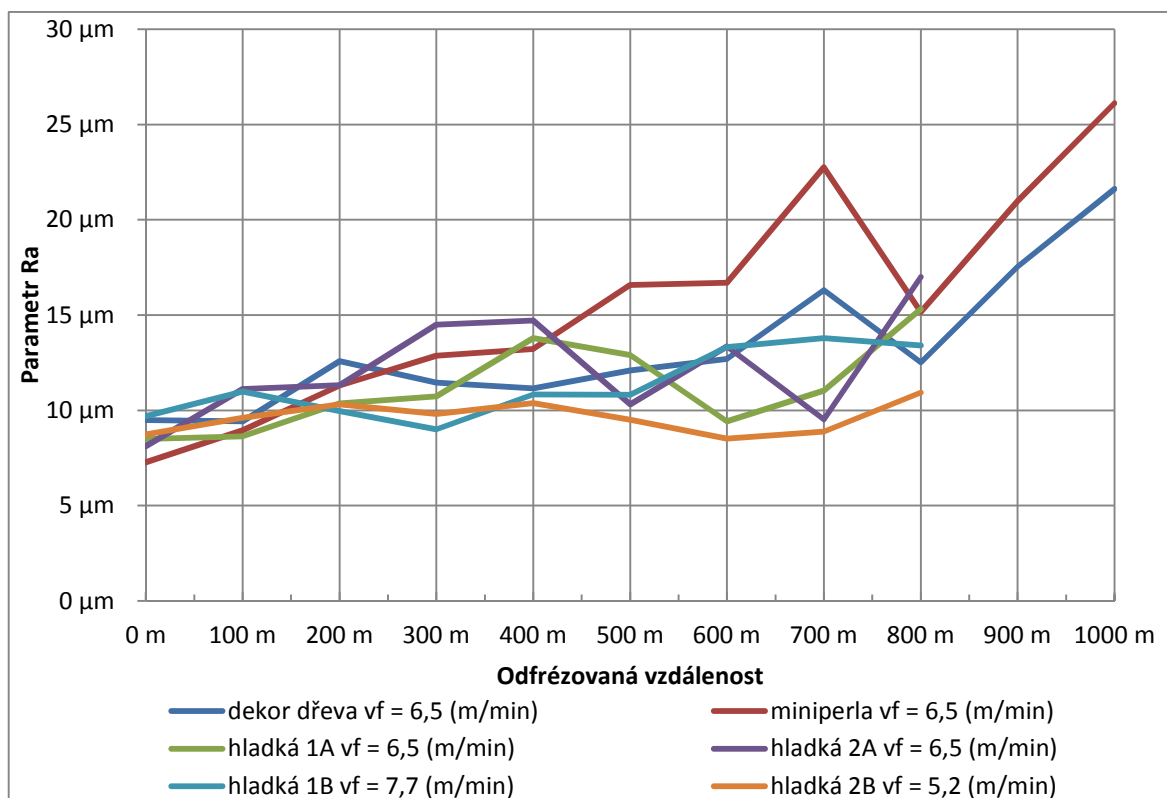
Odfřezované metry	Typ desky	Průměr ( $\mu\text{m}$ )	Medián ( $\mu\text{m}$ )	Minimum ( $\mu\text{m}$ )	Maximum ( $\mu\text{m}$ )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
-------------------	-----------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	----------	---------------

0	hladká 1	9,70	8,98	7,47	14,04	2,63	27,15
100	hladká 1	10,99	10,60	7,40	14,90	2,69	24,50
200	hladká 1	9,97	11,10	5,80	11,53	2,39	24,00
300	hladká 1	9,00	8,60	7,40	10,90	1,32	14,64
400	hladká 1	10,83	9,10	8,80	15,27	2,84	26,17
500	hladká 1	10,82	9,50	8,10	16,29	3,34	30,87
600	hladká 1	13,31	12,40	9,86	19,80	4,02	30,19
700	hladká 1	13,79	11,70	6,70	21,40	6,05	43,87
800	hladká 1	13,41	13,80	8,15	18,40	4,15	30,97

**Tab. 10** Výsledky měření drsnosti dle parametru  $R_a$  a posuvné rychlosti  $v_f = 5,2$  m/min

odfrézované metry	typ desky	Průměr ( $\mu\text{m}$ )	Medián ( $\mu\text{m}$ )	Minimum ( $\mu\text{m}$ )	Maximum ( $\mu\text{m}$ )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 2	8,73	7,00	6,85	15,46	3,77	43,14
100	hladká 2	9,61	7,51	5,99	15,32	3,88	40,38
200	hladká 2	10,32	11,01	7,58	12,62	2,08	20,15
300	hladká 2	9,82	9,43	6,22	13,37	3,31	33,76
400	hladká 2	10,38	8,10	6,58	17,40	4,41	42,50
500	hladká 2	9,51	7,35	6,04	18,39	5,15	54,12
600	hladká 2	8,52	7,96	5,84	11,12	2,22	26,09
700	hladká 2	8,88	8,27	5,50	13,92	3,15	35,42
800	hladká 2	10,93	10,26	5,96	17,24	4,39	40,16

Jak již bylo v textu zmíněno několikrát, zkoumání byly podrobeny 4 druhy laminované dřevotřísky. Grafu č. 5 zobrazuje vývoj, jak se vyvíjel parametr  $R_a$  v závislosti na obrobené délce a posuvné rychlosti. Všechny typy byly obrobena  $v_f = 6,5$  m/min. Typy hladká 1 a hladká 2 byly navíc podrobeny ještě jinými posuvným rychlostem. Typ desky hladká 1 byl ještě podroben posuvné rychlosti  $v_f = 7,7$  m/min a typ hladká 2  $v_f = 5,2$  m/min. Odůvodnění pro zvolené jiné posuvné rychlosti je uvedeno v kapitole metodika.

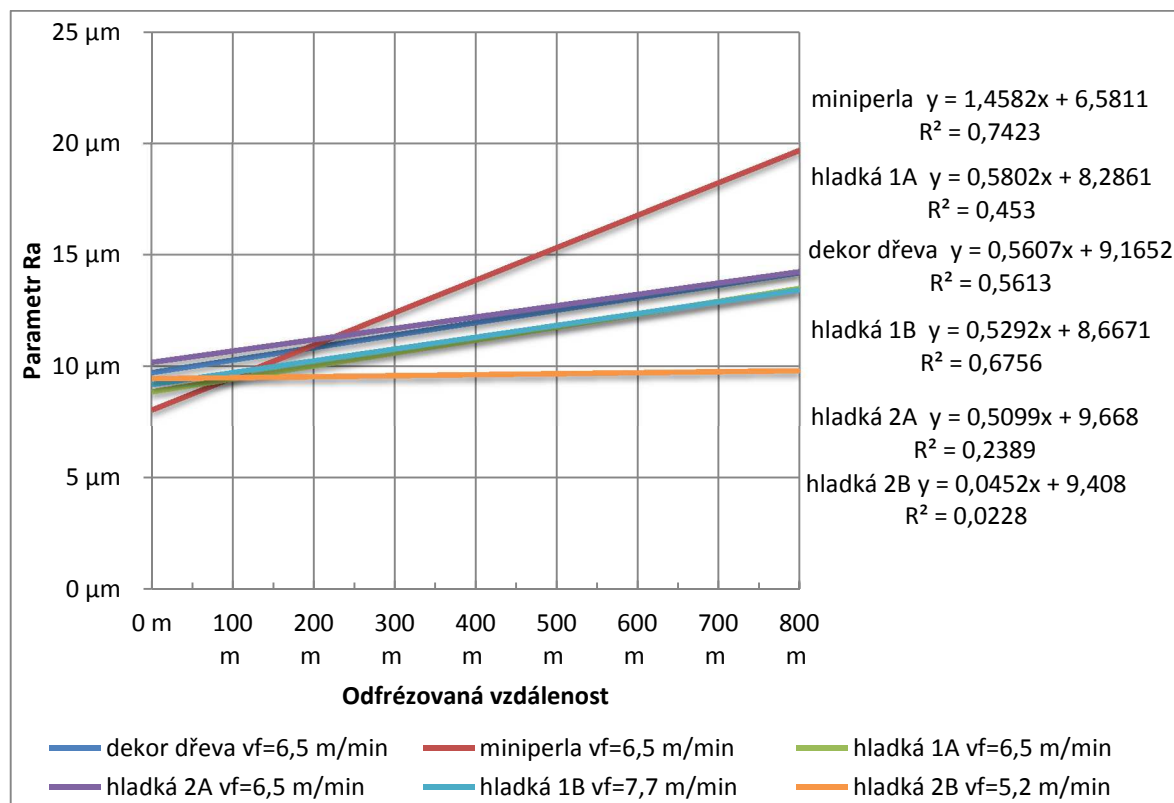


**Graf 5** Vývoj parametru Ra u jednotlivých materiálů v závislosti na odfrézované délce a použité posuvné rychlosti

Graf 5. byl vytvořen na základě průměrných hodnot zkoumaného parametru v závislosti na zkoumané délce. Graf jasně ukazuje, že největší míru drsnosti vykazoval materiál miniperla. Dále je také zřejmý vývoj drsnosti u materiálu hladká 2B frézovaného nižší posuvnou rychlostí, kde se dá říci, že nedošlo téměř k žádnému vývoji a parametr pouze kolísal v rozmezí 8-11 $\mu$ m. Oproti tomu při obrábění hladká 1A vyšší rychlosti (6,5 m/min), došlo k výraznému kolísání zkoumaného parametru, který navíc ani svojí nejnižší průměrnou hodnotou, mimo hodnot nulového metru, nedosáhl maxima Ra parametru u desky obráběného vyšší rychlostí. Ostatní srovnávání materiálu není už tak zřejmé, a tak byla pro další zkoumání použita lineární regrese.

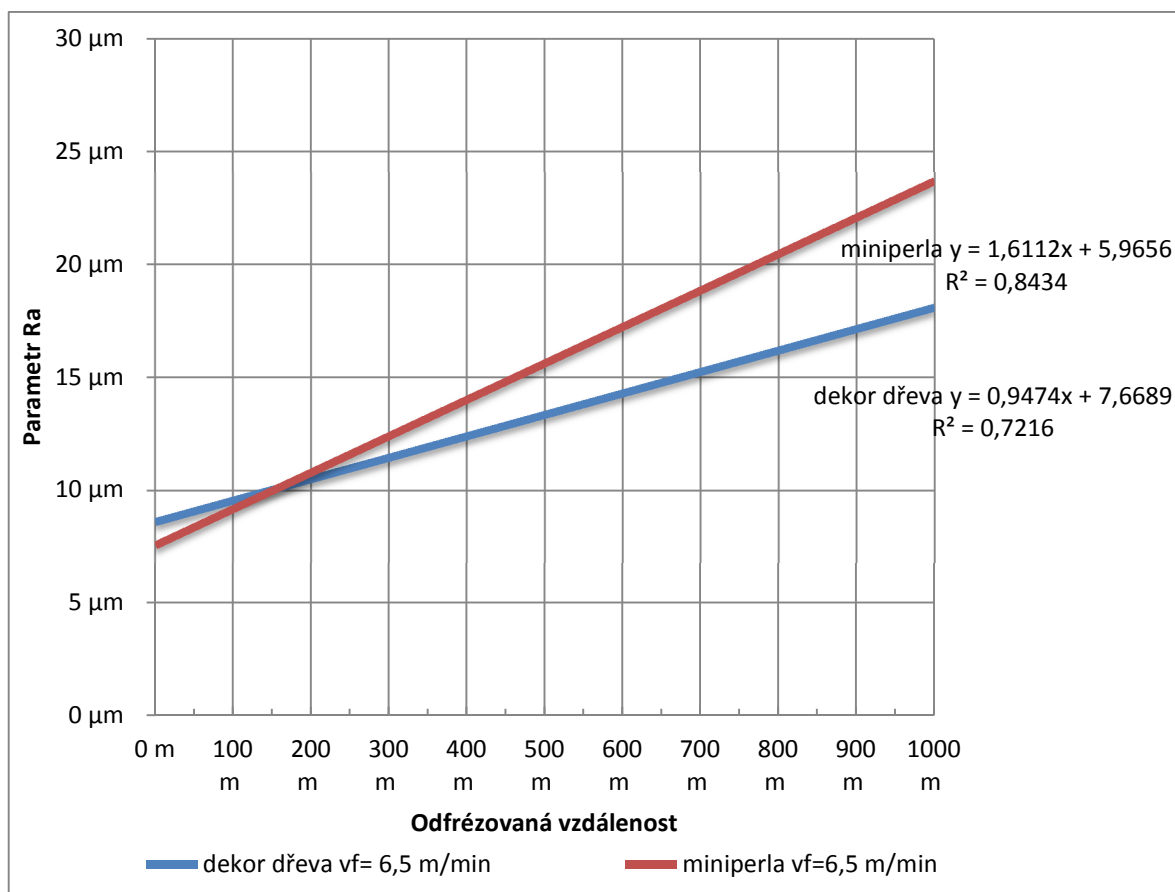
Graf 6. jasně potvrzuje, závěry z prvního grafu, a to že nejvyšší hodnoty drsnosti dle parametru Ra lze očekávat u materiálu miniperla a nejnižší pak u materiálu hladká 2B. Výsledky jasně matematicky vyjadřuje rovnice lineární regrese. Vývoj drsnosti pro ostatní materiály, které nebyly na první pohled tak patrné z předešlého grafu, lze seřadit dle směrnice přímky. První neočekávaný výsledek vykazuje materiál hladká 1A, který dosahoval vyšších hodnot drsnosti než hladká 1B, přičemž hladká 1B byl frézován vyšší posuvnou rychlostí než hladká 1A. Rozdíl mezi průměry drsností pro jednotlivé posuvné

rychlosti činní 8,4% v neprospěch nižšího posuvu. Tento rozdíl lze pro naši zkoumanou vzdálenost zanedbat, neboť zmíněných 8,4% představuje změnu drsnosti v řádu 1 $\mu$ m. Jmenovitě sestupně lze zkoumané materiály dle parametru Ra seřadit následovně: miniperla, hladká 1A, dekor dřeva, hladká 1B, hladká 2A, hladká 2B.



**Graf 6 Očekávaný vývoj parametru Ra dle lineární regrese pro materiály zkoumané do 800 m.**

Graf 7 ukazuje očekávaný lineární vývoj parametru Ra pro materiál dekor dřeva a miniperla. Opět je zde evidentní, že materiál miniperla vykazuje vyšší míru drsnosti než dekor dřeva. Z grafů 5, 6, 7 lze vyvodit, že očekávaná rapidní změna míry drsnosti může nastat při obrábění nad 1000 m.

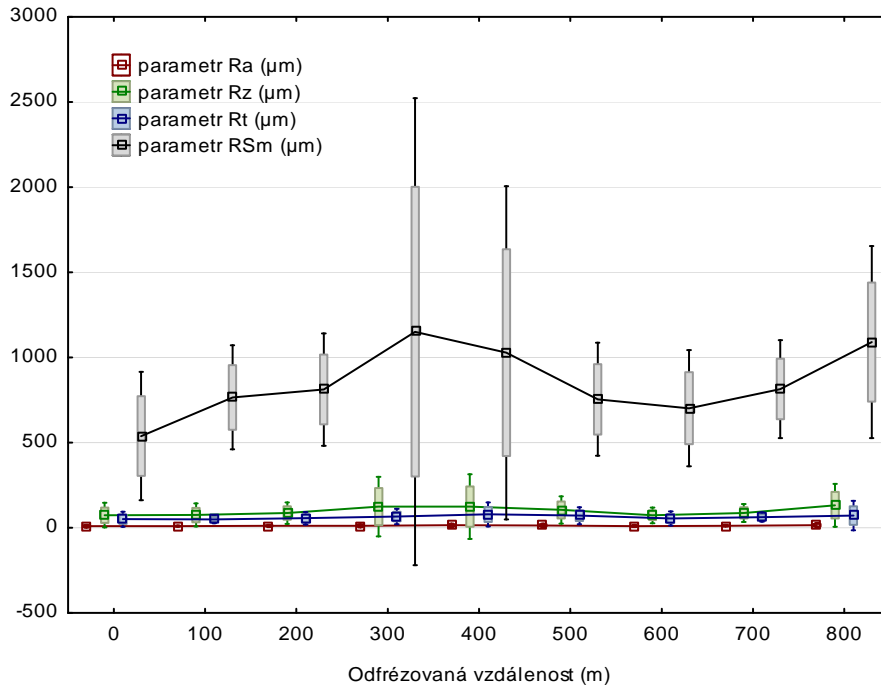


**Graf 7 Očekávaný vývoj parametru Ra dle lineární regrese pro materiály zkoumané do 1000 m**

Následující krabicové grafy zobrazují jednotlivé parametry drsnosti pro všechny typy desek a všechny posuvné rychlosti. První 4 grafy zobrazují 4 zkoumané typy desek, které byly obrobena stejnou posuvnou rychlostí  $v_f=6,5$  m/min. Poslední dva grafy jsou věnovány rozdílným posuvným rychlostem materiálu hladká 1 a hladká 2. Krabice grafů ukazují interval spolehlivosti 0,95 a svorky pak zobrazují rozsah směrodatné odchylky. Průměr je vyobrazen kostičkou uprostřed krabice.

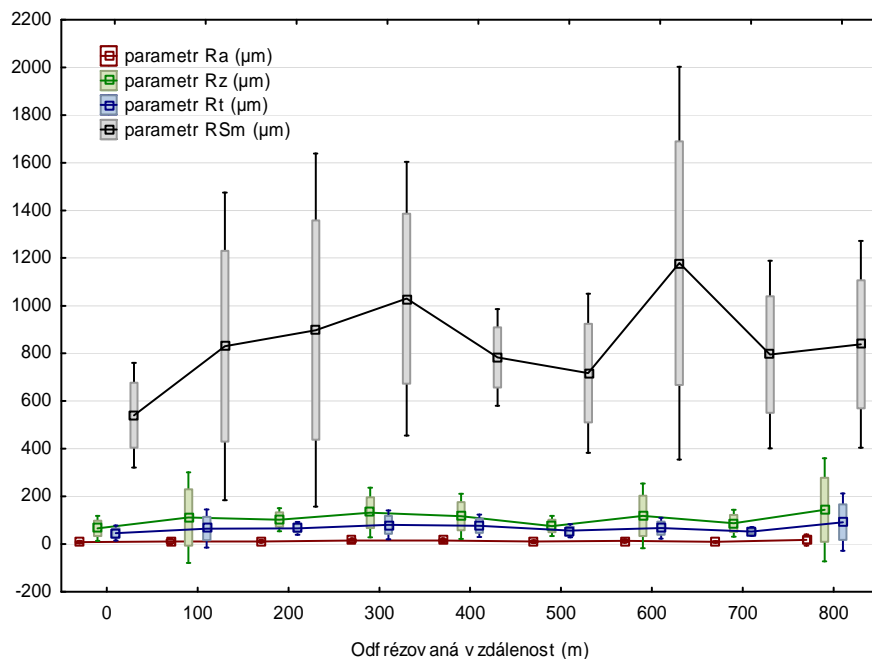
Graf na další straně zobrazuje jednotlivé parametry pro typ desky hladká 1A, která byla obráběná standardní střední doporučenou posuvnou rychlostí  $v_f=6,5$  m/min. Z rozsahu svorek směrodatné odchylky i velkého rozsahu intervalu spolehlivosti lze usoudit, že jednotlivě naměřené úseky se od sebe sice liší, avšak křivka spojující jednotlivé průměry jasně ukazuje, že se drsnost nevyvíjí úměrně odfřezované vzdálenosti. Z toho důvodu se závislost míry drsnosti na námi stanovené délce nepotvrdila ani pro jeden ze zvolených parametrů.





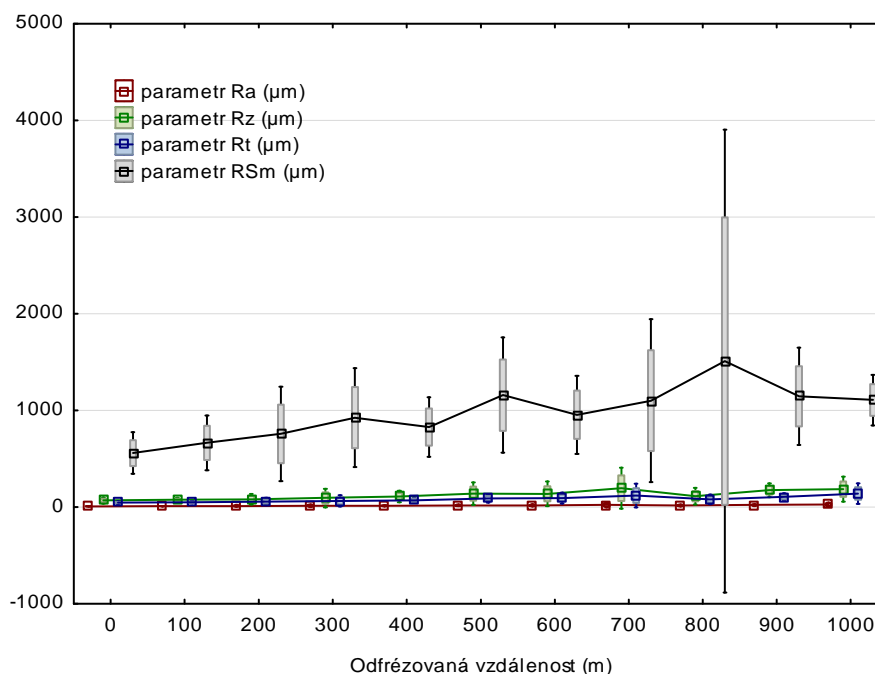
**Graf 8** Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 1A

Všechny parametry drsnosti pro materiál hladká 2A zobrazuje graf níže. Stejně jako předchozí graf byl tento graf vygenerován programem Statistica 12. Bohužel jak je z grafu vidět, žádný z parametrů nevykazuje enormní zvýšení hodnot v závislosti na odfrézované délce, a tak i pro materiál hladká 2A můžeme říci, že nebyla jednoznačně odhalena závislost na obrobené délce.



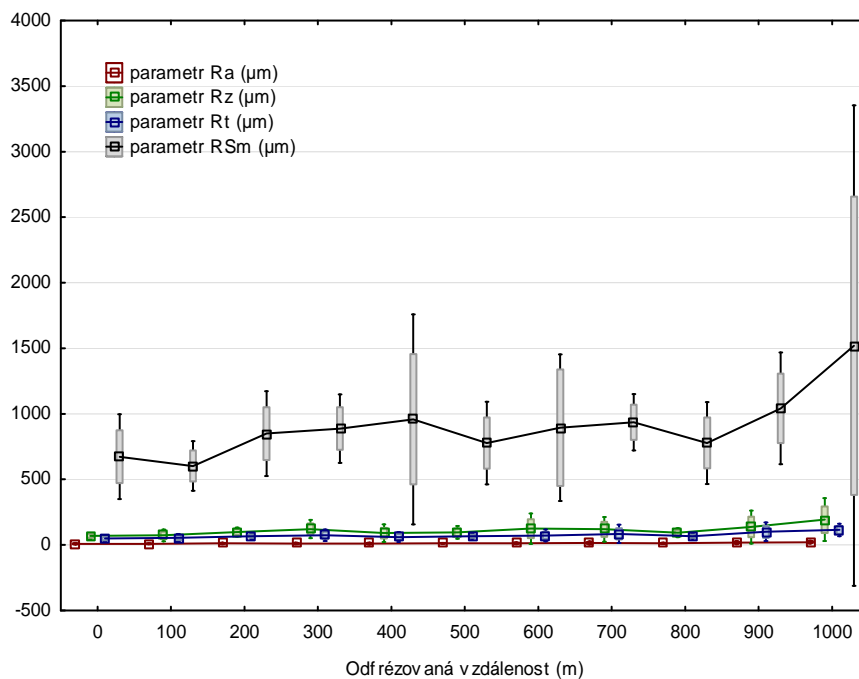
**Graf 9** Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 2A

Další graf zobrazuje jednotlivé parametry drsnosti pro desku miniperla. Jak je z grafu vidět, určitý vývoj v měření hodnot drsnosti v závislosti na měřené délce se projevil pouze u parametru RSm. Ostatní parametry vykazovaly hodnoty podobně kolísající, jako u materiálu hladká 1, či hladká 2.



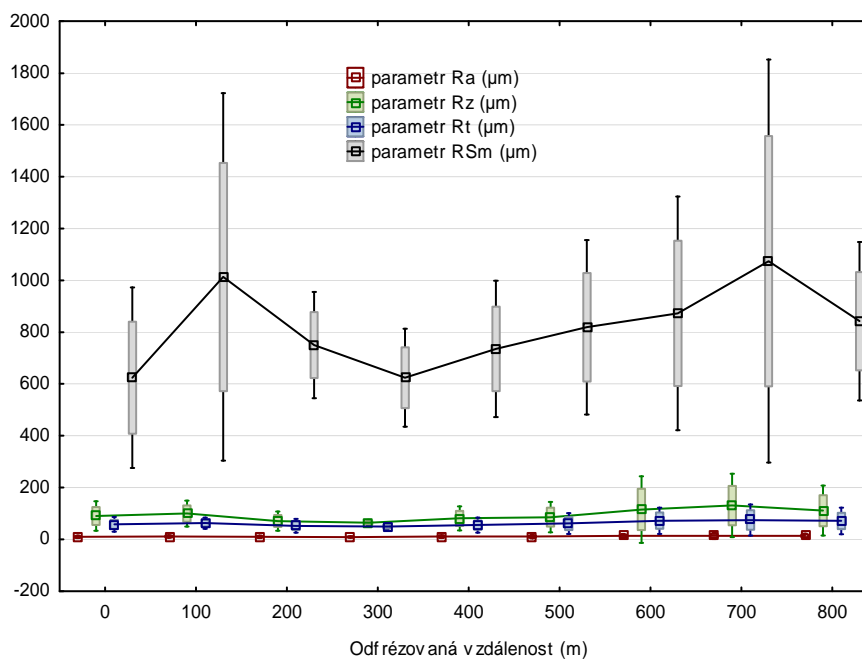
**Graf 10** *Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál miniperla*

Stejných výsledků jako u předchozího materiálu miniperla bylo dosaženo i při podrobení zkoumání u typu desky dekor dřeva. Z tohoto grafu a z grafu předchozího je patrné, že dekor dřeva a miniperla otupují ostří nástroje trochu jiným způsobem než předchozí dvě lamina, a tak dochází i k odlišným vývojem parametrů drsnosti. Z propojení průměrných hodnot však nemůže jasně vyvodit závislost vývoje drsnosti na obrobené délce.



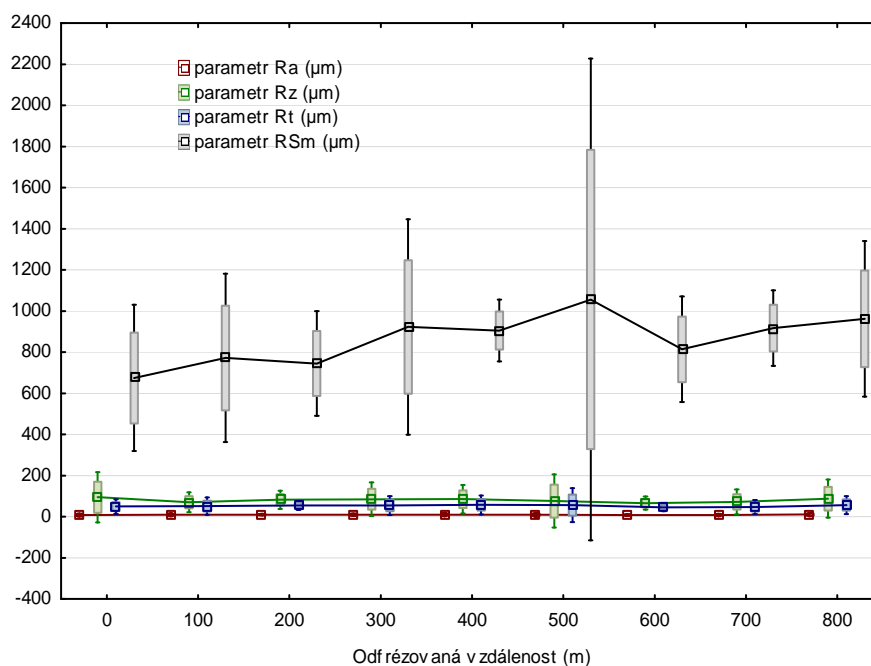
**Graf 11 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál dekor dřeva**

Předposlední graf zobrazuje hodnoty parametrů drsnosti pro desku hladká 1B. U této desky byla oproti předchozím materiálům použita posuvná rychlost 7,7 m/min. Ve srovnání se stejným typem desky obroběným nižší posuvnou rychlostí  $v_f = 6,5$  m/min bylo zjištěno, že se drsnost liší pouze u parametru RSm a Rz. Tento výsledek může být přičten zvýšené posuvné rychlosti a zvýšení tak kolísání parametru RSm i Rz.



**Graf 12 Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 1B**

Poslední graf zobrazuje materiál hladká 2B. Tento materiál byl obroben sníženou posuvnou rychlostí 5,2 m/min, neboť oproti hladké 2A při předchozím obrábění vykazoval již na první pohled větší podíl vyštipání. Bohužel ani tento graf neukázal významný vývoj parametrů drsnosti Ra, Rt, Rz, RSm v závislosti na obrobené vzdálenosti. Navíc lze oproti předchozím hodnotám v porovnání s materiálem hladká 2A obrobeným posuvnou rychlostí  $v_f=6,5$  m/min pozorovat snížení jejich hodnot, z čehož vyplývá snížení drsnosti díky snížení posuvné rychlosti.



**Graf 13** Jednotlivé parametry drsnosti pro materiál hladká 2B

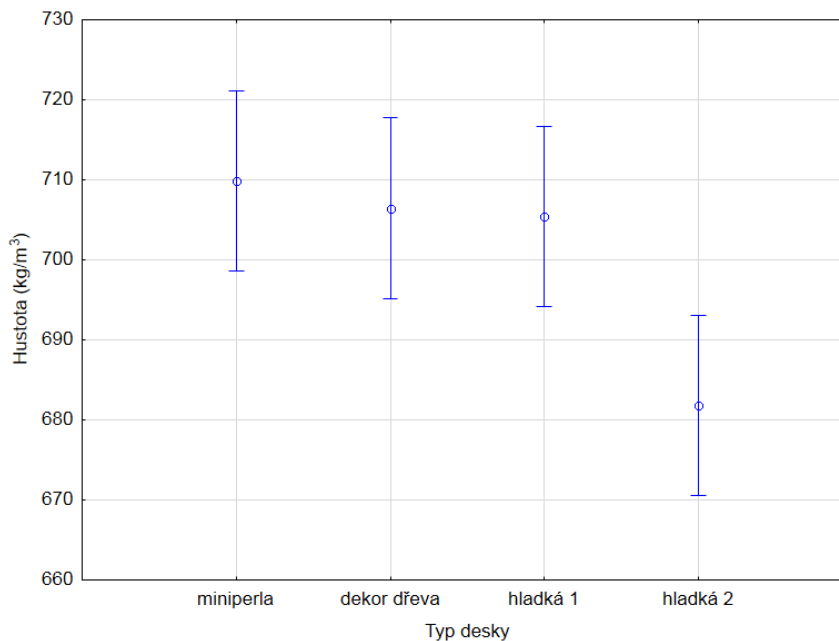
### 5.2.2 Hustota

Výsledky z měření pro zjišťování hustoty jednotlivých desek zaznamenává tabulka níže. Význam jednotlivých sledovaných parametrů byl vysvětlen na začátku kapitoly. Vyhodnocení naměřených výsledků proběhlo podle příslušné normy ČSN EN 323. Výsledky byly zaznamenány s přesností na 3 desetinná místa, tak jak požaduje příslušná norma.

**Tab. 11** Výsledky měření hustoty a popisné statistické ukazatele

Typ desky	Průměr (kg/m <sup>3</sup> )	Medián (kg/m <sup>3</sup> )	Minimum (kg/m <sup>3</sup> )	Maximum (kg/m <sup>3</sup> )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
miniperla	709,816	706,116	603,626	763,267	35,52	5,00
dekor dřeva	706,460	706,969	675,575	729,512	13,74	1,94
hladká 1	705,421	701,631	655,110	759,407	27,67	3,92
hladká 2	681,788	678,402	608,522	752,586	31,65	4,64

Pro zjištění odlišnosti hustoty jednotlivých desek byl použit vícenásobný Tukeyův HSD provedený v programu Statistica 12. Tento test se pohybuje na hladině významnosti 0,95. Graf níže zobrazuje výsledek naměřených hodnot. Vertikální sloupce v grafu označují interval 0,95 spolehlivosti.



**Graf 14 Výsledky měření hustoty**

Tukeyův HSD vícenásobný srovnávací test ukázal, že hodnoty hustoty pro materiál miniperla, dekor dřeva a hladká 1 se vzájemně od sebe statisticky neliší. To neplatí pro materiál hladká 2, který dle testu vykazuje významnou statistickou odlišnost od všech materiálů. Jmenovitě od miniperly  $p=0,004$ ; dekoru dřeva  $p=0,014$  a od hladké 1  $p=0,020$ . Prakticky lze k tomuto přikládat důraz, neboť celková odštěpená plocha u hladké 2 byla nejnižší v porovnání s ostatními materiály.

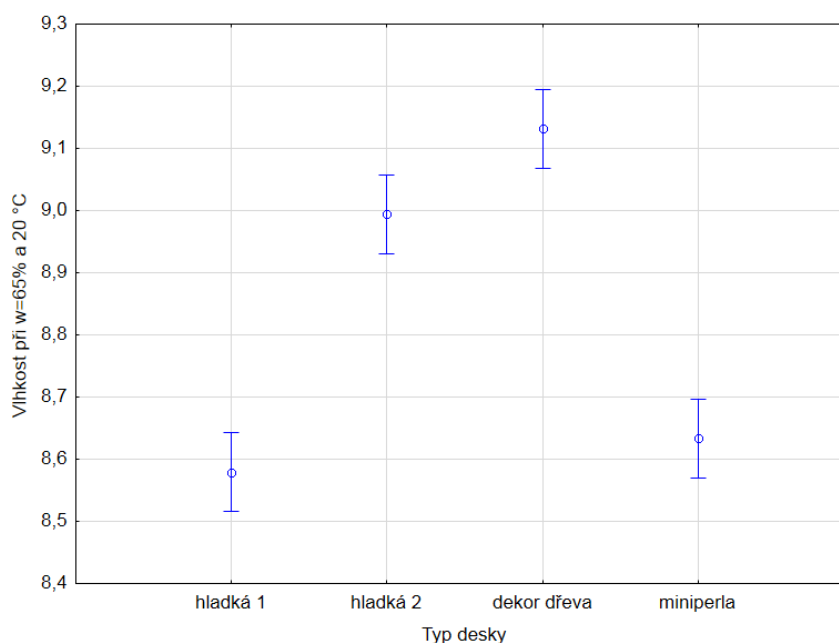
### 5.2.3 Vlhkost

Výsledky z měření zjišťování vlhkosti jsou zaznamenány v tabulce níže. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny dle ČSN EN 322. Výsledky byly dle normy zaznamenány s přesností na jedno desetinné místo.

**Tab. 12 Výsledky měření vlhkosti a popisné statistické ukazatele**

Typ desky	Průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
hladká 1	8,6	8,6	8,3	8,9	0,1	1,7
hladká 2	9,0	9,0	8,5	9,3	0,2	2,1
dekor dřeva	9,1	9,1	8,9	9,4	0,1	1,4
miniperla	8,6	8,7	8,2	8,9	0,2	2,0

Výsledky naměřených hodnot jsou vyobrazeny v grafu níže. Pro statistické vyhodnocení dat byl použit stejný typ analýzy rozptylu jako u předchozí zkoušky, Tukeyův HSD vícenásobný srovnávací test.



**Graf 15 Výsledky měření vlhkosti**

Zmíněný test analýzy rozptylu ukázal, že hladká 1 se významně statisticky liší od hladké 2 ( $p=0,000$ ) a i dekoru dřeva ( $p=0,000$ ), avšak není významně odlišná od typu miniperla ( $p=0,624$ ). Hladká 2 je dle testu statisticky odlišná od všech dalších typů, a to platí i pro dekor dřeva. Jedinou statisticky nevýznamnou odlišností se vykazuje hladká 1 s miniperlou. Z naměřených hodnot vykazovala nejnižší vlhkost hladká 1, jejíž hrana byla hodnocena jako nejlépe obrobena. To samé však nelze říci o miniperle, která se vždy pohybovala mezi nejhůře obroběnými. Z tohoto důvodu lze tvrdit, že naměřené vlhkosti neměly zásadní vliv na kvalitu obrobění jednotlivých typů desek.

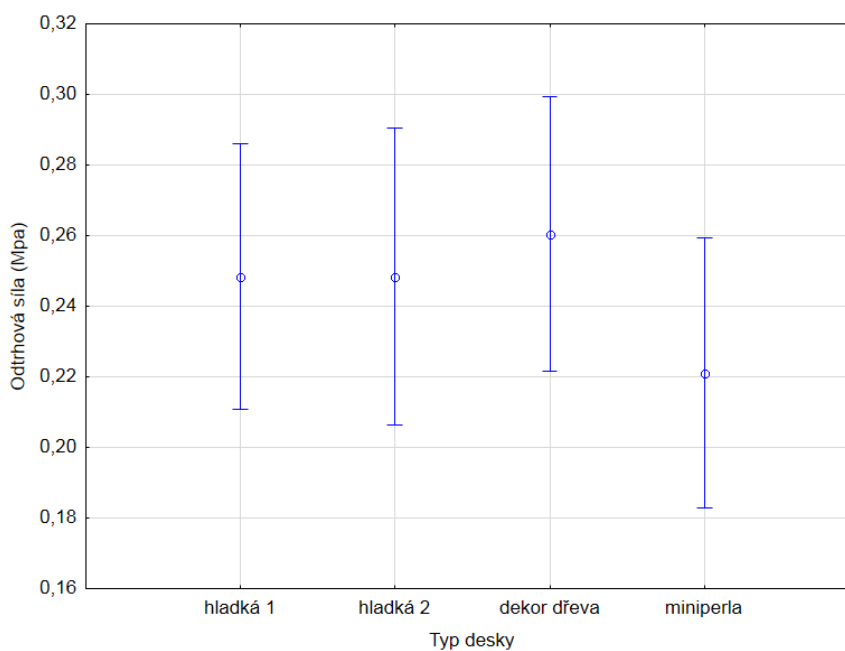
#### 5.2.4 Přídržnost povrchu

Vyhodnocení naměřených hodnot probíhalo opět dle příslušné normy, konkrétně dle ČSN EN 311. Výsledky naměřených hodnot jsou v tabulce níže. Tabulka navíc ukazuje vybrané parametry popisné statistiky.

**Tab. 13 Výsledky měření odtrhové pevnosti a popisné statistické ukazatele**

Typ desky	Průměr (Mpa)	Medián (Mpa)	Minimum (Mpa)	Maximum (Mpa)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
hladká 1	0,25	0,23	0,09	0,52	0,12	46,79
hladká 2	0,25	0,25	0,10	0,41	0,09	37,41
dekor dřeva	0,26	0,25	0,12	0,54	0,11	43,79
miniperla	0,22	0,19	0,09	0,44	0,09	39,41

Pro vyjádření podobnosti jednotlivých naměřených hodnot pro zkoumaný materiál byla opět použita analýza rozptylu, jako u předchozích měření. Graf níže zobrazuje výsledky měření a vertikální sloupce určují interval spolehlivosti 0,95.



**Graf 16 Výsledky měření odtrhové síly**

Dle Tukeyova HSD testu se přídržnost laminace na jednotlivých deskách vzájemně statisticky neliší. Konkrétně od hladké 1 se hladká 2 neliší při  $p=1,00$ ; pro dekor dřeva  $p=0,971$  a miniperlu  $p=0,744$ .

### 5.2.5 Odštěpování laminace

Hodnocení odštěpování laminace bylo experimentální, protože zatím neexistuje žádná norma věnující se hodnocení laminace po obrobení stopkovou frézou CNC stroje. Z naměřených hodnot byly vyřazeny odštěpky mající plošnou míru pod  $0,2 \text{ mm}^2$ , neboť jsou tak malé, že je nelze počítat jako vadu. Základní grafy vyjadřující vývoj míry odštěpování byly vytvořeny z dat součtů jednotlivých odštěpků na danou odfrézovanou vzdálenost. Tabulka níže zobrazuje plochu odštěpků dle materiálu a odfrézované délky.

**Tab. 14 Plocha odštěpků v závislosti na materiálu a obrobené vzdálenosti**

	dekor dřeva	miniperla	hladká 1A	hladká 2A	hladká 1B	hladká 2B
0 m	1,32 mm <sup>2</sup>	0,76 mm <sup>2</sup>	0,00 mm <sup>2</sup>	0,57 mm <sup>2</sup>	0,00 mm <sup>2</sup>	9,17 mm <sup>2</sup>
100 m	3,99 mm <sup>2</sup>	1,72 mm <sup>2</sup>	3,51 mm <sup>2</sup>	15,42 mm <sup>2</sup>	3,26 mm <sup>2</sup>	2,13 mm <sup>2</sup>
200 m	13,56 mm <sup>2</sup>	15,97 mm <sup>2</sup>	8,06 mm <sup>2</sup>	2,86 mm <sup>2</sup>	7,63 mm <sup>2</sup>	17,11 mm <sup>2</sup>
300 m	19,15 mm <sup>2</sup>	28,12 mm <sup>2</sup>	9,05 mm <sup>2</sup>	19,86 mm <sup>2</sup>	9,15 mm <sup>2</sup>	13,35 mm <sup>2</sup>
400 m	29,56 mm <sup>2</sup>	24,23 mm <sup>2</sup>	7,02 mm <sup>2</sup>	24,53 mm <sup>2</sup>	7,87 mm <sup>2</sup>	40,31 mm <sup>2</sup>
500 m	37,57 mm <sup>2</sup>	56,41 mm <sup>2</sup>	33,21 mm <sup>2</sup>	14,58 mm <sup>2</sup>	34,07 mm <sup>2</sup>	7,89 mm <sup>2</sup>
600 m	43,03 mm <sup>2</sup>	60,72 mm <sup>2</sup>	36,99 mm <sup>2</sup>	19,12 mm <sup>2</sup>	34,47 mm <sup>2</sup>	15,64 mm <sup>2</sup>
700 m	103,82 mm <sup>2</sup>	44,61 mm <sup>2</sup>	51,80 mm <sup>2</sup>	22,40 mm <sup>2</sup>	57,99 mm <sup>2</sup>	32,64 mm <sup>2</sup>
800 m	74,81 mm <sup>2</sup>	70,59 mm <sup>2</sup>	93,78 mm <sup>2</sup>	75,33 mm <sup>2</sup>	75,13 mm <sup>2</sup>	46,19 mm <sup>2</sup>
900 m	117,38 mm <sup>2</sup>	78,78 mm <sup>2</sup>				
1000 m	105,69 mm <sup>2</sup>	64,12 mm <sup>2</sup>				

Z uvedených dat je patrné, že pro většinu materiálů nastal v určité obrobené délce zásadní zlom ve výměře odštěpené laminace. Pro dekor dřeva nastal vyšší nárůst odštěpené plochy až při 700. metru. Odštěpená plocha se lišila až o 240 % od předchozího 600. metru. U materiálu miniperla byl zlom stanoven pro 500. metr, kdy nárůst odštěpené plochy byl téměř 230 %. U materiálu hladká 1A byl největší skok v míře odštěpení po 400. odfrézovaném metru, kdy následující 100. metr odštěpení stoupl cirka o 470 %. Materiál hladká 2 zaznamenal největší míru odštěpení po 700. metru, kdy došlo k nárůstu následujícího měřeného úseku plochy odštěpení o 336 %. Hladká 1B zaznamenala největší nárůst odštěpení po 400. metru obrobení, kdy následující měřený úsek zaznamenal hodnotu vyšší o 432% oproti předchozímu. Materiál hladká 2B měl jednotlivé hodnoty odštěpení velice nevyrovnané, avšak při započtení obrobené délky nejnižší plochu odštěpení. Největší zlom u tohoto materiálu nastal při třístém metru, kdy následující stý metr zaznamenal zvýšení o 301 %.



Ze závislosti vizuálního hlediska a plochy odštěpení obrobené hrany nesměla odštěpená plocha tabulkově přesáhnout 25 mm<sup>2</sup> na hodnocený vzorek. Toto kritérium splnily následující materiály v následujících metrech: dekor dřeva do 300 metrů, miniperla do 200 metrů, hladká 1A do 400 metrů, hladká 2A do 700 metrů, přičemž výsledky jednotlivých úseků od 400. metru kolísaly pod hranicí 25 mm<sup>2</sup>, hladká 1B do 400 metrů, hladká 2B do 300 metrů, přičemž pětistý a šestistý metr tomuto kritériu také vyhověl. V zásadě lze říci, že lamino si vysokou kvalitu udrželo cca do 300-400 metrů obrobené délky, bez ohledu na různou posuvnou rychlost.

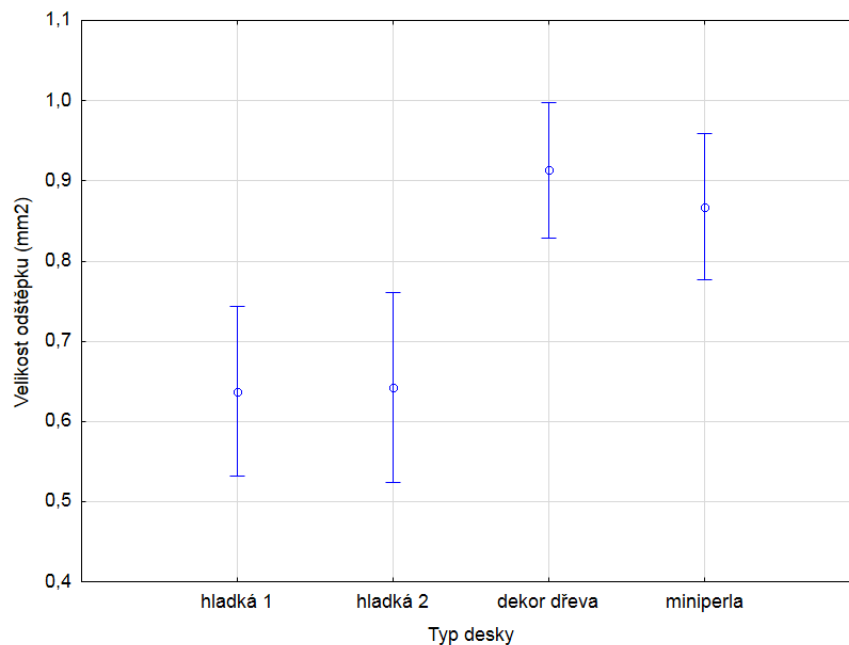
Tabulka níže ukazuje celkovou plochu odštípení bez ohledu na to, při jakém metru bylo odštěpení největší. Z kalkulace byl vyjmut 900. a 1000. metr materiálu miniperla a dekor dřeva, tak aby posouzení plochy zůstalo směrodatné.

**Tab. 15 Celková plocha odštěpení na hodnoceném úseku po 800 metrech obrobení**

dekor dřeva	miniperla	hladká 1A	hladká 2A	hladká 1B	hladká 2B
615,60 mm <sup>2</sup>	559,69 mm <sup>2</sup>	466,22 mm <sup>2</sup>	350,63 mm <sup>2</sup>	439,10 mm <sup>2</sup>	327,10 mm <sup>2</sup>

Z tabulky je na první pohled patrné, který materiál se nejvíce odštěpoval. Seřazeno sestupně: největší plochu odštěpení na 800 metrů obrobené délky vykazoval dekor dřeva, poté miniperla, následovaná hladkou 1A a hladkou 1B, nejnižší míru odštěpení pak zaznamenal celkově materiál hladká 2AB, vůbec nejnižších hodnot odštípaní pak dosáhla deska s nejnižší posuvnou rychlostí.

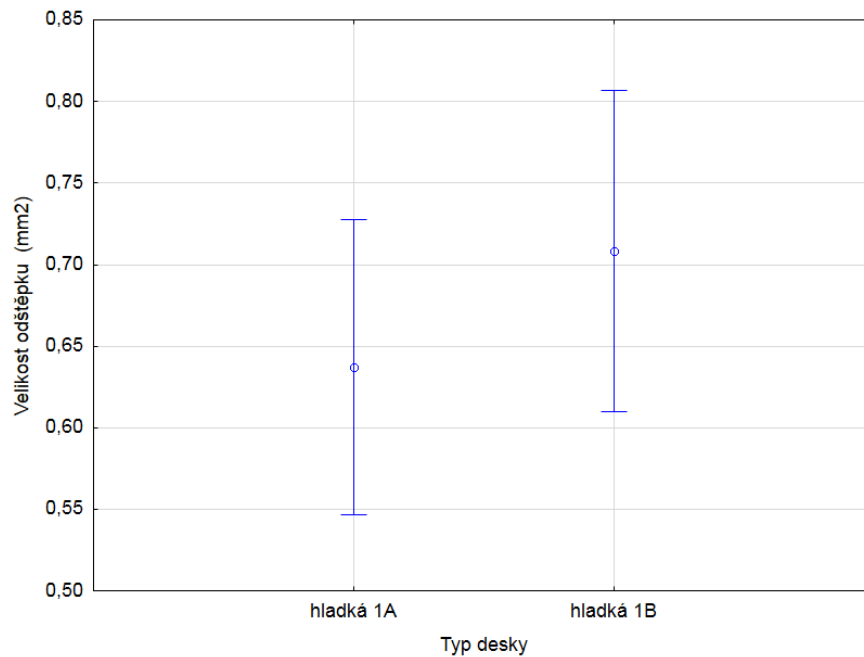
Změna posuvné rychlosti at' již směrem dolů, či nahoru měla na odštěpení pozitivní vliv. V obou případech došlo k mírnému snížení odštípané plochy. Odlišnost odštípané plochy podle typu materiálů byla ověřena dle analýzy rozptylů, konkrétně Tukyeva HSD vícenásobného srovnávacího testu.



**Graf 17** Analýza rozptylu odštěpané plochy jednotlivých typů desek při posuvné rychlosti 6,5 m/min

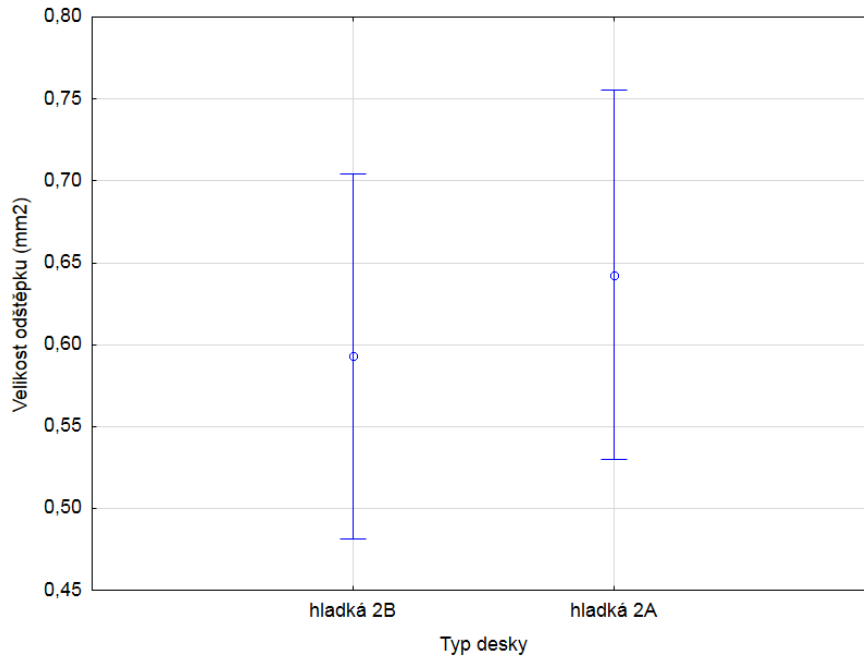
Na hladině významnosti 0,95 se hladká 1A od hladké 2A statisticky neliší při hodnotě  $p=0,999$ , avšak statisticky se hladká 1A a hladká 2A liší od dekoru dřeva i miniperly. Konkrétně hladká 1 od dekoru při  $p=0,000$  a od miniperly při  $p=0,006$  a hladká 2 od dekoru  $p=0,001$  a miniperly  $p=0,016$ . Dekor dřeva se od miniperly významně statisticky neliší při  $p=0,888$ .

Dále byly podrobeny analýze rozptylu i materiály hladká 1A,1B a hladká 2A,2B, aby se zjistilo, zda mělo změnění posuvné rychlosti statistický význam na odštěpenou plochu.



**Graf 18 Analýza rozptylu odštěpené plochy hladká 1 při dvou posuvných rychlostech**

Dle Tukeyova HSD testu se odštěpená plocha obrobené desky posuvnou rychlostí  $v_f= 6,5$  a  $v_f= 7,7$  m/min od sebe významně statisticky neliší a to při hodnotě  $p=0,295$ . Nicméně průměrná odštěpená plocha u hladké 2B klesla o 6,72 %.

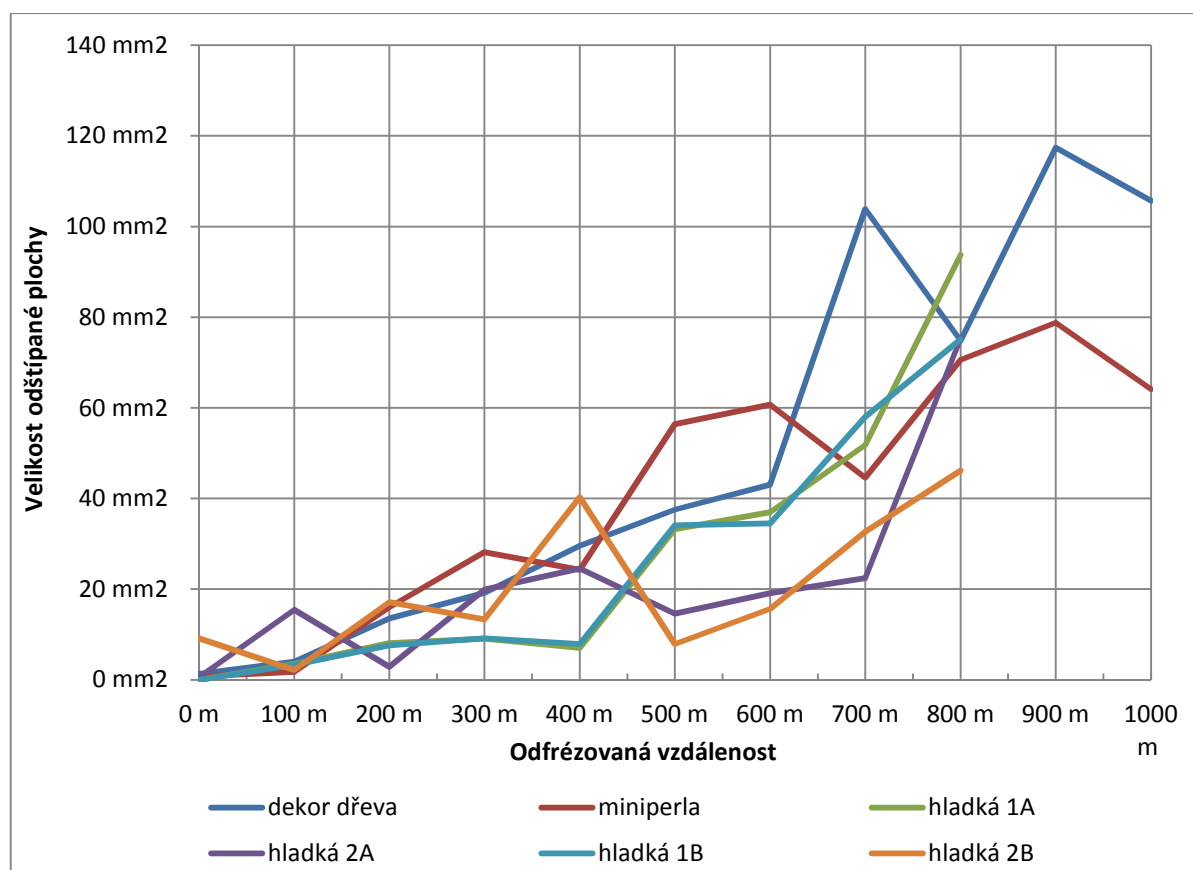


**Graf 19 Analýza rozptylu odštěpené plochy hladká 2 při dvou posuvných rychlostech**

Dle Tukeyova HSD testu jsou tyto dva materiály statisticky závislé a neliší se tak významně od sebe navzájem na hladině významnosti 0,95. Hodnota parametru  $p= 0,540$ .

Následující tabulka níže byla sestrojena z údajů celkové odštěpené plochy pro daný úsek a materiál. Do jednotlivých úseků nebyly započítány vady menší než 0,2 mm<sup>2</sup> včetně. Pro sestrojení toho grafu byla vyloučena možnost analýzy jednotlivých úseků na jednom vzorku. Graf by sice mohl ukazovat o něco málo přesnější regresní přímkou, avšak pro názornou ukázkou vývoje plochy odštěpků by graf neukázal téměř nic. Proto naprosto postačí analyzovat plochu pro jednotlivý vzorek a ofrézovaný úsek.

Materiál dekor dřeva je obroben uspokojivě bez větších odštěpků do vzdálenosti 300 metrů, čemuž by odpovídal údaj 25 mm<sup>2</sup> na 50 centimetrů hodnocené hrany. Rapidní nárůst odštěpení je pozorován až od 600 stého metru obrobení, kde dosahuje hodnoty až 1 cm<sup>2</sup> na 50 cm hodnocené hrany.



**Graf 20** Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce

Lamino v úpravě miniperla po vizuálním zhodnocení nevyhovovalo standardní kvalitě obrobení již při dvoustém metru, protože třístý metr vykazoval jeden větší odštěpek, který tabulkově tento typ desky vyřadil z kvalitně obrobených desek hned ze začátku.

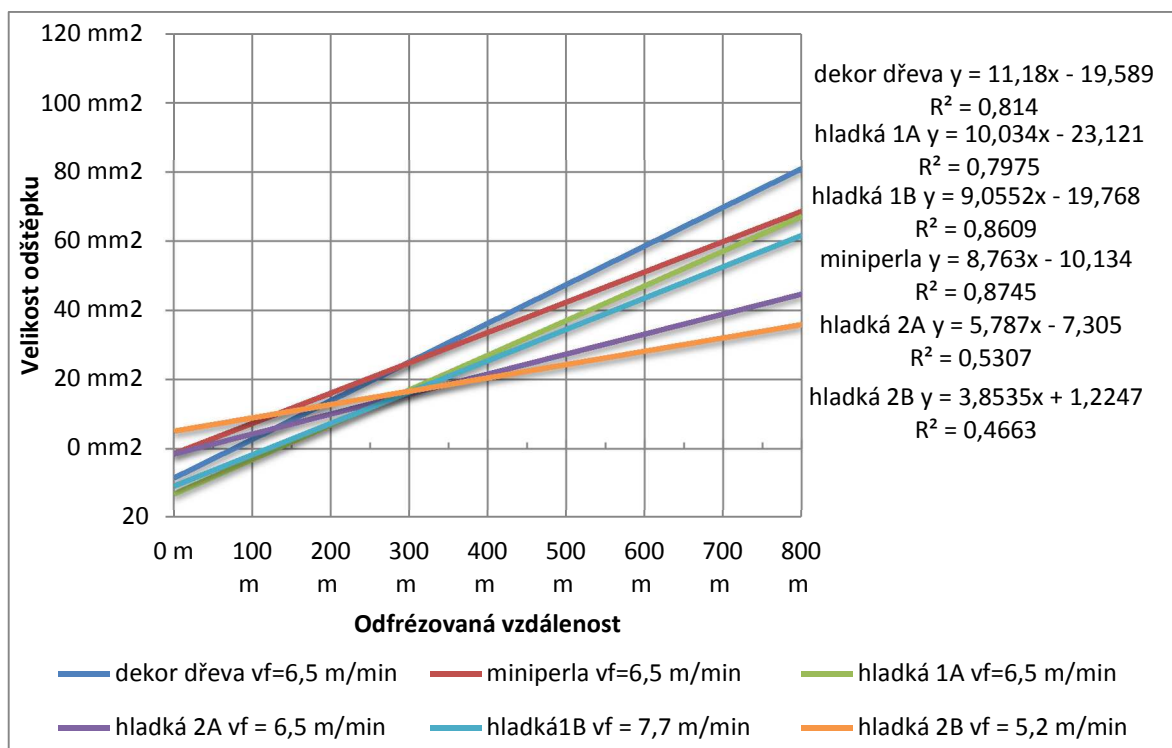
Deska hladká 1A byla po vizuální kontrole dobře obrobena do čtyřtého metru, což odpovídá i datům v tabulce, kde mez 25 mm<sup>2</sup> vyštípané plochy dosahuje až metr 500.

Hladká 1B vykazovala v zásadě stejnou míru odštěpení jako hladká 1A a tak, lze se spolehlivostí říci, že zvýšení posuvné rychlosti nemělo zásadní vliv na kvalitu obrobění.

Lamino Hladká 2A opticky vykazovalo mírné odštípení již od dvoušlého metru, přičemž tato hodnota nepřesahovala mez 25 mm<sup>2</sup> na hodnocenou plochu až do sedmistého metru.

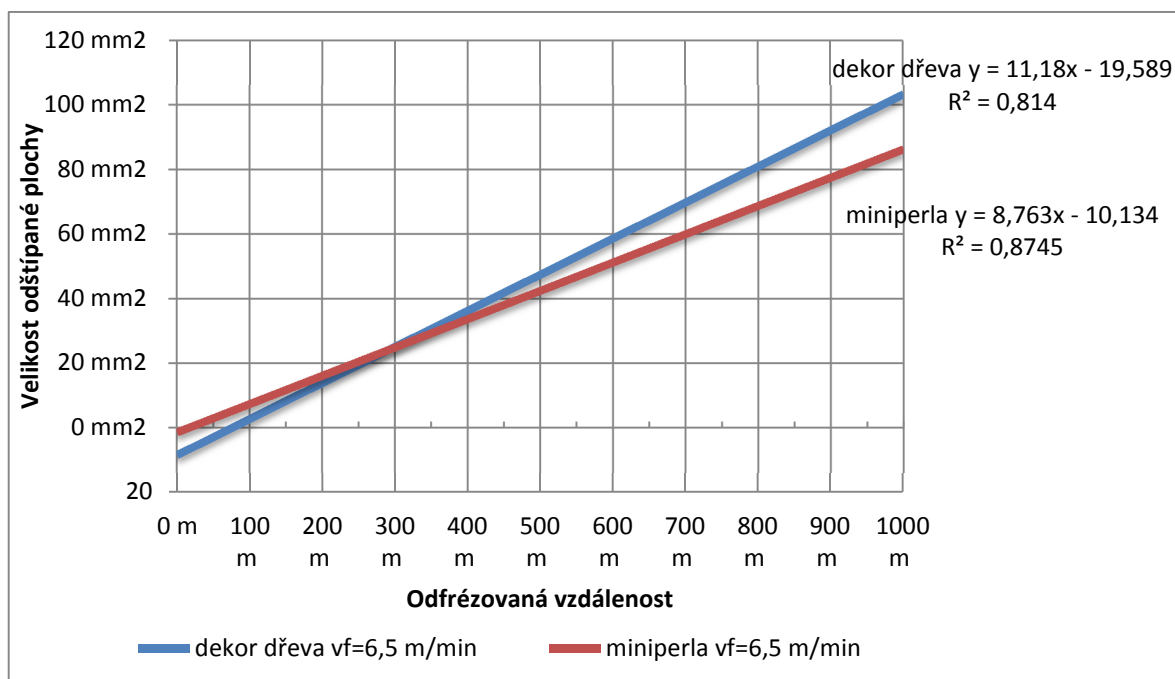
Hladká 2B po vizuální kontrole se s většími obtížemi dala považovat za dobře obrobenu do třítého metru. U čtyřtého metru byl pozorován enormní nárůst odštípené plochy, který další stý metr opět klesl a kolísal až do sedmistého metru, kde znovu jako u čtyřtého metru překročil hranici odštěpené plochy 25 mm<sup>2</sup>. Tento materiál měl nejnižší plochu odštípení, avšak četnost odštěpků byla vyšší než u ostatních druhů.

Tabulka níže nám ukazuje regresní lineární přímku při hodnocení plochy odštěpku do vzdálenosti 800 metrů, kdy bylo do hodnocení zahrnuto celkové vyštípaní v závislosti na obrobené délce. Pro naše hodnocení nás nejvíce zajímá úsek cirká okolo 300 metrů obrobené hrany, kde se nachází hlavní průsečíky jednotlivých lineárních regresí. Z uvedené části grafu tak jasně vyplývá, že desky s nejkvalitněji obrobenu plochou byly následující, seřazeno od nejlépe obrobené po nejhůře obrobenu: hladká 1A, hladká 1B, dekor dřeva, hladká 2A a miniperla a hladká 2B.



**Graf 21 Regresní přímky pro vývoj odštěpené plochy jednotlivých typů materiálů a dané posuvné rychlosti**

Následující tabulka nám zřetelně ukazuje, že materiál miniperla je do třístého metru hůře obroben, než materiál dekor dřeva, avšak kvalita obrobené hrany v závislosti na obrobené délce je u materiálu miniperla vyšší. Toto chování lze pozorovat i u materiálu hladká 2B, který hned ze začátku vykazoval lehce horší obrobení ze začátku, které si však i po 300. metru relativně udržel, zato plocha vyštípení u materiálu hladká 1A i B začala stoupat strměji. Jednotlivé koeficienty determinace nám jasně ukazují spolehlivost vývoje dat při jejich nahrazení přímkou. Tj. v případě materiálu dekor dřeva je závislost velikosti odštěpené plochy na odfrézované vzdálenosti regresní rovnicí vysvětlena z 81% a miniperla dokonce z 87 %.



**Graf 22 Regresní přímky pro vývoj odštěpené plochy typů materiálů obroběných do 1000 metrů**

Následující tabulky uvádí jednotlivé hodnoty odštípení a zvolené statistické ukazatele.

**Tab. 16 Hodnoty odštěpování laminace pro posuvnou rychlost  $v_f = 5,2$  m/min**

Odfřezované metry	Typ desky	Průměr (mm <sup>2</sup> )	Medián (mm <sup>2</sup> )	Maximum (mm <sup>2</sup> )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 2B	0,48	0,25	3,23	0,82	168,98
100	hladká 2B	0,18	0,00	1,32	0,40	223,71
200	hladká 2B	0,71	0,33	4,26	1,02	142,74
300	hladká 2B	0,42	0,24	2,05	0,59	142,05
400	hladká 2B	0,92	0,37	8,00	1,50	163,76
500	hladká 2B	0,46	0,00	4,52	1,11	238,30
600	hladká 2B	0,38	0,00	4,93	0,91	237,45
700	hladká 2B	0,56	0,38	3,21	0,64	114,19
800	hladká 2B	0,72	0,41	5,99	1,05	145,87

**Tab. 17 Hodnoty odštěpování laminace pro posuvnou rychlost  $v_f = 6,5$  m/min**

Odfřízované metry	Typ desky	Průměr (mm <sup>2</sup> )	Medián (mm <sup>2</sup> )	Maximum (mm <sup>2</sup> )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	hladká 1	0,29	0,11	0,99	0,39	134,59
200	hladká 1	0,54	0,38	2,15	0,70	130,35
300	hladká 1	0,57	0,30	2,67	0,77	136,30
400	hladká 1	0,25	0,00	1,79	0,44	174,02
500	hladká 1	0,41	0,20	2,75	0,62	152,16
600	hladká 1	0,54	0,37	2,18	0,57	104,96
700	hladká 1	0,58	0,47	2,68	0,55	95,31
800	hladká 1	1,40	0,99	6,40	1,28	91,10
0	hladká 2	0,10	0,00	0,57	0,23	244,95
100	hladká 2	0,53	0,27	3,87	0,80	149,96
200	hladká 2	0,16	0,00	0,78	0,28	177,42
300	hladká 2	0,62	0,38	2,88	0,76	121,83
400	hladká 2	0,66	0,29	4,78	1,03	155,82
500	hladká 2	0,58	0,42	2,28	0,63	108,13
600	hladká 2	0,49	0,00	3,31	0,82	167,93
700	hladká 2	0,53	0,34	2,82	0,68	126,89
800	hladká 2	1,00	0,57	10,24	1,48	147,53
0	dekor dřeva	0,26	0,00	1,32	0,59	223,61
100	dekor dřeva	0,23	0,00	0,96	0,33	138,72
200	dekor dřeva	0,37	0,00	1,73	0,50	135,62
300	dekor dřeva	0,48	0,24	2,39	0,65	134,74
400	dekor dřeva	0,49	0,30	3,36	0,65	132,78
500	dekor dřeva	0,96	0,64	6,91	1,31	135,54
600	dekor dřeva	0,69	0,42	7,32	1,07	154,28
700	dekor dřeva	1,15	0,67	5,37	1,22	105,99
800	dekor dřeva	0,80	0,52	4,79	0,87	109,64
900	dekor dřeva	1,57	1,15	5,47	1,32	84,58
1000	dekor dřeva	1,27	0,84	6,35	1,37	107,23



Odfrezované metry	Typ desky	Průměr (mm <sup>2</sup> )	Medián (mm <sup>2</sup> )	Maximum (mm <sup>2</sup> )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	miniperla	0,13	0,00	0,76	0,31	244,95
100	miniperla	0,16	0,00	0,53	0,22	143,07
200	miniperla	0,52	0,23	4,67	0,94	182,68
300	miniperla	0,78	0,49	3,62	0,87	110,84
400	miniperla	0,50	0,30	2,76	0,61	120,50
500	miniperla	0,88	0,58	8,64	1,25	141,28
600	miniperla	0,81	0,44	5,90	1,03	127,13
700	miniperla	0,81	0,55	3,98	0,85	105,19
800	miniperla	1,02	0,67	8,70	1,29	126,44
900	miniperla	1,36	0,80	7,96	1,61	118,30
1000	miniperla	1,05	0,71	5,08	1,14	108,03

*Tab. 18 Hodnoty odštěpování laminace pro posuvnou rychlost  $v_f = 7,7$  m/min*

Odfrezované metry	Typ desky	Průměr (mm <sup>2</sup> )	Medián (mm <sup>2</sup> )	Maximum (mm <sup>2</sup> )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	hladká 1B	0,30	0,21	0,89	0,36	122,45
200	hladká 1B	0,45	0,22	2,03	0,62	137,92
300	hladká 1B	0,46	0,23	2,37	0,70	153,70
400	hladká 1B	0,26	0,00	1,80	0,42	161,61
500	hladká 1B	0,57	0,33	2,72	0,70	123,67
600	hladká 1B	0,56	0,41	2,95	0,58	104,79
700	hladká 1B	0,89	0,46	6,48	1,26	141,41
800	hladká 1B	1,39	0,86	5,62	1,34	96,10

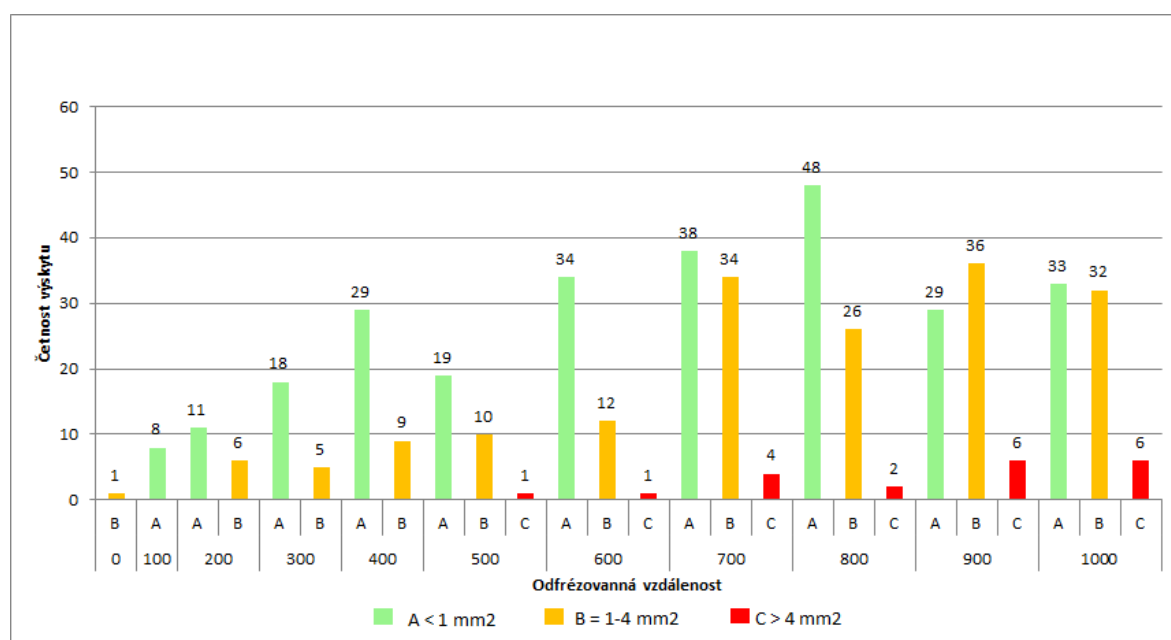
Pro přiblížení charakteru jednotlivých typů odštěpků rozdělených dle výměry bylo vymodelováno 6 sloupcových grafů, které zobrazují tři kategorie odštípané plochy pro každý hodnocený úsek a materiál. Tyto grafy názorně popisují charakter odštípání jednotlivých typů desek v závislosti na obrobené délce. Jak už bylo vysvětleno v předchozím textu, odštěpky s výměrou do 0,2 mm<sup>2</sup> včetně byly vyřazeny z hodnocení kvality laminace, protože jsou tak miniaturní, že mají skoro zanedbatelný vliv na kvalitu obrobené hrany. Navíc je odštěpek této velikosti i okem špatně viditelný a při dokončení hrany ABS hranou jsou odštěpky do této výměry zality lepidlem a splynou tak s linkou lepidla a jejich identifikace je po olepení hranou takřka nemožná.

Jednotlivé hodnoty pro odštěpky typu A, B, C byly zvoleny následovně. Odštěpek do 1 mm<sup>2</sup> je přípustný, pokud je hrana následně olepena ABS hranou, či není na pohledové

straně. Odštěpky v rozmezí 1-4 mm<sup>2</sup> jsou již okem rozeznatelné na první pohled, a tak jsou pro kvalitu přípustné jen v opravdu nízkém počtu a při výměře blížíící se spodní hranici. Zbytek větších odštěpků, které jsou pro kvalitu již naprosto nepřijatelné, byl zařazen do kategorie nad 4 mm<sup>2</sup>. Pro lepší pochopení dat je dobré nahlížet do tabulky č. 14.

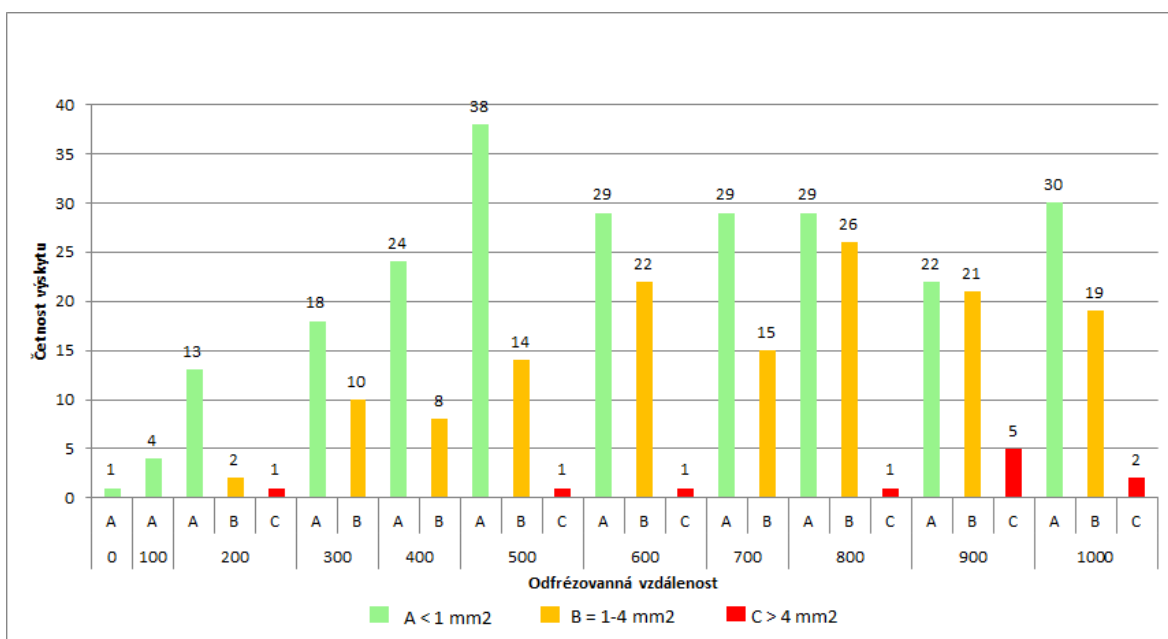
Navíc je pro správnou interpretaci dat velice důležité sledovat celkovou plochu odštípení pro daný úsek a počet výskytů daného typu vady. Jelikož se může stát, že nebude překročena hranice odštípané plochy 25 mm<sup>2</sup> na sledovaný úsek, ale bude výskyt například 7 odštěpků s plochou lehce pod 4 mm<sup>2</sup>, je takto obrobená hrana již nepřijatelná. Z tohoto důvodu je nutné nahlížet na celkovou odštípenou plochu a počet typů odštěpků. Pro názornost a představu velikosti odštěpků dobře poslouží obrázek č. 25.

Graf níže zobrazuje jednotlivé druhy odštěpků pro materiál dekor dřeva v závislosti na obrobené délce. Při vizuální kontrole s nahlížením do dat, bylo stanoveno, že dobře obrobená hrana byla do 300. metru, který nepřekročil plochu odštěpků 25 mm<sup>2</sup>, 400. metr plochou odštěpků mírně překračoval stanovenou hranici 25 mm<sup>2</sup>, avšak kvalita této obrobené hrany byla pro horší aplikace ještě použitelná. Hranice 10 odštěpků typu B byla na základě toho vizuálního zhodnocení stanovena jako hraniční. Při 500. metru, jak graf naznačuje, byl již zpozorován odštěpek nad 4 mm<sup>2</sup>. Takto obrobená hrana nemůže být použita na pohledové dílce. Navíc i přípustná míra odštěpku typu B dosahuje počtu 10 ks. Při 1000. metru byl již počet odštěpků typu B i C naprosto nepřijatelný.



**Graf 23 Druhy odštěpků v závislosti na obrobené délce pro dekor dřeva**

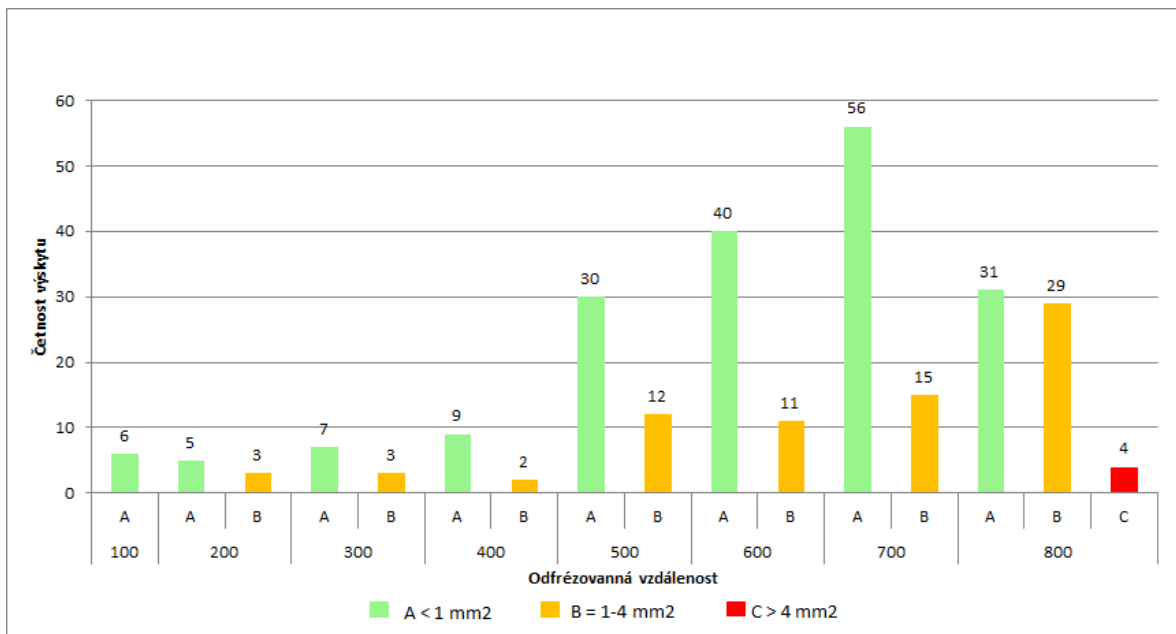
Další graf je věnován materiálu miniperla. Tento materiál byl po dekoru dřeva druhým materiálem s největší odštěpenou plochou, a jak graf dole napovídá, již při 200. m došlo k odštípení laminace většího jak  $4 \text{ mm}^2$ , což mělo za následek zobrazení vyšší plochy odštěpku pro daný úsek, i když hrana byla dobře obrobena. Na vině mohla být větší povrchová tříska, která způsobila tak velký odštěpek hned při 200. metru, kdy nástroj je otupený ještě relativně málo. Další hodnocený úsek 300. m vykazoval již hraniční hodnotu odštěpků typu B, kdy došlo k lehkému překročení stanovené hranice součtu odštěpků  $25 \text{ mm}^2$ . Následující čtyřtý metr sice nedosáhl tak vysokého počtu odštěpků typu B jako přechází úsek, avšak četnost odštěpků A byla celkem 24, což pro daný povrch po vizuální stránce dodává dojem již ne zrovna kvalitně obrobene hrany. Z toho důvodu byla stanovena hranice 20 odštěpků do  $1 \text{ mm}^2$ , jako únosná mez pro zhodnocení kvality jako únosné. Pětistý metr již vykazoval vysoký počet odštěpků A i B a dokonce se naskytl i jeden typu C mající větší výměru než  $4 \text{ mm}^2$ . Zbytek obrobenejch metrů byl již pro užití na kvalitní nábytkové dílce nepřijatelný.



**Graf 24** Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobenej délce pro miniperlu

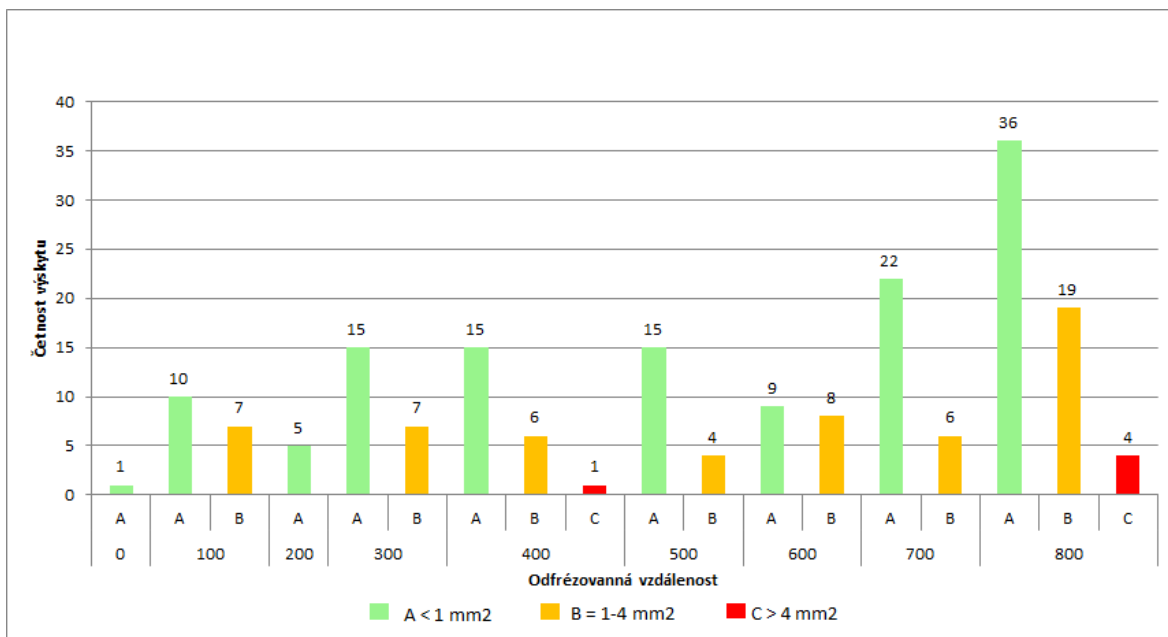
Další graf ukazuje vývoj druhů odštěpků u materiálu hladká 1, označeného příponou A mající značit první použitou posuvnou rychlost  $v_f = 6,5 \text{ m/min}$ . Tento materiál vykazoval vůbec nejlepší obrobění v nejdelší vzdálenosti. Jak je vidět z grafu níže, velikosti odštěpků A i B nepřesáhla námi stanovená kritéria do vzdálenosti 400 metrů.

Následující 500. metr překročil obě kritéria přípustných odštěpků, a tak je hodnocen jako nekvalitně obrobený.



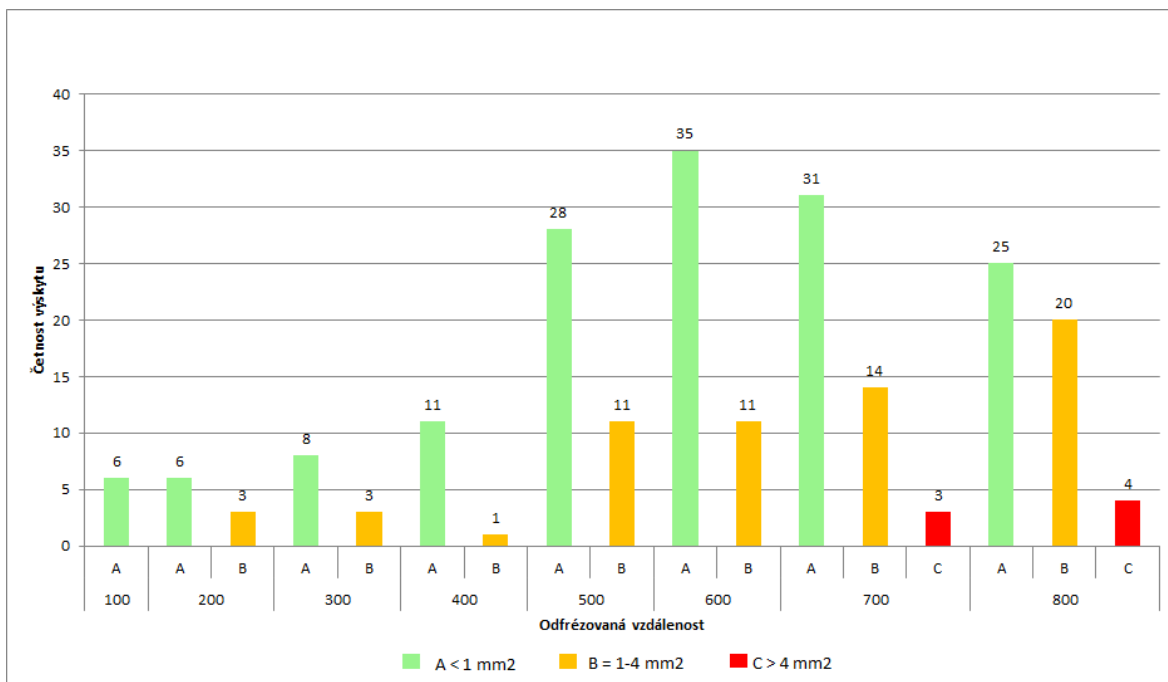
**Graf 25 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro hladká 1A**

Posledním typem materiálu obrobeného posuvnou rychlostí  $v_f = 6,5$  m/min byl typ hladká 2A. U tohoto materiálu byla zpozorována zvýšená četnost přípustných odštěpků typu A i B, kdy navíc došlo při čtyřstém metru k odštípení větší než  $4 \text{ mm}^2$ . Pětistý a 600. metr již sice nepřesáhl stanovenou hranici výměry odštěpků, avšak stejně nemůže být kvalitně hodnocen, neboť daná plocha pro nízký počet výskytu vady B je znakem toho, že tyto vady byly již u horní hranice  $4 \text{ mm}^2$ . Z tohoto důvodu je také nutno při hodnocení kvality obrobení přihlížet k celkové výměře odštěpků na zjištěný počet, jak již bylo vysvětleno dříve. Ostatní metry byly obrobeny již v nízké kvalitě s vyšším výskytem druhů vad, jak bylo stanoveno v předchozím textu.



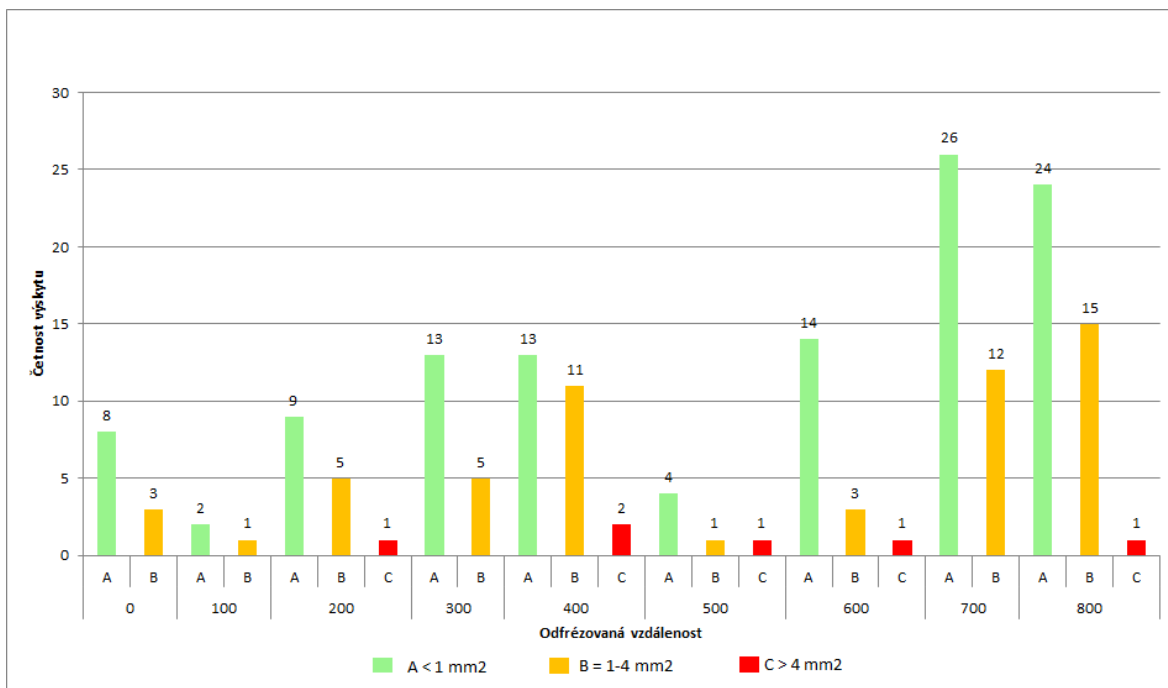
**Graf 26** Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro hladká 2A

Předposledním grafem zobrazující četnost určitých druhů vad je graf zobrazující materiál hladká 1B, který byl obroben posuvnou rychlostí 7,7 m/min. Dle zjištěných údajů, se posuvná rychlost nijak zvlášť nepromítla na výměře odštěpků, avšak lze pozorovat zvýšenou četnost vad A. V zásadě se zvýšená rychlost nijak negativně promítla na obrobenou hranu, a tak lze s jistotou říci, že zvýšení posuvné rychlosti nemělo na kvalitu hrany zásadní vliv.



**Graf 27 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobené délce pro hladká 1B**

Posledním hodnoceným typem desky byla hladká 2B obrobená posuvnou rychlostí 5,2 m/min. U této desky byl pozorován opravdu netradiční vývoj odštěpané plochy, neboť tento materiál při 500. metru vykazoval odštěpanou plochu pouze 7,89 mm<sup>2</sup>. Tento výkyv hodnot lze přisoudit nesprávnému uchycení desky na pracovní stůl, či povolení vakuové přísavky, která mohla zapříčinit, že se materiál vyhnul ze standardní obrobené roviny, a tak byl materiál obroben neztupeným ostřím nástroje. Z uvedených tabulkových hodnot však lze vyzorovat sníženou odštěpenou plochu laminace. Z uvedeného grafu lze následně vyčíst, že při 200. úseku byla zpozorována vada nad 4 mm<sup>2</sup>, což můžeme opět přičíst větší tříšce v povrchové vrstvě desky.



**Graf 28 Vývoj velikosti odštěpené plochy v závislosti na obrobene délce pro hladká 2B**

Dle velikosti odštěpené plochy bylo prokázáno, že snížení posuvné rychlosti z 6,5 na 5,2 m/min, tedy v rámci hodnot doporučení výrobce nástroje, nemělo zásadní vliv na odštěpenou plochu, a tím i na kvalitu obrobene hrany.

## 6 Diskuze

### 6.1 Odštěpování laminátu

V této diplomové práci byly zkoumány 4 různé druhy laminované dřevotřískové desky. Nejprve byly všechny 4 typy obrobena jednou posuvnou rychlostí 6,5 m/min a po vizuálním zhodnocení hladké 1 a hladké 2, pro které byl dostatek dalších desek pro další zkoumání, byly posuvné rychlosti změněny dle míry odštěpání. Pro lamino hladká 1, které na první pohled jevílo nižší procento vyštípané hrany, než lamino hladká 2 byla posuvná rychlost zvýšena na 7,7 m/min. A pro lamino hladká 2 byla naopak posuvná rychlost snížena na 5,2 m/min.

Takto zvolené odlišné rychlosti byly opět vyvozeny z tabulky pro výpočet posuvné rychlosti dodané výrobcem nástroje. Dané hodnoty se odvíjí od výrobcem stanovené ideální spodní a horní meze posuvné rychlosti. Dle analýzy rozptylů nebyla zjištěna statistická významná odlišnost plochy odštěpání obou typů při změně posuvné rychlosti na krajní meze. Tento výsledek lze přičíst doporučeným posuvným rychlostem, které výrobce stanovil nejspíše tak, aby posuvná rychlost neměla zásadní vliv na obrobění materiálu. Aby byla zjištěna statisticky významná odlišnost odštěpené plochy jednoho druhu lamina obroběného různými posuvnými rychlostmi, muselo by se lamino nejspíše podrobit posuvným rychlostem za hranici doporučení výrobce.

I když se obě na dvakrát obrobená lamina na statistické významové hladině 0,95 výrazně nelišila, byla u materiálu hladká 2B zjištěna nižší odštěpená plocha než u hladké 2A obrobenou vyšší posuvnou rychlostí. Konkrétně hladká 2A měla celkovou vyštípanou plochu 350,63 mm<sup>2</sup> a hladká 2B obrobená nižší posuvnou rychlostí pak 327,1 mm<sup>2</sup>, což se rovná poklesu odštěpané plochy celkem o 6,72%. Naopak hladká 1A (466,22 mm<sup>2</sup>) obrobená nižší posuvnou rychlostí měla vyštípanou plochu větší oproti zvýšené posuvné rychlosti u hladké 1B (439,10) o 5,82 %. Tyto malé rozdíly ve výsledcích lze přičíst zvoleným doporučeným rychlostem, které jsou, jak již bylo zmíněno výše, výrobcem doporučeny nejspíše tak, aby kvalita obrobění příliš nekolísala.

Navíc při pohledu do tabulky zobrazující celkovou odštěpenou plochu hladké 2B je patrné, že odštěpená plocha značně kolísala, a to zejména u 500. metru. Tuto odlišnost si lze vysvětlit nesprávným opětovným uchycením na pracovní stůl CNC stroje a obroběním tak hodnocené hrany ostřím, které ještě nebylo v záběru.



Nejvyšší míru odštěpení vykazoval materiál dekor dřeva, který však byl obráběn z technických důvodů kolmo na směr fiktivních vláken, a tak je možno přičíst vyšší míru odštěpení právě zvolenému směru obrábění. Z technického hlediska by však směr obrábění neměl mít na kvalitu hrany vliv.

Materiál miniperla měl po vizuální stránce nejhůře obrobenou hranu, avšak statisticky i naměřenými hodnotami se laminace odštípávala o něco méně než u dekoru dřeva. Tento dojem může být způsobem bílým povrchem, a tak se oproti do hněda zbarvenému dekoru odštěpky jeví daleko znatelnější.

Odlišná míra odštípání hladké 1 a hladké 2 od materiálu miniperla a dekor dřeva byla statisticky potvrzena. Miniperla a dekor dřeva se však statisticky významně neliší, a tak lze tuto odlišnost přičíst jinému použitému dekoračnímu papíru, konkrétně jiné gramáži použité pryskyřice či papíru.

Stanovené hranice odštípání, pro jednotlivé typy vad popsané v závěru výsledků hodnocení laminace, byly zvoleny experimentálně a mohou být modifikovány dle přání zákazníka či výrobce. Tato rozmezí byla zvolena tak, aby co nejvíce vystihla druh odštípení, který je podle autorova názoru již nepřijatelný. Názory ostatních lidí se však můžou různit, a proto autor zdůrazňuje, že takto zvolené hranice jsou pouze výsledkem subjektivního dojmu. Navíc je velice důležité přihlížet k celkové odštěpené ploše pro daný počet vad a pomocí základních matematických operací vypočíst průměrnou plochu odštěpku na stanovenou plochu a zjistit tak, do jaké části intervalu odštípení se průměrná plocha odštěpku pro daný úsek pohybuje. Je tedy naprosto jasné, že kvalitně obrobená hrana bude mít odštěpků co nejméně v co nejmenší ploše.

Pro tuto práci byla plocha odštěpku zvolena jako parametr pro hodnocení kvality obrobené hrany, jelikož DDL nespécifikovalo parametr hodnocení. Ze zhotovených fotografií a dalších naměřených dat však lze ještě analyzovat znovu další parametr odštěpků, například šířku odštěpků a stanovit tak i pro tento parametr přípustnou četnost a míru přípustné šířky odštěpku.

## **6.2 Drsnost obrobené hrany**

Pro každý typ zkoumaného materiálu byla změřena i drsnost povrchu v úseku mikrotřísky cca 0,5 mm pod povrchem laminace. Byly určeny všechny nejvíce používané parametry drsnosti Ra, Rt, Rz, RSm a bylo dokázáno téměř u všech typů obrobení a typů

desek, že míra drsnosti nemá přímou závislost s obrobenou délkou. Toto lze však snadno vyvrátit, při obrobení desek dále za námi stanovenou vzdálenost. Z naměřených výsledků pro tuto práci lze potvrdit, že obrobená vzdálenost 800 i 1000 m není dostatečná na to, aby byla potvrzena závislost drsnosti na obrobené vzdálenosti. V případě statisticky odlišných hodnot parametrů bylo z grafu jasně viditelné, že jednotlivé hodnoty kolísaly podobně v celé obrobené délce, a proto nelze říci, že drsnost lze pozorovat dle obrobené vzdálenosti

Například pro parametr  $R_a$  bylo pomocí regresní analýzy lineární spojnice trendu zjištěno, že ve vzdálenosti 1000 metrů lze očekávat změnu tohoto parametru pouze cca o 15  $\mu\text{m}$ , což nelze hodnotit jako významnou změnu. Bylo však dokázáno, že drsnost povrchu klesá se snižující se posuvnou rychlostí.

### **6.3 Vlhkost desek**

Pro všechny 4 materiály byla zjištěna relativní vlhkost, která by mohla eventuálně ovlivnit obráběcí podmínky, a tak i odštěpování laminátu. Bylo zjištěno, že hladká 1 a miniperla se od sebe významně statisticky neliší, a tak může být vlhkost pro porovnání odštěpování laminátu u těchto dvou typů zanedbána. Dekor dřeva i hladká 2 se pak od všech materiálů významně statisticky liší, a tak lze tento faktor při porovnávání s ostatními materiály u těchto dvou typů započítat jako významný, a to i od sebe navzájem. Tuto rozdílnost lze připočítat různé míře schopnosti pohlcovat vzdušnou vlhkost a to zejména kvůli odlišnému použitému dekoračnímu papíru, či nánosů lepidel. Nutno podotknout, že zkoumané desky byly opatřeny laminací z obou stran.

### **6.4 Hustota**

Výsledky měření ukázaly, že pouze hladká 2 je statisticky významně odlišná od všech ostatních zkoumaných materiálů, a tak pouze u toho materiálu může být hustota započítána jako jeden z faktorů odštípání laminace z dřevotřískové desky. Ostatní materiály se od sebe navzájem významně statisticky nelišily. Tato hodnota však může mít zásadní vliv na podmínky obrábění, neboť při obrábění materiálu s vyšší hustotou je zapotřebí i vyšší řezných sil a dochází i k většímu utupování ostří.

### **6.5 Přídržnost povrchu**

Měření ukázalo, že hodnoty přídržnosti povrchu se statisticky neliší jeden od druhého, a tak lze tuto vlastnost laminace při hodnocení odštípování zanedbat. Navíc je

tato veličina obtížněji měřitelná, neboť laminace k povrchu desky nedrží nijak zvlášť velkými silami (0,22 MPa na zkoumaný hříbek o průměru 20 mm), a tak může být toto měření ovlivněno větší chybou, způsobené nesprávnou manipulací s masivním měřicím zařízením.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout postup pro provozní hodnocení kvality laminace dřevotřískové desky. Pro obrábění byl stanoven referenční nástroj a byly navrženy parametry obrábění tak, aby byly při řezání dodrženy podmínky stanovené výrobcem nástroje. Zvoleným nástrojem byla stopková žiletková fréza s vyměnitelnými noži. Použité nože byly z nepovlakovaných slinutých karbidů, používající se dodneška stále nejčastěji pro obrábění materiálů na bázi dřeva. Zkoumání byly podrobeny 4 typy desek a to: dekor dřeva, miniperla, hladká 1 a hladká 2.

Pro hodnocení laminace byly stanoveny úseky měření na základě vědecký článků tak, aby hodnocení laminace mělo co největší smysl a získal se ucelený dojem z kvality obrobené hrany. Všechny zkoumané typy desek byly podrobeny přesnému měření odštípené plochy v závislosti na odfrézované vzdálenosti a byla tak stanovena odštěpená plocha hrany pro každý zkoumaný vzorek. Dle naměřených hodnot a vizuálního porovnání pak byla stanovena dovolená plocha odštípení v  $\text{mm}^2$  a také byl stanoven počet dovolených přípustných typů vad. Typy vad byly roztříděny dle změřené výměry a vizuálního porovnání okraje, z toho pak bylo stanoveno, který typ odštěpku je ještě přípustný, a který už nikoliv. Jednotlivé intervaly jsou experimentální a lze je modifikovat dle požadavků výrobce či zákazníků. Navržené přípustné vady a jejich četnost jsou výsledkem subjektivního rozhodnutí autora.

Stanovené hodnoty odštípání a příslušné typ vad jsou uvedeny ve výsledcích měření, podle kterých se výrobce může rozhodnout hodnotit své produkty. Výsledky této práce mohou být použity jako referenční hodnoty pro měření zkoušených typů laminace. Měření odštěpků může být provedeno pomocí softwaru, který byl použit pro tuto práci (nejpřesnější), či může být zvolen jiný způsob hodnocení vady hrany dle normy ČSN EN 14323 například pomocí šablony či pásového měřidla.

Navíc v této práci bylo měřeno ještě několik další veličin vztahující se k odštěpování laminátu a ovlivnění řezných podmínek. Z literární rešerše vyplynulo, že na změnu obráběcích podmínek může mít vliv vlhkost a hustota obráběného materiálu a na odštěpování laminátu ještě přídržnost povrchu. Výsledky měření jsou uvedeny v kapitole „Výsledky“.

Tato práce dokázala odlišnou míru odštěpování laminace v závislosti na typu desky. Změna posuvné rychlosti v rozmezí doporučených hodnot výrobce nástroje nebyla pro

hodnotu odštěpování statisticky významná, avšak lze s jistotou říci, že snížení posuvné rychlosti vede ke snížení drsnosti povrchu obrobení a i menšímu odštěpování laminátu. Zjištěné hodnoty pro zkoumané materiály a posuvné rychlosti jsou uvedeny v kapitole „Výsledky“. Z naměřených hodnot a vizuálního zhodnocení vyplynulo, že pro stanovené parametry obrábění a stanovený nástroj je možné bez výměny ostří lamina obrábět v dobré kvalitě cca do 300 m. Po delší obrobene vzdálenosti kvalita obrobene hrany výrazně klesá.

Byl navržen postup pro měření odštěpování laminace DTD hrany obráběné CNC strojem. Navíc dle změřených hodnot a jejich vyhodnocení lze hodnotit jednotlivé vyráběné typy lamina a stanovit tak, zda je zkoumaná výrobní dávka v rozmezí dovoleného odštěpování či ne. Jednotlivé typy vad a jejich rozsah můžou být dodatečně konzultovány s výrobcem. Nabízí se také možnost hodnotit desky za pomoci jiného parametru než je odštípená plocha, jako je například šířka vady zabíhající do materiálu.

## 8 Seznam literatury

**Bilík, Oldřich a Mádl, Jan. 2001.** *Trvanlivost břitu a provozní spolehlivost obráběcího nástroje.* Ústí nad Labem : Univerzita J.E.Purkyně, Ústí nad Labem, 2001. 80-7044-389-8.

**Böhm, M., Reisner, J. a Bomba, J. 2012.** *Materiály na bázi dřeva.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012. 978-80-213-2251-6.

**Bumbálek, B., Odvody, V. a Ošťádal, B. 1989.** *Drsnost povrchu.* Praha : SNTL Praha, 1989. 04-252-89.

**Cihelský, L a Souček, E. 2009.** *Základy statistiky.* Praha : Vysoká škola finanční a správní, 2009. 978-80-740-8013-5.

**Čížek, Jan. 1985.** *Vlastnosti a zpracování třískových a vláknitých desek.* Praha : SNTL Praha, 1985. 04-840-85.

**Deppe, H.J. 1988.** *MDF-Portät eines neuen Holzwerkstoffes für Möbelindustrie.* Vortrag : Deppe, H.J.: Portät eines neuen Holzwerkstoffes für Möbelindustrie, 1988.

**Hebák, P., a další. 2004.** *Vícerozměrné statistické metody.* Praha : Informatorium, 2004. 8073330253.

**Hruška, Vladislav. 1987.** *Obráběcí nástroje v dřevařském průmyslu. Nástroje na obrábění dřeva a nových hmot.* Ústí nad Labem : Dům techniky ČSVTS Ústí nad Labem, 1987.

**Humár, Anton. 2008.** *Materiály pro řezné nástroje.* Praha : MM publishing, 2008. 978-80-254-2250-2.

**Kolektiv. 1974.** *Wood Handbook: Wood as an engineering material.* Washington : US Dep. of Agriculture, 1974.

**Kollmann, Franz FP a CÔTÉ JR, Wilfred A. 1968.** *Principles of wood science and technology. vol. I. Solid Wood. In: Principles of Wood Science and Technology. Vol. I. Solid Wood.* Berlin : Springer-Verlag, 1968.

**Král, P. 2009.** *Obrábění dřevařských materiálů.* Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 978-80-7375-267-5.

**Král, Pavel. 2009.** *Obrábění dřevařských materiálů.* Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 978-80-7375-267-5.

**Lišičan, Jozef. 1988.** *Obrábanie a delenie drevných materiálov.* Zvolen : Vysoká škola lesnícká a drevarská vo Zvolene, katedra drevarských strojov a automatizácie, 1988.

**Německý, P.** Lamináty pro truhláře. *Časté dotazy.* [Online] [Citace: 17. 01 2016.] <http://www.laminatyprotruhlare.cz/caste-dotazy/caste-dotazy.aspx>.

**Prokeš, Stanislav. 1982.** *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva.* Praha : SNTL/Alfa, 1982.

**Slavík, Vladimír. 1987.** *Obrábění plastických hmot. Nástroje na obrábění dřeva a nových hmot.* Ústí nad Labem : Dům techniky ČSVTS Ústí nad Labem, 1987.

**Školník, Juraj. 1987.** *Nové řezné materiály – cesta k zvýšeniu trvanlivosti ostria drevoobrábacích nástrojov. Nástroje na obrábění dřeva a nových hmot.* Ústí nad Labem : Dům techniky ČSVTS Ústí nad Labem, 1987.

**Štefka, Vilém. 2002.** *Kompozitné drevné materiály, Časť II., Technológia aglomerovaných materiálov.* Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2002. 80-228-1136-X.

**Varkoček, Jan, Rousek, Miroslav a Holopírek, Jindřich. 1996.** *Dělení, obrábění a tváření materiálů.* Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1996. 80 7157-230-6.

**Young, M.G. 1969.** *High pressure laminates. Composite engineering laminates.* Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology. Halliday Lithograph Corporation, 1969. 68-18234.

### **Elektronická skripta**

**Böhm, M. 2005.** *Technologie výroby aglomerovaných materiálů.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2005. Dostupné z: [http://fld.czu.cz/~bohml/aglomerovane\\_materialy.pdf](http://fld.czu.cz/~bohml/aglomerovane_materialy.pdf)

### **Zahraniční články**

**Anonym, 1963.** Decorative Laminates In Transport. *Plastics in Australia*, Semptember 1963, pp. 17-18.

**Davim, J. P., Gaitonde, V.N. and Karnik, S.R., 2008.** An ivestigative study of delamination in drilling of medium density fibreboards (MDF) using response surface models. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008. pp. 49-57.

**Dominika, Gornik Bučar, Miran, Merhar, Bojan, Gospodarič, 2013.** Influence of Tool Wear on the Quality of newly Formed Surface in the Drilling of Wood Composites. *WOOD IS GOOD-USER ORIENTED MATERIAL, TECHNOLOGY AND DESIGN*, University of Ljublana, Slovenia, 2013, pp. 29-33.

**Endler, I. et. al., 1999.** Preparation and wear behaviour of woodworking tools coated with superhard layers. *Diamond and Related Materials* 8, 1999, pp. 234-839

**Gawrónski, Tomasz, 2013.** Optimisation of CNC routing operations of wooden furniture parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 67, 2013, pp. 2259-2267.

**Hoag, M., 1993.** Particleboard and Medium Density Fibreboard: Surface-testing Substrates for Laminating Applications. *European Plastic Laminates Forum*, Köln, Germany, 1993, pp. 33-40.

**Nemli, Gökay, Yildiz, Sibel, Gezer, E. Derya., 2005.** Effects of melamine raw paper weighjt, varnish type and the structure of continous pressed laminate (CPL) on the physical, mechanical properties and decay resistence of particleboard, *International Biodeterioration and Biodegradation* 56, Trabzon, Turkey, 2005, pp. 166-172.

**Pinkowski, G. et. al., 2011.** Surface roughness aspects in machine cutting of medium density fibreboards (MDF) with modified cutters on a CNC wood working machine. *Forestry and Wood technology No 75*, 2011, pp. 202-209.

**Podzievski, Piotr and Górski, Jaroslaw, 2011.** Relationship between machining conditions and feed force during drilling in some wood-based materials. *Annals of Warsaw University of Life Sciences, Forestry and Wood technology* 75, 2011, pp. 216-219.

**Sheikh-Ahmad, J., Morita, T. 2001.** Tool Coatings for Wood Machining. *Proceedings of 15th International Wood Machining Seminar*. Los Angeles, California, USA, 2001, pp. 11-120.



**Sheikh-Ahmad, J.Y., Stewart, J.S., Felh, H. 2003.** Failure characteristics of diamond-coated carbides in machining wood-based composites. *Wear* 255, 2003, pp. 1433-1437.

**Sofuoglu, Sait Dundar, Kacal, Alaattin, 2013.** Investigation of Machining Performance in Terms of Tool Wear and Hole Accuracy in Drilling of Particleboard Surfaced with Synthetic Resin Sheet. *21st International Wood Machining seminar*, 2013, pp. 233-240.

## Normy

**ČSN EN 14322.** *Desky na bázi dřeva – Laminované desky pro vnitřní použití – Definice, požadavky a klasifikace.* Praha: Český normalizační institut, 2004. 12 s.

**ČSN EN 14323.** *Desky na bázi dřeva – Laminované desky pro vnitřní použití – Metody zkoušení.* Praha: Český normalizační institut, 2004. 15 s.

**ČSN EN ISO 4287.** *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.* Praha: Český normalizační institut, 1999. 22 s.

**ČSN EN 326-1.** *Desky ze dřeva – odběr vzorků, nařezávání a kontrola – Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky.* Praha: Český normalizační institut, 1997. 11 s.

**ČSN EN 323.** *Dosky z dřeva – Zistovanie hustoty.* Praha: Český normalizační institut, 1994. 7 s.

**ČSN EN 322.** *Dosky z dřeva – Zistovanie vlhkosti.* Praha: Český normalizační institut, 1993. 7 s.

**ČSN 49 0231.** *Přídavky na opracování řeziva a přířezů řeziva. Drsnost povrchu výrobků ze dřeva a na bázi dřeva.* Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993. 7 s.

**ČSN EN 311.** *Desky ze dřeva – Přídržnost povrchu – zkušební metoda.* Praha: Český normalizační institut, 2003. 10 s.

## Internetové zdroje

**Německý P., 2016.** Lamináty pro truhláře. *Časté dotazy.* [online]. [citace 2016-01-17]. <http://www.laminatyprotruhlare.cz/caste-dotazy/caste-dotazy.aspx>

**Prüm, 2013.** Designové dveře. *Slovník pojmů*. [online]. [citace 2016–27-2]. <http://www.prum.cz/slovník-pojmu/>

**Taegutec, 2016.** Taegutec. *Příručka obrábění*. [online]. [citace 2016-27-3]. [http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka\\_obrazeni\\_2114.pdf](http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrazeni_2114.pdf)

**Technická univerzita v Liberci, 2001.** Katedra obrábění a montáže. *Řezné podmínky při obrábění. Podklad pro výuku předmětu Technologie III – obrábění*. [online]. [citace 2016-27-3]. [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_rp.pdf](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf)

**Sortim, 2015.** Sortim. *Kompaktní desky*. [online]. [citace 2016-27-3]. [www.http://www.sortim.cz/deskoviny/kompaktni-desky/kompaktni-desky-pro-interier-fundermax/max-compact-dualis/](http://www.sortim.cz/deskoviny/kompaktni-desky/kompaktni-desky-pro-interier-fundermax/max-compact-dualis/)

**Hamerník J., 2014.** *Základy obrábění*. [online]. [citace 2016-27-3]. [http://jhamernik.sweb.cz/obrazeni\\_soubory/image008.gif](http://jhamernik.sweb.cz/obrazeni_soubory/image008.gif)

**Anonym, 2014.** *Drsnost povrchu*. [online]. [citace 2016-27-3]. [http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/TEK/Drsnost\\_povrchu.pdf](http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/TEK/Drsnost_povrchu.pdf)

**Holada J., 2013.** *Problematika měření drsnosti povrchu*. [online]. [citace 2016-01-17]. [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/9320/bakalarska\\_prace.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/9320/bakalarska_prace.pdf?sequence=1)

## **Firemní zdroje**

**Egger, 2015.** *Technický list, Egger Kompaktní desky s černým jádrem 513*, označeno jako (Egger1, 2015)

**Fundermax, 2015.** *Compact Interior Technique*, označeno jako (Fundermax2, 2015)

**Fundermax, 2015.** *Technické informace Exterior CZ*, označeno jako (Fundermax1, 2015)

**Kronospan, 2010.** *Technický a bezpečnostní list. Produkt: Vysokotlaké lamináty HPL pro povrchové úpravy vnitřních stěn a stropů – KRONO COMPACT, typ CGS*, Jihlava: KRONOSPAN CR spol. s.r.o. 2010. označeno jako (Kronospan 1, 2010)

## 9 Přílohy

*Příloha 1 Výzkum týkající se vlivu povrchu na vlastnosti dřevotřískové desky (Nemli a kol., 2005)*

*Experimentální design*

Typy desek	Typ úpravy povrchu
C*	--
1	M70
2	M100
3	V1
4	V1
5	CPL1
6	CPL2

*C\* (řízení): nepotažená dřevotřísková deska*

*Výsledky měření hustoty jednotlivých krycích vrstev a statistická analýza ( $p < 0,05$ )*

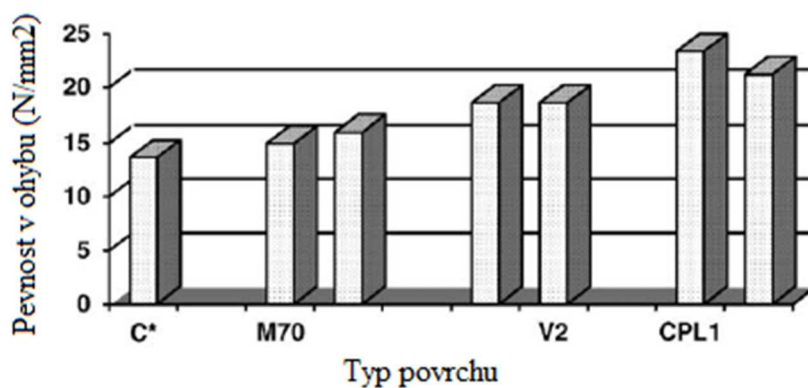
Typ povrchu nátěrové hmoty	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )
M70	0,425 A
M100	0,476 B
Dýha	0,651 C
CPL1	1,416 D
CPL2	1,248 E

*Poznámka: Jednotlivá písmena reprezentují statistický význam*

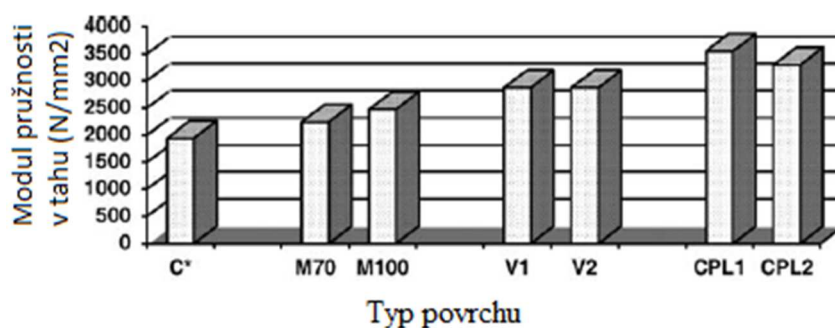
*Souhrn fyzikálních a mechanických vlastností a statistické analýzy ( $p < 0,05$ )*

Typ desek	Pevnost v ohybu (N/mm <sup>2</sup> )	Modul pružnosti v tahu (N/mm <sup>2</sup> )	Rozlupčivost (N/mm <sup>2</sup> )	Tloušťkové bobtnání (%) 2h	Tloušťkové bobtnání (%) 24h	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )
C	13,65 A	1945,68 A	0,376 A	6,78 A	13,33 A	0,651 A
1	14,97 B	2242,33 B	0,377 A	0,58 B	3,17 B	0,683 B
2	16,01 C	2476,82 C	0,378 A	0,53 B	1,48 C	0,700 C
3	18,56 D	2869,56 D	0,380 A	0,02 C	0,56 D	0,748 D
4	18,43 D	2833,40 D	0,379 A	0,04 C	0,88 E	0,744 D
5	23,38 E	3548,36 E	0,381 A	0,00 C	0,11 F	0,798 E
6	21,22 F	3300,05 F	0,383 A	0,00 C	0,27 G	0,766 F

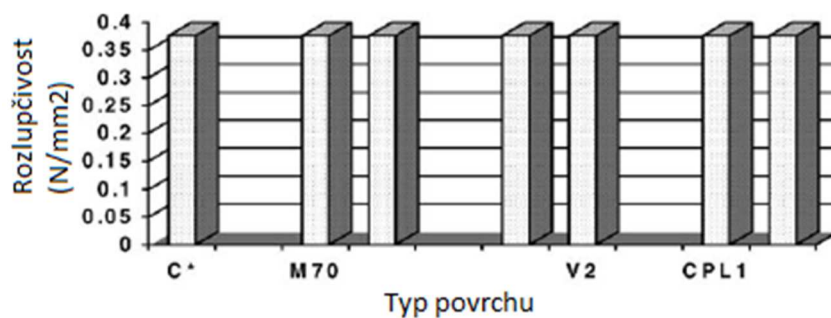
*Poznámka: Jednotlivá písmena reprezentují statistickou významnost od A do F seřazeny od nejvyšší po nejnižší, stejná písmena u různých polí symbolizují blízkou podobnost*



Vliv váhy melaminového papíru (M), krycí vrstvy laku (V) a CPL desky na pevnost v ohybu (C\*: neošetřená DTD)



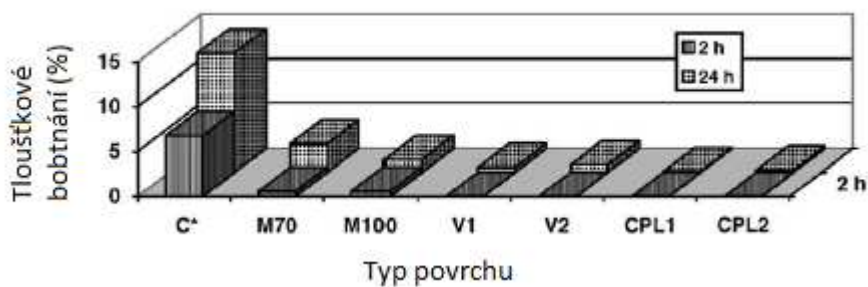
Vliv váhy melaminového papíru (M), krycí vrstvy laku (V) a CPL desky na modul pružnosti v tahu (C\*: neošetřená DTD)



Vliv váhy melaminového papíru (M), krycí vrstvy laku (V) a CPL desky na rozlupčivost (C\*: neošetřená DTD)

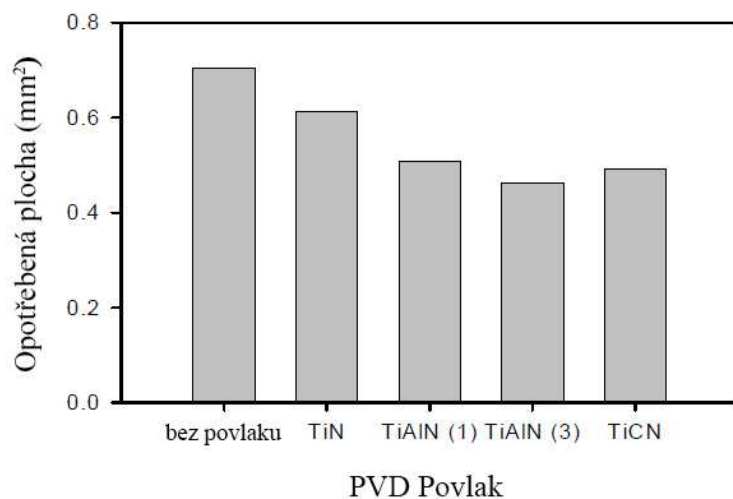
*Průměrný obsah vlhkosti jednotlivých typů desek*

Typ desky	Relativní vlhkost (%)
C	9,78
1	9,72
2	9,7
3	9,65
4	9,64
5	9,6
6	9,62

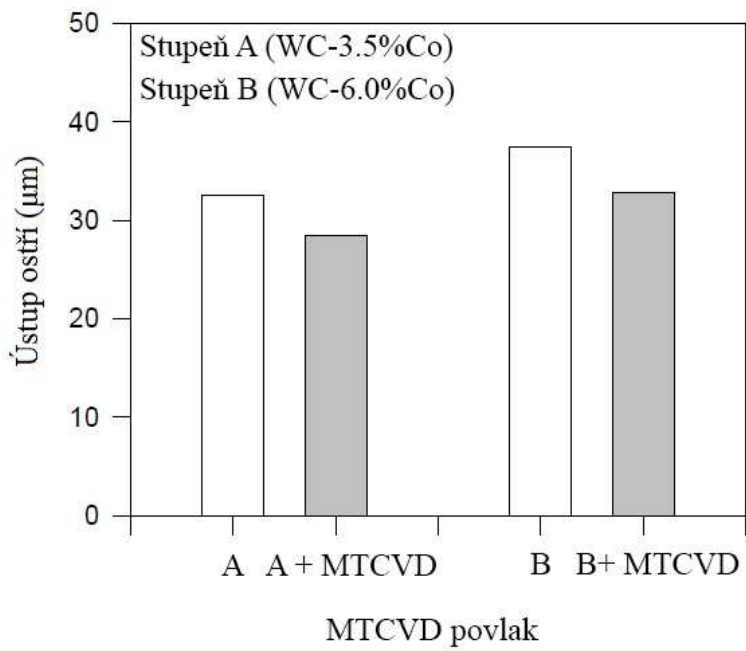


*Vliv váhy melaminového papíru (M), krycí vrstvy laku (V) a CPL desky na tloušťkové bobtnání (C\*: neošetřená DTD)*

**Příloha 2 Výsledky měření ústupu ostří jednotlivých druhů povlaků ve srovnání s klasickým nepovlakovaným SK (Sheikh-Ahmad a Morita, 2001).**

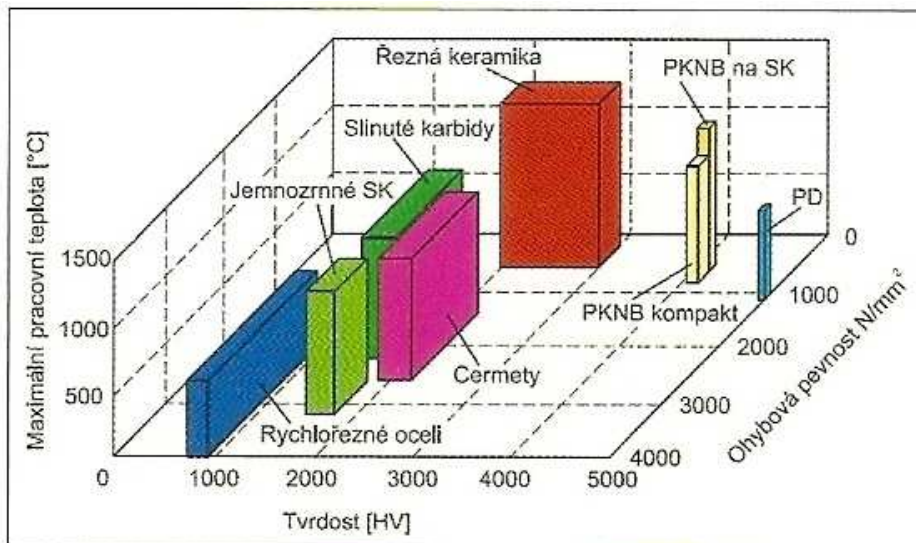


*Porovnání výkonu nepovlakovaného slinutého karbidu a PVD povlakovaných karbidů při obrábění dřevotřískové desky na CNC stroji.*

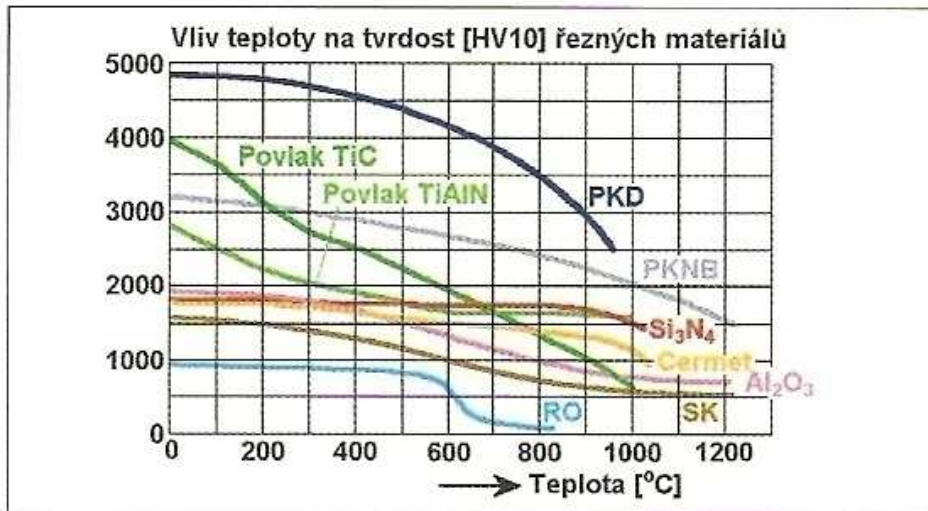


Porovnání výkonu nepovlakovaného slinutého karbidu a MTCVD povlakovaných karbidů při obrábění dřevotřískové desky na CNC stroji.

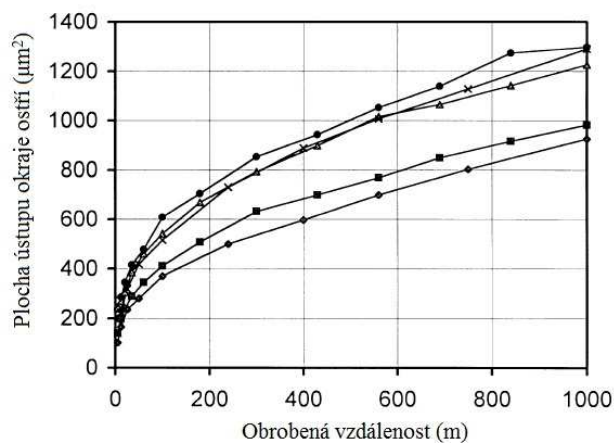
**Příloha 3 Vlastnosti nástrojových materiálů (Humár, 2008)**



*Příloha 4 Závislost tvrdosti nástrojových materiálů na teplotě (Humár, 2008)*

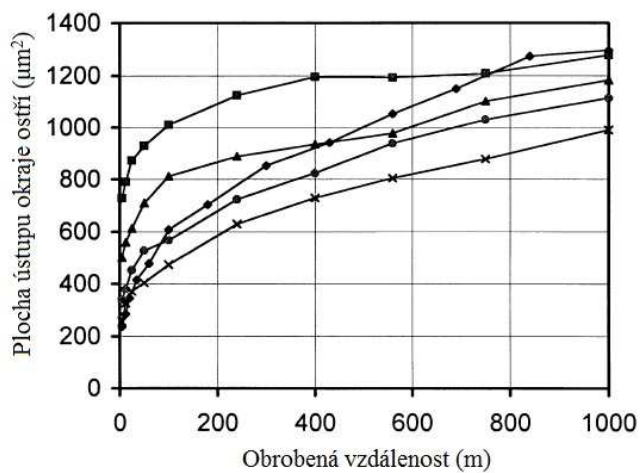


*Příloha 5 Vývoj opotřebení ostří TiC/ a-C a kov/ta-C povlakovaných nástrojů v závislosti na tloušťce naneseného povlaku (Endler a kol., 1999)*



- – nepovlakovaný, ■ – TiC/ a-C 2,4  $\mu\text{m}$ , ▲ – Tic/a-C 3,2  $\mu\text{m}$ , x- Tic/a-C 8 $\mu\text{m}$ , ◆- Al 0,03 $\mu\text{m}$ /TaC 0,3 $\mu\text{m}$

**Příloha 6 Opořebení ostří diamantových povlakovaných nástrojů v závislosti na použitém nosném substrátu, tloušťce vrstvy  $d$  a teploty substrátu  $T_s$  (Endler a kol., 1999)**



◆ nepovlakovaný, ■ – WC leptaný ( $T_s=900^\circ\text{C}$ ,  $d=3,7\ \mu\text{m}$ ), ▲ - WC leptaný ( $T_s=900^\circ\text{C}$ ,  $d=1,7\ \mu\text{m}$ ), × WC leptaný ( $T_s=750^\circ\text{C}$ ,  $d=8\ \mu\text{m}$ ), (Endler a kol., 1999)





## 5. Oberfräsen

### 5.1 Formatieren und Nuten

#### 5.1.1 Schafffräser



#### Wendmesser-Oberfräser

##### Anwendung:

Oberfräser zum Formatieren und Nuten in Schlichtqualität. Für Nutfräsungen mit konstantem Werkzeugdurchmesser.

##### Maschine:

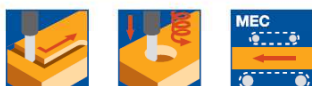
Oberfräsmaschinen mit/ohne CNC-Steuerung, Bearbeitungszentren, Sonderfräsmaschinen mit Frässpindeln zur Aufnahme von Schaftwerkzeugen.

##### Werkstückstoff:

Weichhölzer, Span- und Faserwerkstoffe (Spanplatte, MDF, HF, etc.), roh, kunststoffbeschichtet, furniert, etc.

##### Technische Informationen:

Achsparellele Schneiden. Teflonbeschichtete Tragkörper für verminderten Harz- und Leimansatz. Zum Fertigfräsen bedingt geeignet. Abzeichnung der Schneiden am Werkstück sichtbar. Mit HW-Wendmesser Einbohrschneide.



##### HW, Z 1+1, Bestückung mit 50 mm/30 mm Wendmessern

WL 101-1

D	GL	NL	S	ID	ID
mm	mm	mm	mm	LL	RL
18	115	50	16x50	040846	040847 ●
18	115	50	20x50		040848 ●
18	125	50	25x60	040849	040850 ●

**Drehzahl:**  $n = 16000 - 20000 \text{ min}^{-1}$

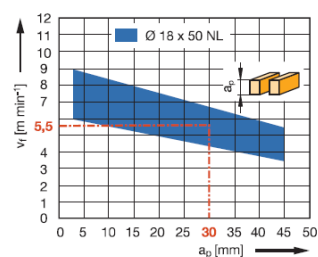
##### Ersatzmesser:

BEZ	Messertyp	ABM	QAL	VE	ID
		mm		STK	
Wendmesser	Bohrschneide	7,5x12x1,5	HW-05	10	005080 ●
Wendmesser	Umfangschneide	30x12x1,5	HW-05	10	005161 ●
Wendmesser	Umfangschneide	50x12x1,7	HW-05	10	007668 ●

##### Ersatzteile:

BEZ	Messertyp	ABM	ID
		mm	
Schraube	Bohrschneide	M4x5 (Kopf D7)	007037 ●
Schraube	Umfangschneide	M4x5 (Kopf D9)	007038 ●
Schraubendreher, Torx®		Torx® 15	005457 ●

Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  in  
Abhängigkeit der Nuttiefe  $a_p$



**Werkstückstoff:** Spanplatte

kunststoffbeschichtet

**Arbeitsgang:** Formatieren

**Drehzahl:**  $n = 18000 \text{ min}^{-1}$

**Korrekturfaktor für  $v_f$ :** MDF = 0,8

● ab Lager lieferbar  
□ kurzfristig lieferbar  
Betriebsanleitung unter [www.leitz.org](http://www.leitz.org)

445

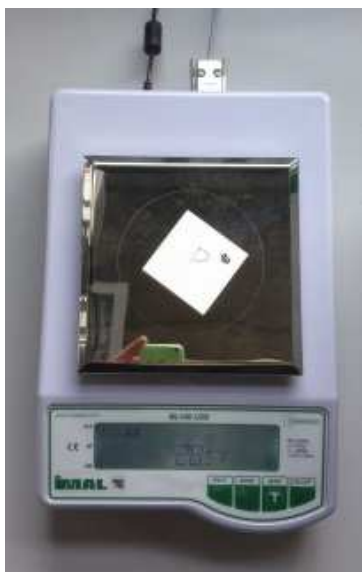
*Příloha 8 Měření drsnosti*



*Příloha 9 Posuvné digitální měřítko Mytutoyo*



**Příloha 10 Digitální váha Imal Pal BL 100 LCD**



**Příloha 11 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rz a posuvné rychlosti  $v_f = 6,5$  m/min**

Odfřezované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	dekor dřeva	68,44	73,22	56,01	80,80	11,64	17,01
100	dekor dřeva	73,53	75,25	52,23	105,90	22,52	30,63
200	dekor dřeva	98,96	100,36	71,16	117,04	17,51	17,69
300	dekor dřeva	121,33	127,10	67,59	154,60	34,92	28,78
400	dekor dřeva	89,81	79,84	53,87	142,36	33,24	37,02
500	dekor dřeva	95,81	80,40	77,19	133,95	24,54	25,61
600	dekor dřeva	124,15	120,40	50,05	211,49	57,61	46,40
700	dekor dřeva	119,51	125,14	69,70	178,19	46,67	39,05
800	dekor dřeva	94,02	97,63	68,11	114,90	16,93	18,01
900	dekor dřeva	136,39	121,47	88,60	243,81	62,73	45,99
1000	dekor dřeva	193,72	168,22	107,90	322,11	81,48	42,06
0	miniperla	67,57	71,44	47,21	87,32	15,66	23,18
100	miniperla	74,11	71,58	62,44	85,40	10,43	14,07
200	miniperla	80,54	88,10	52,43	117,99	27,50	34,15
300	miniperla	93,82	69,50	54,70	169,79	48,00	51,16
400	miniperla	108,18	107,60	70,43	139,15	30,11	27,84
500	miniperla	138,54	143,57	78,25	215,30	58,77	42,42
600	miniperla	136,90	127,06	84,94	243,60	63,40	46,31
700	miniperla	195,05	177,90	86,30	355,00	105,39	54,03
800	miniperla	111,22	110,50	63,70	157,70	43,28	38,92
900	miniperla	173,63	160,31	133,15	218,80	35,10	20,22
1000	miniperla	184,66	177,48	92,26	258,20	64,94	35,17

Odfrezované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1	73,27	62,40	32,50	129,23	36,21	49,42
100	hladká 1	74,19	61,92	43,20	127,50	33,83	45,60
200	hladká 1	85,40	94,10	35,80	116,90	31,55	36,94
300	hladká 1	123,20	81,90	61,20	273,52	87,59	71,09
400	hladká 1	124,09	89,63	63,70	293,10	95,18	76,71
500	hladká 1	104,70	85,80	61,39	160,20	40,02	38,23
600	hladká 1	72,22	66,70	47,88	99,60	23,00	31,85
700	hladká 1	86,24	71,32	63,20	125,18	26,67	30,93
800	hladká 1	131,03	146,70	44,30	188,80	62,85	47,96
0	hladká 2	66,11	56,00	42,10	100,00	26,21	39,65
100	hladká 2	111,46	69,90	42,70	272,60	94,95	85,18
200	hladká 2	102,54	106,20	67,80	127,70	24,31	23,71
300	hladká 2	132,28	124,90	61,10	193,20	52,02	39,33
400	hladká 2	116,42	125,60	49,50	179,50	47,54	40,83
500	hladká 2	75,76	74,91	45,30	102,70	21,19	27,97
600	hladká 2	118,28	93,90	70,60	234,50	67,83	57,35
700	hladká 2	86,82	70,79	65,05	132,99	28,23	32,52
800	hladká 2	143,91	118,40	56,09	323,30	108,20	75,18

*Příloha 12 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rz a posuvné rychlosti  $v_f = 7,7$  m/min*

Odfrezované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1	90,15	74,80	63,04	131,18	28,25	31,33
100	hladká 1	99,59	91,07	77,30	141,40	25,08	25,18
200	hladká 1	70,96	70,20	41,89	89,09	18,53	26,12
300	hladká 1	64,72	65,20	57,80	69,40	4,97	7,68
400	hladká 1	81,39	84,56	49,50	106,60	23,20	28,50
500	hladká 1	85,62	80,40	57,20	134,70	29,39	34,33
600	hladká 1	115,26	90,90	64,40	226,10	64,16	55,67
700	hladká 1	130,76	160,90	37,80	187,60	61,15	46,76
800	hladká 1	111,13	133,80	55,90	152,10	48,07	43,26

**Příloha 13 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rz a posuvné rychlosti  $v_f = 5,2$  m/min**

Odfrézované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 2	80,57	64,55	42,10	202,46	46,80	58,08
100	hladká 2	91,23	67,49	42,70	272,60	68,66	75,27
200	hladká 2	92,66	92,89	53,80	127,70	24,28	26,20
300	hladká 2	108,69	114,64	39,30	193,20	50,62	46,57
400	hladká 2	101,06	106,53	47,08	179,50	42,43	41,98
500	hladká 2	76,11	66,81	40,26	190,75	45,33	59,56
600	hladká 2	92,31	76,04	47,81	234,50	53,91	58,41
700	hladká 2	79,60	71,55	33,10	132,99	28,63	35,97
800	hladká 2	115,95	95,51	37,49	323,30	83,82	72,29

**Příloha 14 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rt a posuvné rychlosti  $v_f = 6,5$  m/min**

Odfrézované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	dekor dřeva	48,48	50,51	36,70	63,06	11,63	23,98
100	dekor dřeva	55,16	53,32	42,11	78,50	14,69	26,63
200	dekor dřeva	68,13	69,39	50,18	79,11	11,54	16,93
300	dekor dřeva	74,38	72,83	50,95	97,10	21,84	29,36
400	dekor dřeva	60,37	57,69	38,20	90,08	18,70	30,98
500	dekor dřeva	66,14	61,51	56,90	76,33	9,43	14,25
600	dekor dřeva	71,90	74,01	39,21	102,04	22,44	31,21
700	dekor dřeva	84,90	87,90	48,20	128,52	34,89	41,10
800	dekor dřeva	67,09	68,31	51,04	75,75	9,49	14,15
900	dekor dřeva	100,05	81,30	72,40	157,08	35,58	35,57
1000	dekor dřeva	114,74	115,20	80,84	137,73	24,13	21,03
0	miniperla	45,97	46,24	39,60	55,04	5,93	12,90
100	miniperla	49,28	49,23	43,25	57,26	5,83	11,83
200	miniperla	56,98	60,50	37,64	77,59	18,24	32,01
300	miniperla	62,80	49,90	44,23	113,40	29,05	46,26
400	miniperla	70,52	75,70	49,41	84,20	13,82	19,60
500	miniperla	87,75	74,60	69,40	111,80	21,88	24,93
600	miniperla	92,69	85,42	65,62	130,18	28,39	30,63
700	miniperla	118,64	128,90	55,10	210,03	61,32	51,69
800	miniperla	78,05	82,65	50,50	104,40	25,26	32,36
900	miniperla	104,72	101,02	83,04	128,60	19,18	18,31
1000	miniperla	139,16	120,73	82,24	198,12	52,52	37,74

Odfrezované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1	49,81	49,30	25,30	83,26	22,09	44,34
100	hladká 1	49,35	47,36	33,90	61,30	11,75	23,80
200	hladká 1	55,26	54,69	28,80	77,40	18,59	33,65
300	hladká 1	65,08	55,90	39,90	96,10	22,66	34,81
400	hladká 1	78,05	67,86	50,40	139,80	35,39	45,34
500	hladká 1	70,04	53,40	49,70	98,90	24,82	35,43
600	hladká 1	54,27	45,70	35,70	80,17	20,93	38,57
700	hladká 1	61,65	54,90	48,70	77,13	13,60	22,06
800	hladká 1	71,44	84,98	5,60	122,70	43,31	60,63
0	hladká 2	46,31	42,80	30,40	66,40	15,94	34,42
100	hladká 2	65,02	44,50	34,60	128,20	39,83	61,26
200	hladká 2	66,06	64,40	49,20	87,20	13,68	20,71
300	hladká 2	80,42	79,10	42,10	126,80	30,25	37,61
400	hladká 2	76,80	84,10	35,40	94,10	23,86	31,07
500	hladká 2	55,91	62,15	34,20	68,80	13,97	24,99
600	hladká 2	66,74	64,80	47,50	100,50	21,81	32,69
700	hladká 2	53,14	51,29	43,30	66,62	8,91	16,76
800	hladká 2	92,15	83,40	40,32	187,90	60,27	65,40

*Příloha 15 Výsledky měření drsnosti dle parametru Rt a posuvné rychlosti vf = 7,7 m/min*

Odfrezované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1	58,14	52,90	40,08	74,80	14,26	24,53
100	hladká 1	62,52	68,50	47,40	71,40	10,67	17,07
200	hladká 1	52,36	58,96	29,90	61,70	13,15	25,12
300	hladká 1	49,40	47,59	44,30	59,40	5,80	11,73
400	hladká 1	55,49	49,60	40,10	74,10	14,46	26,06
500	hladká 1	61,47	55,43	42,90	93,80	20,33	33,07
600	hladká 1	71,98	65,30	52,70	115,70	25,32	35,18
700	hladká 1	74,60	66,77	32,10	104,80	30,11	40,36
800	hladká 1	71,52	84,70	41,93	99,26	25,54	35,71

**Příloha 16 Výsledky měření drsnosti dle parametru  $R_t$  a posuvné rychlosti  $v_f = 5,2$  m/min**

Odfrézované metry	Typ desky	Průměr ( $\mu\text{m}$ )	Medián ( $\mu\text{m}$ )	Minimum ( $\mu\text{m}$ )	Maximum ( $\mu\text{m}$ )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 2	48,08	43,48	30,40	80,31	15,76	32,78
100	hladká 2	58,34	42,83	32,60	128,20	30,87	52,91
200	hladká 2	60,79	62,85	42,26	87,20	12,85	21,14
300	hladká 2	67,70	71,34	31,80	126,80	28,67	42,34
400	hladká 2	67,22	75,60	35,40	94,10	24,25	36,08
500	hladká 2	56,32	50,46	31,86	129,12	28,97	51,44
600	hladká 2	56,31	51,31	33,50	100,50	19,26	34,20
700	hladká 2	50,28	49,72	26,29	72,69	13,19	26,23
800	hladká 2	74,43	61,77	28,45	187,90	46,64	62,67

**Příloha 17 Výsledky měření drsnosti dle parametru  $R_{Sm}$  a posuvné rychlosti  $v_f = 6,5$  m/min**

Odfrézované metry	Typ desky	Průměr ( $\mu\text{m}$ )	Medián ( $\mu\text{m}$ )	Minimum ( $\mu\text{m}$ )	Maximum ( $\mu\text{m}$ )	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	dekor dřeva	673,26	647,70	526,00	901,80	161,62	24,01
100	dekor dřeva	602,35	572,62	525,37	754,65	94,88	15,75
200	dekor dřeva	849,21	832,12	688,00	1054,72	162,03	19,08
300	dekor dřeva	887,48	900,14	740,27	1036,33	130,25	14,68
400	dekor dřeva	958,91	852,05	588,24	1612,75	400,26	41,74
500	dekor dřeva	777,03	702,25	632,67	1000,00	157,55	20,28
600	dekor dřeva	894,16	887,36	565,50	1236,44	279,26	31,23
700	dekor dřeva	935,50	909,09	829,46	1087,83	107,73	11,52
800	dekor dřeva	778,09	823,32	618,10	988,50	156,31	20,09
900	dekor dřeva	1042,13	1000,00	810,58	1387,79	212,80	20,42
1000	dekor dřeva	1520,30	1205,60	666,70	3038,00	916,54	60,29
0	miniperla	558,60	608,20	411,60	653,57	108,06	19,34
100	miniperla	664,03	636,39	549,00	907,40	142,10	21,40
200	miniperla	755,99	666,70	524,00	1165,00	243,44	32,20
300	miniperla	924,43	909,09	659,73	1245,75	255,13	27,60
400	miniperla	827,31	757,38	688,20	1065,50	154,87	18,72
500	miniperla	1157,56	1085,90	791,50	1597,50	298,11	25,75
600	miniperla	953,37	1040,56	625,00	1111,10	201,53	21,14
700	miniperla	1100,33	879,40	762,77	1794,40	420,84	38,25
800	miniperla	1509,64	1088,00	664,30	3626,80	1197,58	79,33
900	miniperla	1145,18	1171,25	824,90	1428,57	251,37	21,95
1000	miniperla	1107,38	1150,19	909,09	1228,94	130,95	11,82

Odfřezované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1	538,29	467,20	368,20	833,33	188,25	34,97
100	hladká 1	765,15	696,40	588,24	961,90	152,97	19,99
200	hladká 1	811,43	762,10	663,20	1084,20	164,87	20,32
300	hladká 1	1150,94	909,10	588,30	2293,00	685,53	59,56
400	hladká 1	1027,23	769,20	667,10	1855,75	489,23	47,63
500	hladká 1	753,72	805,80	476,20	909,10	166,05	22,03
600	hladká 1	701,44	714,29	522,34	968,10	170,54	24,31
700	hladká 1	814,45	822,46	686,40	1040,11	143,88	17,67
800	hladká 1	1089,58	1073,44	800,14	1379,20	281,73	25,86
0	hladká 2	540,28	526,32	429,90	714,29	109,89	20,34
100	hladká 2	829,76	686,70	544,20	1355,50	322,43	38,86
200	hladká 2	897,63	890,30	562,47	1496,70	370,30	41,25
300	hladká 2	1029,46	1066,80	625,00	1370,00	286,99	27,88
400	hladká 2	782,74	803,70	651,30	914,40	101,39	12,95
500	hladká 2	716,74	714,29	555,50	967,40	166,61	23,25
600	hladká 2	1178,70	1059,10	809,80	1879,30	411,72	34,93
700	hladká 2	795,45	801,67	549,62	1050,20	196,77	24,74
800	hladká 2	838,05	762,65	662,93	1214,25	216,64	25,85

*Příloha 18 Výsledky měření drsnosti dle parametru RSm a posuvné rychlosti  $v_f = 7,7$  m/min*

Odfřezované metry	Typ desky	Průměr (μm)	Medián (μm)	Minimum (μm)	Maximum (μm)	Sm.odch.	Var.koef. (%)
0	hladká 1	624,51	583,72	454,50	907,45	174,24	27,90
100	hladká 2	1012,84	853,30	753,10	1600,00	354,53	35,00
200	hladká 3	750,39	706,50	653,40	884,55	102,48	13,66
300	hladká 4	623,79	603,56	500,00	749,35	94,44	15,14
400	hladká 5	735,21	823,00	561,40	833,33	131,64	17,90
500	hladká 6	818,61	814,40	644,40	1000,00	168,33	20,56
600	hladká 7	872,53	785,10	666,70	1250,00	225,57	25,85
700	hladká 8	1074,20	1186,40	602,10	1567,70	389,12	36,22
800	hladká 9	842,40	865,18	633,60	1039,00	152,75	18,13



**Příloha 19 Výsledky měření drsnosti dle parametru RSm a posuvné rychlosti  $v_f = 5,2$  m/min**

Odfrézované metry	Typ desky	Průměr ( $\mu\text{m}$ )	Medián ( $\mu\text{m}$ )	Minimum ( $\mu\text{m}$ )	Maximum ( $\mu\text{m}$ )	Sm.odc h.	Var.koef. (%)
0	hladká 2	607,59	574,60	429,90	909,09	156,35	25,73
100	hladká 2	801,20	727,97	544,20	1355,50	256,50	32,01
200	hladká 2	821,39	788,36	562,47	1496,70	273,17	33,26
300	hladká 2	976,22	886,53	625,00	1381,00	264,93	27,14
400	hladká 2	844,09	862,74	651,30	1000,00	106,01	12,56
500	hladká 2	886,69	738,90	524,00	1959,20	443,85	50,06
600	hladká 2	996,51	930,98	662,30	1879,30	345,75	34,70
700	hladká 2	856,31	904,51	549,62	1061,70	158,31	18,49
800	hladká 2	900,31	888,74	659,57	1214,25	202,60	22,50