

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta lesnická a dřevařská**  
**Katedra zpracování dřeva a biomateriálů**



**Vliv povlaku nástroje na výslednou kvalitu obrobeného  
materiálu**

**Diplomová práce**

**Autor: Bc. Eliška Antonyová**

**Vedoucí práce: Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.**

© 2021 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Eliška Antonyová

Dřevařské inženýrství  
Dřevařské inženýrství

Název práce

Vliv povlaku nástroje na výslednou kvalitu frézovaného materiálu

Název anglicky

Effect of tool coating on final quality of milled material

---

Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je zjištění jaký vliv bude mít povlak nástroje na výslednou kvalitu frézovaného materiálu. Povlak je na bázi nitridu chrómu a titanu (CrTiN).

Metodika

Postup práce spočívá v provedení literární rešerše, změření vlivu povlaku a zjištění, jak ovlivňuje výslednou kvalitu frézovaného povrchu. Materiál (MDF s jednostrannou laminací) se bude frézovat na spodní jednovřetenové frézce. Veškeré naměřené hodnoty se vyhodnotí pomocí SW Statistica 12.

**Doporučený rozsah práce**

50-70 stran textu

**Klíčová slova**

Kvalita povrchu; frézování; povlak; MDF – laminovaná

---

**Doporučené zdroje informací**

Barčík, Š. *Stroje a zariadenia* – NCV. TU Zvolen, 2001., s.150, ISBN 80-228-1035-5.

DAVIM, J. P. *Surface Integrity in Machining*. 1. vyd. London: Springer. 2010. 215 s. ISBN 978-1-84882-973-5.

DAVIM, J. P. *Wood machining*. London: Wiley, 2011. ISBN 978-1-84821-315-9.

LISIČAN, J. – VYSOKÁ ŠKOLA LESNÍCKA A DREVÁRSKA (ZVOLEN, SLOVENSKO). FAKULTA DREVÁRSKA. *Obrábanie a delenie drevných materiálov*. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska, 1988.

SIKLIENKA, M.; KMINIAK, R. *Delenie a obrábanie dreva*. Technická univerzita vo Zvolene. 2013a. 207 s. ISBN 978-80-228-2618-1.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Konzultant**

doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, Ph.D.

---

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2021

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

---

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2021

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 20. 04. 2021

---

# Obsah

<b>Přehled použitých zkratk</b> .....	<b>6</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>14</b>
<b>2. Cíl práce</b> .....	<b>16</b>
<b>3. Rozbor problematiky</b> .....	<b>17</b>
3.1. Frézování .....	17
3.1.1. Kinematika frézování.....	18
3.2. Nástroje pro frézování .....	21
3.2.1. Konstrukce nástrojů pro frézování.....	21
3.2.2. Nástrojové materiály pro obrábění dřeva.....	24
3.2.2.1. Přehled a charakteristika druhů materiálů pro obrábění .....	24
3.2.2.2. Povlakování nástrojů.....	25
3.3. Problematika kvality obrobených ploch .....	27
3.3.1. Základní pojmy metrologie povrchu.....	27
3.3.2. Parametry metrologie povrchu.....	29
3.3.2.1. Výškové parametry .....	29
3.3.2.2. Délkové parametry.....	32
3.3.3. Metody hodnocení povrchu .....	33
3.3.3.1. Bezdotykové metody .....	33
3.3.3.2. Dotykové metody.....	36
3.4. Vliv různých činitelů na kvalitu obráběného povrchu.....	38
3.4.1. Druh materiálu .....	38
3.4.2. Vlhkost materiálu.....	39

3.4.3. Vlnitost a drsnost .....	39
3.4.4. Posuvná rychlost .....	40
3.4.5. Řezná rychlost.....	41
3.4.6. Vliv otupení břitu.....	42
<b>4. Metodika .....</b>	<b>43</b>
4.1. Strojové a přístrojové vybavení .....	43
4.2. Použité nástroje.....	46
4.3. Použitý materiál .....	48
4.4. Příprava zkušebních vzorků.....	48
4.5. Metodika měření kvality povrchu.....	50
4.6. Statistické zpracování dat .....	50
<b>5. Výsledky a diskuse .....</b>	<b>51</b>
5.1. Nástroj.....	51
5.2. Kvalita povrchu.....	57
<b>6. Závěr .....</b>	<b>74</b>
<b>7. Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>75</b>
<b>8. Přílohy .....</b>	<b>80</b>

## Seznam zkratek

CrTiN - chrom, titan, dusík

MDF – středně tvrdá dřevovláknitá deska

MDF-L – středně tvrdá dřevovláknitá deska s laminem

Ra - průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti

Rz - nejvyšší výška profilu drsnosti

Wa – průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti

Wz - největší výška profilu vlnitosti

Ot - otáčky

min - minuta

m - metr

s - sekunda

et al – a další

PVD - Physical Vapour Deposition

CVD - Chemical Vapour Deposition

D - průměr řezné kružnice

R - poloměr řezné kružnice

$a_p$  - hloubka řezu

$f_z$  – posuv na břit

$h_{stř}$  – střední tloušťka třísky

$h_{max}$  – maximální tloušťka třísky

$v_f$  – velikost posuvu

$\mu m$  - mikrometr

## Seznam obrázků a tabulek

- Obrázek 1 - Základní pojmy u frézování (coptkm.cz, 2019)
- Obrázek 2 - Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Prokeš, 1978)
- Obrázek 3 – Frézování obvodem válcové frézy (Pavrkrej, 2019)
- Obrázek 4 - Frézování čelem čelní frézy (Pavrkrej, 2019)
- Obrázek 5 - Tvar zubu a,b (www.moodle-trebesin.cz)
- Obrázek 6 - PVD a CVD metoda povlakování
- Obrázek 7 - Rozlišení prohlubně a výstupku profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek 8 - Největší výška výstupku profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek 9 - Největší hloubka prohlubně profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek 10 - Největší výška profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek 11 – Celková výška profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek. 12 - Průměrná aritmetická úchylka profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek 13 - Průměrná kvadratická úchylka profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek 14 - Průměrná šířka prvků profilu (Svatoš, 2009)
- Obrázek 15 - Schéma měřicí CCD zařízení (Zmeškal, 2001)
- Obrázek 16 – Schéma PSD (Svatoš, 2009).
- Obrázek 17 – Schéma CLA snímače (www.cs.ubc.ca, 2019).
- Obrázek 18 – Schéma SEM snímače (www.fzu.cz, 2019).
- Obrázek 19 – Schéma piezoelektrického snímače (Svatoš, 2009)
- Obrázek 20 – Schéma indukčního snímače (Svatoš, 2009).
- Obrázek 21 – Schéma interferometrického snímače (Svatoš, 2009).
- Obrázek 22 – Vliv vlhkosti materiálu na drsnost frézovaného povrchu(Coster a Larricq, 2002).
- Obrázek 23 - Znázornění drsnosti a vlnitosti (Machučová, 2015)
- Obrázek 24 – Nomogram hloubky kinematických nerovností (Němec, 1985)
- Obrázek 25 – Spodní frézka FSV
- Obrázek 26 – Podávací zařízení Maggi
- Obrázek 27 – Profilometr
- Obrázek 28 – Elektronový mikroskop
- Obrázek 29 - Frézovací hlava

Obrázek 30 - Vzorky

Obrázek 31 - Vliv druhu nože na ústup řezné hrany

Obrázek 32 - Vliv vzdálenosti na ústup řezné hrany

Obrázek 33 - Vliv vzdálenosti a druhu nože na ústup řezné hrany

Obrázek 34 - CrTiN 400m

Obrázek 35 - CrTiN 800m

Obrázek 36 - CrTiN 2000m

Obrázek 37 - CrTiN 3000m

Obrázek 38 – 5086 400m

Obrázek 39 - 5086 800m

Obrázek 40 - 5086 2000m

Obrázek 41 - 5086 3000m

Obrázek 42 - Vliv druhu nože na drsnost

Obrázek 43 - Vliv druhu nože na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Obrázek 44 – Vliv druhu nože na vlnitost povrchu

Obrázek 45 - Vliv druhu nože na největší výšku profilu vlnitosti

Obrázek 46 - Vliv obrobené vzdálenosti na drsnost

Obrázek 47 - Vliv obrobené vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Obrázek 48- Vliv obrobené vzdálenosti na vlnitost povrchu

Obrázek 49 - Vliv obrobené vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

Obrázek 50 - Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na drsnost

Obrázek 51 - Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Obrázek 52- Vliv druhu nože a vzdálenosti na vlnitost povrchu

Obrázek 53- Vliv druhu nože a vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti



Tabulka 1 - Vliv posuvu na zub a drsnost povrchu ( Keturakis, 2007).

Tabulka 2 - Spodní frézka

Tabulka 3 – Podávací zařízení

Tabulka 4 - Parametry formátovací kotoučové pily

Tabulka 5 – Použité nástroje a jejich vlastnosti

Tabulka 6 – Odebírání vzorků

Tabulka 7 - Nastavení norem

Tabulka 8 - Vliv druhu nože na ústup řezné hrany

Tabulka 9 - Vliv vzdálenosti na ústup řezné hrany

Tabulka 10 - Vliv druhu nože na drsnost

Tabulka 11 - Vliv nože na drsnost povrchu pomocí Duncanova testu.

Tabulka 12 - Vliv druhu nože na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Tabulka 13 - Vliv druhu nože na nejvyšší výšku profilu drsnosti pomocí Duncanova testu

Tabulka 14 - Vliv druhu nože na vlnitost povrchu

Tabulka 15 - Vliv druhu nože na vlnitost povrchu pomocí Duncanova testu.

Tabulka 16 - Vliv druhu nože na největší výšku profilu vlnitosti

Tabulka 17 - Vliv druhu nože na největší výšku profilu vlnitosti pomocí Duncanova testu

Tabulka 18 - Vliv obrobené vzdálenosti na drsnost

Tabulka 19 - Vliv obrobené vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Tabulka 20 - Vliv obrobené vzdálenosti na vlnitost povrchu

Tabulka 21 - Vliv obrobené vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

Tabulka 22 - Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na drsnost

Tabulka 23 - Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Tabulka 24 - Vliv druhu nože a vzdálenosti na vlnitost povrchu

Tabulka 25 - Vliv druhu nože a vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma “Vliv povlaku nástroje na výslednou kvalitu obrobeného materiálu“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Miroslava Sedleckého, Ph.D a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, 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 20.4.2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Miroslavovi Sedleckému, Ph.D., za vedení, zájem, připomínky a čas, který mi věnoval.

Dále děkuji své rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

# Vliv povlaku nástroje na výslednou kvalitu obrobeného materiálu

## Abstrakt

Povlakované materiály na obrábění prochází neustále vývojem, proto je dobré jim věnovat velkou pozornost. Povlakování nástrojů má zajistit jeho delší životnost a zároveň i zlepšit kvalitu obrobené plochy. Tato diplomová práce se zabývá zjištěním vlivu povlaku nástroje CrTiN na výslednou kvalitu obráběného povrchu. Je porovnán s nepovlakovaným nástrojem 5086. Zkoumání probíhalo při válcovém frézování jednostranně laminované MDF desky. Kvalita povrchu obrobeného materiálu se vyhodnocovala pomocí průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti „Ra“ a vlnitosti „Wa“, které byly měřeny kontaktní metodou. Vyhodnocování opotřebení nože bylo měřeno pomocí elektronového mikroskopu. Výsledky ukázaly, že povlak CrTiN nezvýšil kvalitu nástroje, řezná hrana ubývala rychleji než u nepovlakovaného nástroje 5086. Kvalita obrobené plochy u nože s povlakem nebyla rozdílná od nože bez povlaku.

**Klíčová slova:** kvalita povrchu; frézování; povlak; MDF-laminovaná

# **Effect of dulling of the cutting edge on the resulting quality of the machined material**

## **Abstract**

Coated materials for machining are constantly evolving, so pay close attention to them. The coating of the tools is to ensure its longer lifetime and at the same time improve the quality of the machined surface. This diploma thesis deals with the determination of the influence of the CrTiN tool coating on the final quality of the machined surface. It is compared with the uncoated 5086 tool. The surface quality of the machined material was evaluated by average arithmetic deviations of the roughness profile „Ra“ and waviness profile „Wa“. The knife wear evaluation was measured using an electron microscope. The results showed that the CrTiN coating did not increase the quality of the tool, the cutting edge dwindled faster than the uncoated 5086 tool.

**Keywords:** surface quality; milling; coating; MDF-laminated

# 1. Úvod

Frézování je jedna z nejrozšířenějších metod obrábění dřeva a materiálů na bázi dřeva. Dochází při něm k úběru určité části vrstvy materiálu pomocí rotující frézovací hlavy. Rozlišujeme frézování sousledné, u kterého nástroj rotuje ve směru posuvu a nesousledné, kde nástroj rotuje proti směru posuvu. Dále rozlišujeme rovinné frézování a boční frézování (Blažek, 1970).

Při frézování se sleduje hlavně kvalita opracování, kterou ovlivňují především řezné podmínky jako např. rychlost posuvu, otáčky nástroje a tloušťka třísky. Kromě těchto parametrů má velký vliv i ostrost řezných nástrojů, které by se měli vyrábět z materiálů odolávající otupení a na vlastnostech materiálů, které se frézují (typ materiálu, povrchová úprava) (Prokeš, 1982). Při frézování je velmi podstatné další použití obrobku, od kterého se odvíjí kvalita obrobené plochy. V dřívějších dobách se kvalita určovala jen smyslově, kdežto dnes při vyšších nárocích se využívají různé přístroje. K zaznamenání kvality povrchu slouží profilometry, které jsou rozděleny na kontaktní a bezkontaktní (Davim, 2011).

Ve všech odvětvích se usiluje o efektivní využívání času a s ním spojené vyšší produktivitu výroby. V dřevařském odvětví to znamená zajistit kvalitu povrchu obráběného materiálu při prvním průchodu strojem. K tomu by mělo pomoci povlakování nástrojů, které má zajistit větší kvalitu obrobené plochy, větší životnost a tím i šetření finančních prostředků. Trendem dnešní doby je řešení ekologie, která se řeší i u povlakování nástrojů. Za technologii šetrnou k životnímu prostředí je považována metoda povlakování PVD, která vychází z fyzikálního způsobu odpařování materiálu, který je stavebním kamenem výsledného povlaku. U této metody se nepoužívají nebezpečné chemické látky a plyny. Principiálně odlišná CVD technologie povlakování má oproti PVD technologii řadu nevýhod. Jsou jimi především vysoké teploty, používání rizikových plynů a odpady z CVD technologie (Holubář et al., 2006).

Práce se zaměřuje na experiment, kde se zkoumá kvalita obrobené plochy a kvalita nástroje. Pro zkoumání je použit nepovlakovaný nástroj 5086 a nástroj s povlakem CrTiN, kde povlakovaný nástroj má jádro nepovlakovaného. Experiment se provádí z důvodu zjištění, zda povlakovaný nástroj bude vykazovat

menší ústup řezné hrany a lepší kvalitu obrobeného povrchu oproti nepovlakovanému noži. Výsledky zkoumání by měly ukázat, zda se vyplatí z hlediska kvality obráběného povrchu, investovat do nože s povlakem a nebo zůstat u nástroje nepovlakovaného.

## 2. Cíl práce

Nástroj opatřený povlakem má mít pozitivní vliv na výslednou kvalitu frézovaného materiálu a na pomalejší úběr řezné hrany nástroje. Tento vliv se bude vyhodnocovat u nože s povlakem na bázi nitridu chrómu a titanu (CrTiN), který se bude porovnávat s nožem bez povlaku 5086. Jádro nože s povlakem CrTiN je ze stejného materiálu jako nůž bez povlaku. Otupování řezné hrany a zkoumání kvality obráběného materiálu bude probíhat do obrobené vzdálenosti 3000m. Otáčky nástroje budou 6000ot/min. Jako obráběný materiál je zvolena jednostranně laminovaná MDF deska. Materiál bude veden do řezu rychlostí 11m/min. Kvalita povrchu bude hodnocena pomocí průměrné aritmetické úchylky posuzovaného profilu drsnosti (Ra) a průměrné aritmetické úchylky posuzovaného profilu vlnitosti (Wa).

Výsledky diplomové práce by měly posloužit pro zhodnocení, zda má nástroj s povlakem lepší vlastnosti než nástroj bez povlaku, jako je uvedeno výrobcem.

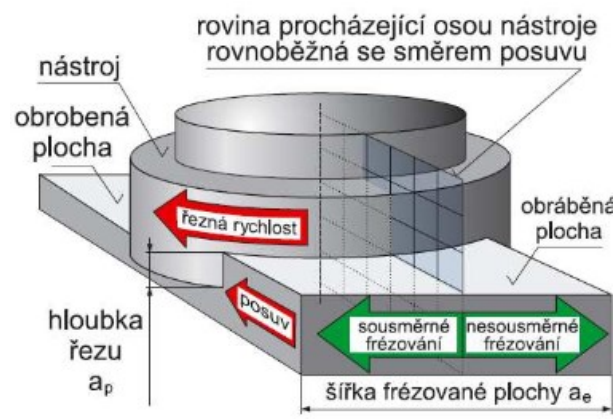


### 3. Rozbor problematiky

#### 3.1 Frézování

Frézováním se nazývá proces obrábění materiálu otáčejícím se nástrojem (frézou). Je to třískové obrábění, kde se úběr třísky mění od minimální po maximální. U frézování hlavní pohyb vykonává nástroj a vedlejšími pohyby jsou posuvný pohyb obrobku a přířuv, který zajišťuje hloubku řezu. Složením těchto pohybů vznikne cykloidní pohyb. Frézování slouží pro obrábění rovinných a tvarových ploch, k tvorbě drážek, polodrážek nebo profilů do dřeva. Účel frézování je úprava dílce na vyžadované rozměry, tvary a kvalitu povrchu (Kvietková, 2015).

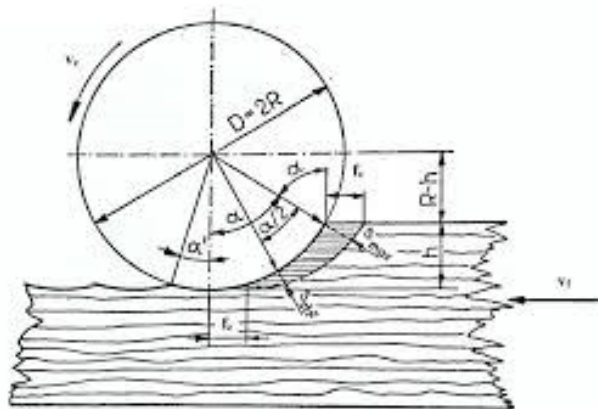
Frézování je výrobní metoda obrábění, při které je odebírán materiál obrobku zuby vícebřitého nástroje, který rotuje kolem své osy. Posuv materiálu je převážně ve směru kolmém k ose nástroje (Rousek a kol., 2003).



Obr. 1: Základní pojmy u frézování (coptkm.cz, 2019)

### 3.1.1 Kinematika frézování

Kinematika odebrání třísky při frézování je uvedena na obrázku 2. Ve skutečnosti se však průřez třísky může lišit od nominálního průřezu vlivem odchylek břitů od řezné kružnice, otupení břitu, nepřesnosti chodu vřetena, nepravidelnosti chodu podávacího zařízení a vlivem odštipování a nehomogenosti hmoty obráběného materiálu. Dráha břitu vytváří cykloidu, řezná rychlost je u větších průměrů frézovacích nástrojů v poměru k rychlosti posuvu hodně vysoká, takže na úseku záběru břitu lze předpokládat, že jeho řezná dráha vytváří kružnici. Břit je během jedné otáčky v záběru na délce oblouku  $l$ , který přísluší středovému úhlu  $\varphi' + \varphi$ . Úhel  $\varphi'$  je velmi malý, a proto se při výpočtu délky třísky uvažuje úhel  $\varphi$ . (Prokeš, 1978)



Obr. 2: Schéma oddělování třísky při válčovém frézování (Prokeš 1978)

$D$ -Průměr řezné kružnice,  $R$ - poloměr řezné kružnice,  $a_p$ - hloubka řezu,  $f_z$  – posuv na břit.  $h_{stř}$  – střední tloušťka třísky,  $h_{max}$  – maximální tloušťka třísky,  $v_f$  – velikost posuvu

➤ **Teoretická délka třísky**

Teoretická délka třísky se vypočte podle vzorce 1.

$$l = R \sqrt{2 \frac{a_p}{R}} = \sqrt{a_p \times D} = \frac{f_z \times a_p}{h_{stř}} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

kde : D – průměr řezné kružnice (mm)

R- poloměr řezné kružnice (mm)

$a_p$  – hloubka řezu (mm)

$f_z$  – posuv na břit (mm)

$h_{stř}$  – střední tloušťka třísky (mm).

➤ **Teoretická střední tloušťka třísky**

Teoretická střední tloušťka třísky se vypočte podle vzorce 2.

$$h_{stř} = \frac{f_z \times a_p}{l} \approx \frac{f_z \times a_p}{\sqrt{a_p \times D}} \approx f_z \sqrt{\frac{a_p}{D}} \approx \frac{v_f \times 1000}{n \times z} \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

➤ **Teoretická maximální tloušťka třísky**

Teoretická maximální tloušťka třísky se vypočte podle vzorce 3.

$$h_{max} \approx f_z \times \sin \varphi \approx 2 \times h_{stř} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

kde: D – průměr řezné kružnice (mm)

$a_p$  – hloubka řezu (mm)

$f_z$  – posuv na břit (mm)

l – teoretická délka třísky (mm)

n – počet otáček za minutu

z – počet břitů nástroje

$v_f$  – velikost posuvu (m.min-1)

$h_{stř}$  -střední tloušťka třísky (mm)

➤ **Řezná rychlost**

Řezná rychlost se vypočte podle vzorce 4.

$$v = \frac{\pi \times D \times n}{60 \times 1000} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (4)$$

kde: D – průměr řezné kružnice (mm)

n – počet otáček za minutu

➤ **Posuv na jednu otáčku nástroje**

Posuv na jednu otáčku nástroje se vypočte podle vzorce 5.

$$f_n = \frac{v_f \times 1000}{n} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

➤ **Posuv na jeden břit**

Posuv na jeden břit se vypočte podle vzorce 6.

$$f_z = \frac{v_f \times 1000}{n \times z} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

➤ **Velikost posuvu**

Velikost posuvu se vypočte podle vzorce 7

$$v_f = \frac{f_z \times z \times n}{1000} = \frac{f_n \times n}{1000} \quad [\text{m.min}^{-1}] \quad (7)$$

kde: n – počet otáček za minutu

z – počet břitů nástroje

$v_f$  – velikost posuvu (m.min-1) (Prokeš, 1978)

## 3.2 Nástroje pro frézování

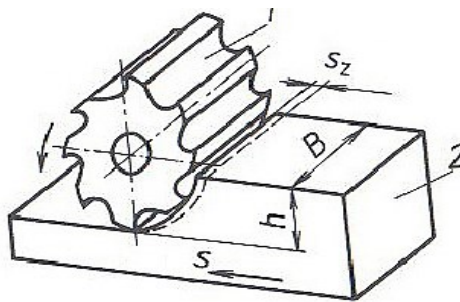
### 3.2.1 Konstrukce nástrojů pro frézování

Výkon strojů na obrábění dřeva, kvalita opracovaných ploch a bezpečnost práce souvisí se správnou konstrukcí, materiály nástrojů a s úhlovými parametry nástrojů. Nástroje pro klasické opracování dřeva jsou charakterizovány velikostí, tvarem, počtem břitů i řeznými úhly (Lisičan, 1992).

**Frézy můžeme rozdělit do skupin podle několika hledisek:**

**Podle funkce:**

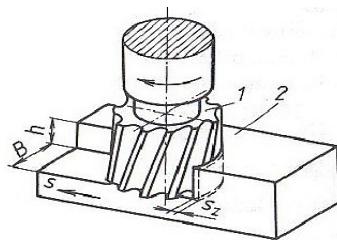
- a) frézy k obrábění rovinných ploch
  - Válcové frézy- řezné nože rozmístěné jen po válcové ploše a jsou určeny pro frézování rovinných ploch rovnoběžných s osou nástroje.



Obr. 3 : Frézování obvodem válcové frézy (Pavrkrej,2019)

1 -fréza, 2- obrobek, B- šířka obrobku, h- hloubka řezu, S- posuv, Sz- posuv na zub

- Čelní frézy- řezné nože jsou i na čelní ploše a na frézovacích hlavách jen na čelní ploše. Fréza vykonává pohyb rotační.



Obr. 4: Frézování čelem čelní frézy (Pavrkrej,2019)

1-fréza, 2- obrobek, B-šířka obrobku, h- hloubka řezu, S-posuv, S2- posuv na zub

b) frézy pro obrábění drážek

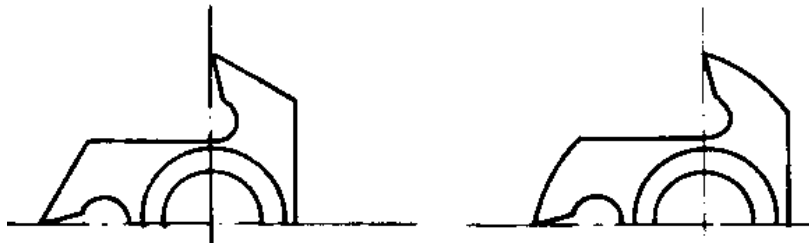
- Drážkovací frézy- nástroje bez nerozebíratelně spojených nebo vyměnitelných částí. Řezné části jsou jen z jednoho kusu materiálu.
- Kotoučové frézy- zuby jsou rozmístěny po obvodu i na obou čelních plochách. Pro frézování drážek a pro čelní frézování bočních rovin.

c) frézy pro obrábění tvarových ploch

- Zaoblení vyduté
- Zaoblení vypouklé
- Tvarové úhlové

**Podle provedení tvaru zubů**

- Frézy s frézovanými zuby- mají rovné břity, brousí se na hřbetech a přitom se jejich průměr stále zmenšuje.
- Frézy podsoustružené- ostřením se nemění řezné úhly, což má velký význam hlavně u tvarových fréz



Obr. 5: Tvar zubu a,b ([www.moodle-trebesin.cz](http://www.moodle-trebesin.cz))

**Podle uspořádání řezných nožů**

- a) nože ve šroubovici (břitové destičky)
- b) nože přímé.

**Podle počtu dílů**

- a) celistvé (nerozebíratelné)
- b) s upnutými noži nebo zuby (nerozebíratelné)
- c) dělené, složené obvykle ze dvou až tří kružců
- d) nástrojové komplety.

**Podle způsobu upnutí**

- a) stopkové
- b) nástrčné.

**Podle směru otáčení**

- a) levotočivé a pravotočivé
- b) obousměrné frézy.

**Podle tvaru obrobené plochy**

- a) srovnávací
- b) drážkovací
- c) pérovací
- d) čepovací
- e) zkosovací
- f) tvarové pro frézování jednostranných profilů
- g) vyduté
- h) vypouklé
- i) profil ve tvaru V.

### **3.2.2 Nástrojové materiály pro obrábění dřeva**

Břit je nejdůležitější částí nástroje, závisí na něm průběh procesu obrábění a produktivita. Je proto nutné věnovat velkou pozornost výběru materiálu nástroje. Hlavní vlastnosti řezného nástroje jsou jeho tvrdost, pevnost, houževnatost, odolnost proti otěru a tepelná odolnost. Jeho tvrdost musí být minimálně o 6HRC více než u obráběného materiálu.

#### **3.2.2.1 Přehled a charakteristika druhů materiálů pro obrábění**

##### **Nástrojové oceli**

Nacházejí se ve třídě 19 a rozdělují se na nástrojové oceli legované a nelegované. V současnosti se využívají více legované oceli, kde hlavní legující prvky jsou chrom, wolfram, vanad, molybden, křemík, kobalt a nikl. U nelegovaných ocelí má největší vliv obsah uhlíku, přičemž tvrdost oceli stoupá se zvyšujícím procentem uhlíku. Nástrojové oceli vynikají houževnatostí při dobré tvrdosti a odolností proti otupení u rostlého dřeva. Nejsou moc odolné proti opotřebením abrazivními materiály, kterými jsou aglomerované materiály, ale i exotické dřeviny nebo topol.

##### **Rychlořezné oceli**

Jsou uváděny jako samostatná skupina legovaných nástrojových ocelí a to především kvůli svým specifickým vlastnostem. Obsahují molybden, chrom, wolfram, kobalt. Obsah uhlíku se je méně než jedno procento. Jsou zušlechťovány ohřátím nad 1270° C a následným kalením a popouštěním.

Rychlořezné oceli se používají na břity fréz pájených, jako řezné elementy mechanicky upevňované na hoblovací nože, tvarové nože do fréz s VBD.

##### **Slinuté karbidy**

Vyrábí se práškovou metalurgií z různých karbidů a kovového pojiva. Mezi hlavní karbidy se řadí karbid wolframu, karbid titanu, karbid niobu, karbid tantalu a jako pojivo kobalt. Slinuté karbidy nelze tepelně zpracovávat, jsou směsí dvou fází. Pájí se nebo se mechanicky upevňují na řeznou část nástroje.



Pro lepší vlastnosti se povlakuje a to těmito materiály: nitrid titanu, karbonitrid titanu a karbid titanu.

Slinuté karbidy jsou odolnější proti otupení abrazivními materiály. Dají se aplikovat na všechny materiály. Jsou nejpoužívanějšími materiály břitů pro dřevní materiály.

### **Polykrystalický diamant**

Nejtvrdším známým materiálem je přírodní monokrystalický diamant, jehož tvrdosti syntetický polykrystalický diamant téměř dosahuje. Jemné krystalky diamantu jsou slisovány za vysokých tlaků a teplot, přičemž poloha krystalů je náhodná. Jde o práškovou technologii. Na slinutý karbid se aplikuje vrstva diamantového prášku s pojivem (Kocman, 2001).

Polykrystalický diamant je moderní nástrojový břit na abrazivní materiály. Méně vhodný je na frézování rostlého dřeva.

### **3.2.2.2 Povlakování nástrojů**

Hlavním smyslem nanášení povlaku na nástroje je zlepšení jejich požadovaných vlastností a zajištění dlouhodobé funkce s ohledem na kvalitu opracovávaného materiálu (Sheikh-Ahmad et al., 2003).

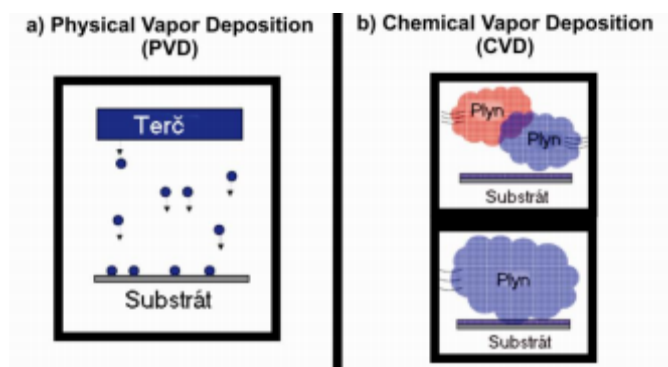
V místě kontaktu ostří a obráběného materiálu panují extrémní tlakové a tepelné podmínky, které působí negativně na životnost nástroje. Proto je vhodné nástroje opatřit povlakem, který nástroj chrání. Povlak je tedy brán jako bariéra proti vnikání tepla do nástroje. Další výhodou povlakování je kluzný povrch, který se pozitivně projevuje menším odporem při obrábění (Zemčík, 2003).

Aplikace tenkých vrstev je realizováno na hotový tepelně zpracovaný podklad jako konečný proces. Povrch substrátu musí být očištěný, aby povlak přilnul. Povlakování tkví v tom, že se na podkladový materiál nanese velice slabá vrstva, která má vysokou pevnost a tvrdost oproti substrátu. Tenká vrstva povlaku vytváří bariéru na podkladový materiál vůči mechanickým, fyzikálním a chemickým opotřebením nástroje (Humár, 2008).

Povrchová úprava nástrojů se nejen zlepšuje funkční vlastnosti, ale i zvětšuje možnost využití v jiných oborech (Gogolewski et al., 2009).

Velký vliv na přilnavost povlaků má úprava břitů před povlakováním. Jde především o čistotu povrchu nástroje. Očištění povrchu se provádí několika způsoby. Mezi nejčastější způsoby patří mokré čištění, pískování, odmaštění, odjehlení (Holubář et al., 2005).

Za hlavní charakteristický rozdíl je brán styl přípravy vrstvy, tj. z pevného terče u PVD (Physical Vapour Deposition) metod a z plynné fáze u CVD (Chemical Vapour Deposition), viz. obrázek 6.



Obr. 6: PVD a CVD metoda povlakování

#### ➤ **Metoda CVD**

Metoda CVD je chemickým způsobem povlakování. Dochází k reakcím chemických sloučenin ( $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$  atd.), které jsou v plynném stavu přiváděny k substrátu. Chemická reakce probíhá při vysoké teplotě, většinou  $900 - 1050^\circ\text{C}$ , přičemž pracovní tlaky jsou  $50 - 500$  mbar (Pastor et al., 1979).

#### ➤ **Metoda PVD**

Proces povlakování metodou PVD probíhá ve vakuu za teplot mezi  $150$  a  $500^\circ\text{C}$ . Je považována za neekologičtější metodu, protože při deponování se neužívá žádný nebezpečný materiál a tudíž nedochází k uvolnění toxických látek.

Princip spočívá v tom, že se pevné látky odpaří nebo odpraší v řízené atmosféře. Povlak se vytvoří při tlaku mezi  $0,1 - 10$  Pa ve vakuové komoře, do

které je vpouštěn pracovní plyn. Pracovním plynem může být např. dusík nebo argon. Někdy se používá klasický odporový ohřev.

Proces PVD se dá popsat ve třech krocích:

- Převod deponovaného materiálu do plynné fáze
- Transport par ze zdroje k substrátu
- Vytváření vrstvy na povrchu substrátu

Podle způsobu získávání kovových iontů rozdělujeme na metody:

- Napařování
- Naprašování
- Iontová implantace (Humár, 2008)

### **3.3 Problematika kvality obrobených ploch**

Pro správné zpracování výsledků je zapotřebí znát několik základních pojmů, které pomůžou nastavit a použít přístroj na měření. Mezi tyto pojmy patří různé typy profilů, parametrů a filtrů. Všechny pojmy jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 11562(2012), ČSN EN ISO 4287(1999), ČSN EN ISO 4288(1999).

#### **3.3.1 Základní pojmy metrologie povrchu**

Hodnocení nerovností povrchu se vyznačují dvěma základními pojmy, kterými jsou struktura povrchu a nedokonalost povrchu. Struktura povrchu je tvořena náhodnými nebo opakovanými úchytkami od geometrického povrchu, který je trojrozměrnou topografií povrchu. Pod nedokonalostí povrchu se rozumí rýhy, trhliny, póry atd. náhodně způsobené během výroby (Chlachula, 2007).

Typy nerovností se měří a hodnotí jednotlivě. Pro rozdělení povrchu na složky podle rozteče nerovností se využívá řada filtrů. Kvalitní měření je zabezpečeno volbou správného filtru.

Podle ČSN EN ISO 11562 (2012) se druhy filtrů určují následovně:

- **filtr  $\lambda_s$**  – rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln
- **filtr  $\lambda_c$**  – rozhraní mezi drsností a vlnitostí
- **filtr  $\lambda_f$**  – rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln

Podle ČSN EN ISO 4287 (1999) se dělí profily povrchu na 3 typy:

- **základní profil (P)** – základem pro posuzování parametrů základního profilu (profil vzniklý aplikací filtru  $\lambda_s$  pro odfiltrování krátkovlnných složek)
- **profil drsnosti (R)** – profil odvozený ze základního profilu použitím filtru  $\lambda_c$ , slouží jako základ pro hodnocení parametrů profilu drsnosti
- **profil vlnitosti (W-profil)** – odvozený postupnou aplikací filtru profilu  $\lambda_f$  a filtru  $\lambda_c$  na základní plochu profilu a tvoří základ pro hodnocení parametrů profilu vlnitosti (Chlachula, 2007).

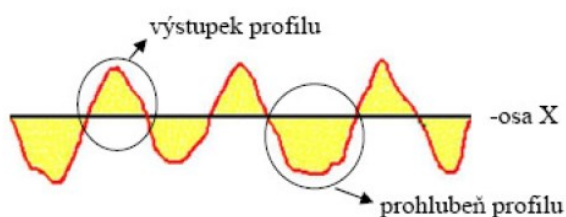
Pro kontrolu povrchu se používá správná hodnota základní délky, která musí být dostatečně velká, aby byla statisticky významná.

Podle ČSN EN ISO 4288 (1999) rozdělujeme délky:

- **Základní délka**- délka, na které jsou měřeny jednotlivé parametry.
- **Vyhodnocovaná délka** – délka pro vyhodnocování profilu má jednu nebo více základních délek, výsledek měření je průměrná hodnota ze základních délek.
- **Délka snímání**- odpovídá vyhodnocované délce zvětšené o krátký rozběh a doběh.

### 3.3.2 Parametry metrologie povrchu

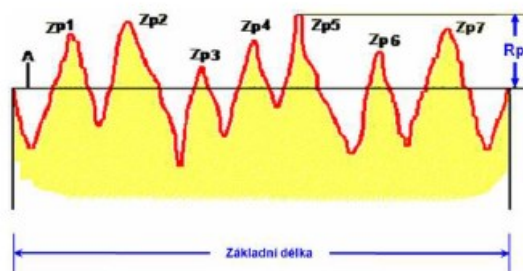
Pro každé posuzování povrchu se rozlišují základní geometrické parametry. Profil je složen z prohlubní a výstupků, které se vyznačují svou výškou  $Z_p$  nebo hloubkou  $Z_v$  od osy X. Prohlubeň a výstupek spolu tvoří prvek profilu. Prvek se vyznačuje svou výškou  $Z_t$  a šířkou  $X_s$  jako délka úseku osy X protínající prvek profilu (Chlachula, 2007).



Obr. 7: Rozlišení prohlubně a výstupku profilu (Svatoš, 2009)

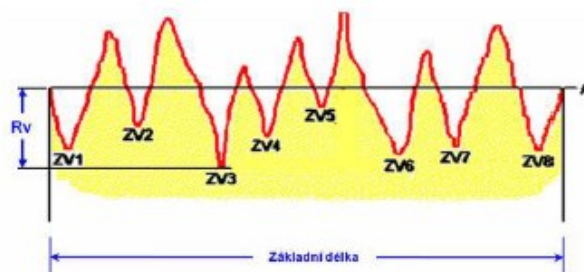
#### 3.3.2.1. Výškové parametry

Největší výška výstupku profilu  $P_p$ ,  $R_p$ ,  $W_p$ : výška  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky.



Obr. 8: Největší výška výstupku profilu (Svatoš, 2009)

Největší hloubka prohlubně profilu  $P_v$ ,  $R_v$ ,  $W_v$ : hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky.



Obr. 9: Největší hloubka prohlubně profilu (Svatoš, 2009)

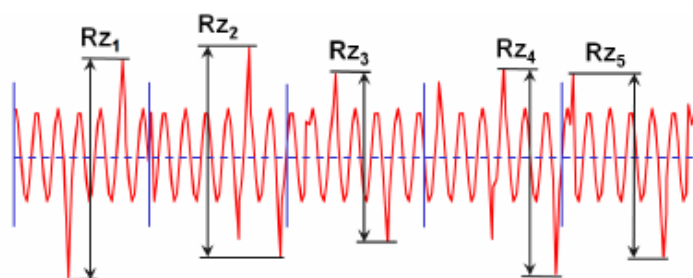
Největší výška profilu  $P_z$  ( $\mu\text{m}$ ),  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ),  $W_z$  ( $\mu\text{m}$ ): součet výšky  $Z_p$  ( $\mu\text{m}$ ) nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.  $R_z$  se vypočte podle vzorce 8 a  $W_z$  podle vzorce 9.

$$R_z = (R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5} \dots) / n \quad [\mu\text{m}] \quad (8)$$

kde : n-počet základních délek.

$$W_z = (W_{z1} + W_{z2} + W_{z3} + W_{z4} + W_{z5} \dots) / n \quad [\mu\text{m}] \quad (9)$$

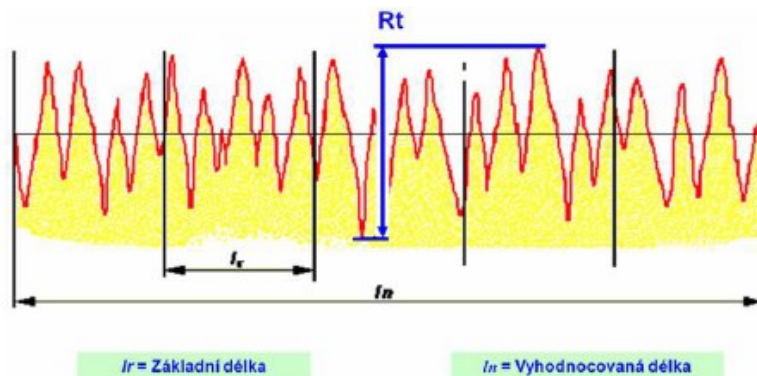
kde : n-počet základních délek.



Obr. 10: Největší výška profilu (Svatoš, 2009)

Průměrná výška prvků profilu  $P_c(\mu\text{m})$ ,  $R_c(\mu\text{m})$ ,  $W_c(\mu\text{m})$ : průměrná hodnota výšek  $Z_t$  prvků profilu v rozsahu základní délky.

Celková výška profilu  $P_t$ ,  $R_t$ ,  $W_t$ : součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnížší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky.

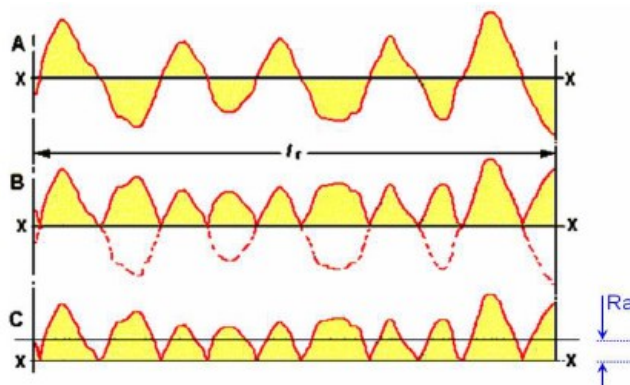


Obr. 11: Celková výška profilu (Svatoš, 2009)

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného povrchu  $P_a(\mu\text{m})$ ,  $R_a(\mu\text{m})$  viz. vzorec 10,  $W_a(\mu\text{m})$  viz. vzorec 11, aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky.

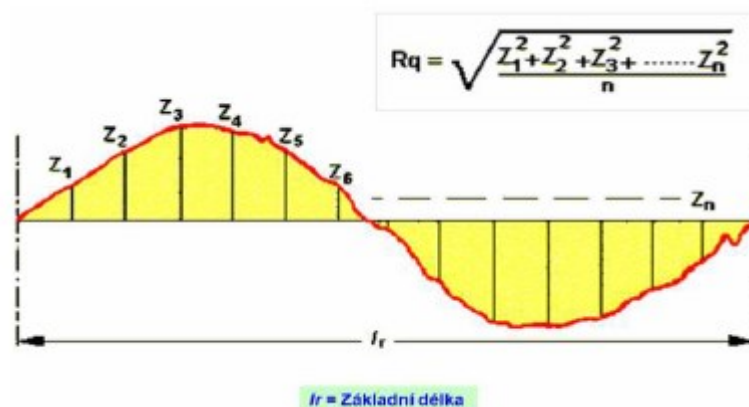
$$R_a = (R_{a1} + R_{a2} + R_{a3} + R_{a4} + R_{a5} \dots) / n \quad [\mu\text{m}] \quad (10)$$

$$W_a = (W_{a1} + W_{a2} + W_{a3} + W_{a4} + W_{a5} \dots) / n \quad [\mu\text{m}] \quad (11)$$



Obr. 12: Průměrná aritmetická úchylka profilu (Svatoš, 2009)

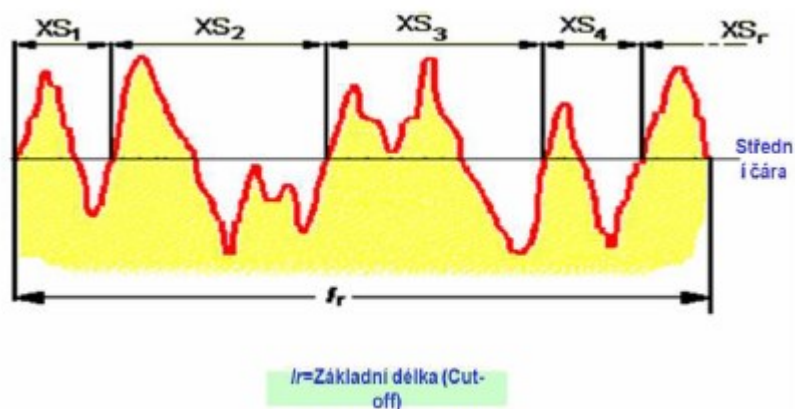
Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu  $Pq$ ,  $Rq$ ,  $Wq$ : kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky.



Obr. 13: Průměrná kvadratická úchylka profilu (Svatoš, 2009)

### 3.3.2.2 Délkové parametry

Průměrná šířka prvků profilu  $PSm$ ,  $RSm$ ,  $WSm$ : aritmetický průměr šířek  $Xs$  prvků profilu v rozsahu základní délky.



Obr. 14: Průměrná šířka prvků profilu (Svatoš, 2009)



### 3.3.3 Metody hodnocení povrchu

Kvalita obrobeného povrchu se dá klasifikovat různými styly, všechny mají ovšem své výhody i nevýhody (Novák, 2011).

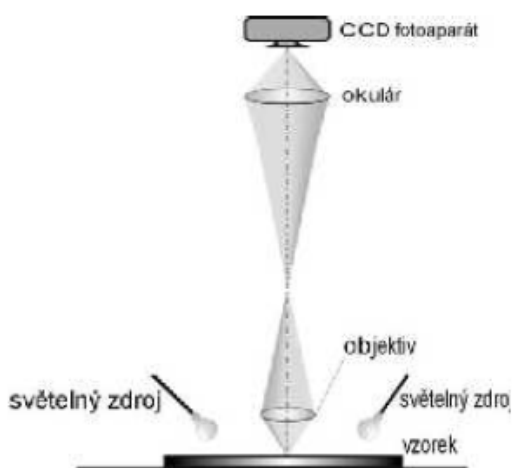
#### 3.3.3.1 Bezdotykové metody

Jde o moderní optické zařízení, u kterých je snímací hrot nahrazen paprskem elektromagnetického záření, tím je vyloučeno poškození povrchu měřené součásti. Výhodou je nedestruktivnost, možnost kontinuální kontroly, měření větší části povrchu než u kontaktních metod a opakovatelnost procesu. Nevýhodou však je, že měření topografie povrchu je měření nepřímé. To má za následek porovnání experimentálně získaných výsledků z těchto přístrojů s hodnotami obdržnými kontaktním profilometrem (Novák, 2011).

Dělení podle použitého snímače:

➤ Fotometrické hodnocení

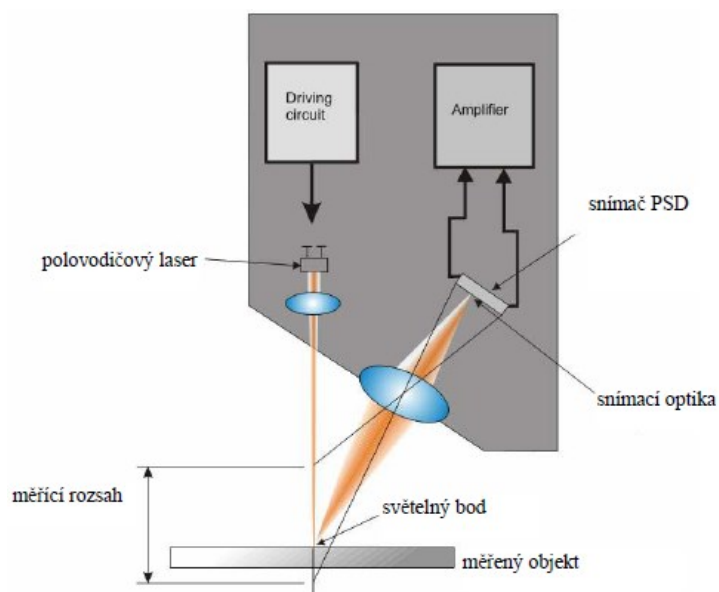
Princip je založen na snímkování povrchu CCD kamerou, která se nachází na stojanu nad snímanými vzorky (výškově nastavitelné). Vzniklé snímky se zpracují pomocí softwarového vybavení. Tímto způsobem lze vyhodnocovat hloubku a šířku vlnky (Zmeškal, 2001).



Obr. 15: Schéma měřicí CCD zařízení (Zmeškal, 2001)

➤ Laserový triangulační snímač (PSD)

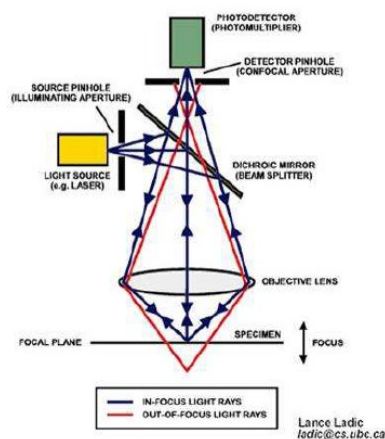
Úzký laserový svazek generovaný polovodičovým laserem je odražen od objektu zpět. Změna vzdálenosti objektu, tudíž i změna úhlu, pod kterým je svazek odražen zpět, se ve snímači ukáže jako změna místa na detektoru, kam svazek dopadne. Tento snímač je fotocitlivý prvek, u kterého se protékající proud mění v závislosti na poloze dopadu laserového paprsku. Závislost proudu na místě dopadu světla je silně nelineární. O linearizaci a vyhodnocení polohy se stará mikroprocesor. V tomto pořadí dosahuje snímač doby odezvy kratší než 1 ms. Tyto údaje jsou vyhodnoceny mikroprocesorem uvnitř snímače. Snímač je velmi rychlý a poměrně levný. Nevýhodou je proměnlivá velikost bodu a má omezené rozlišení (Svatoš, 2009).



Obr. 16: Schéma PSD (Svatoš, 2009).

➤ Konfokální snímač (CLA)

Princip tkví v rozložení bílého světla. Pomocí optiky se spektrální aberací je směřováno na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na CCD senzor, kde je každému bodu přiřazena prostorová poloha. Výhodou snímače je rychlé snímání ve vysokém rozlišení (Svoboda, 2011).



Obr. 17: Schéma CLA snímače (www.cs.ubc.ca,2019).

➤ Elektronový mikroskop (SEM)

Metoda spočívá v interakci vysoce energetického paprsku elektronů s povrchem vzorku a na měření energie elektronů povrchem odražených a emitovaných.



Obr. 18: Schéma SEM snímače (www.fzu.cz, 2019).

### 3.3.3.2 Dotykové metody

Dotykové metody jsou momentálně nejrozšířenějšími měřicími prostředky. Přístroje, nazývané jako drsnoměry, zajišťují přímé měření a z nich pořízené data často slouží k porovnání s daty obdržených z jiných metod. Výhoda drsnoměrů je vysoká citlivost, přesnost, reprodukovatelnost měření, převod analogového signálu do digitální formy a poskytnutí všech parametrů profilu povrchu dle mezinárodních norem (Novák, 2011).

Přístroje se skládají z posuvné a měřicí jednotky, raménka a snímače.

Druhy snímačů:

➤ Piezoelektrický snímač

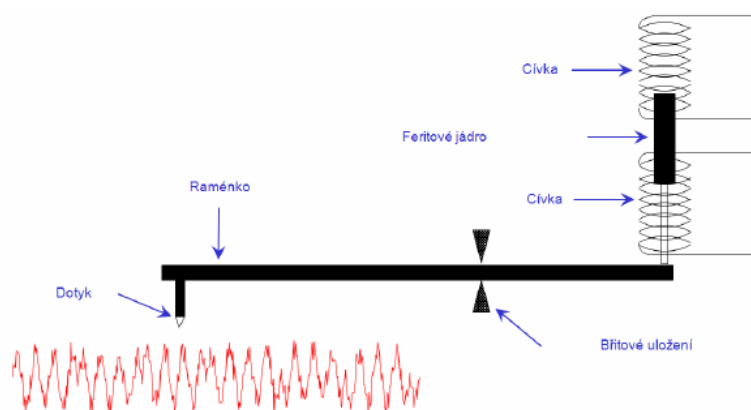
Využívá piezoelektrického jevu krystalu, jehož schopností je generovat napětí při jeho deformování. Mezi výhody se řadí použití pro malé kapesní přístroje, jednoduchost vyhodnocovací elektroniky a velmi dobrá odezva na vysokých frekvencích. Nevýhodou je citlivost na teplotu a vlhkost a malý rozsah snímače.



Obr. 19: Schéma piezoelektrického snímače (Svatoš, 2009)

➤ Indukční snímač

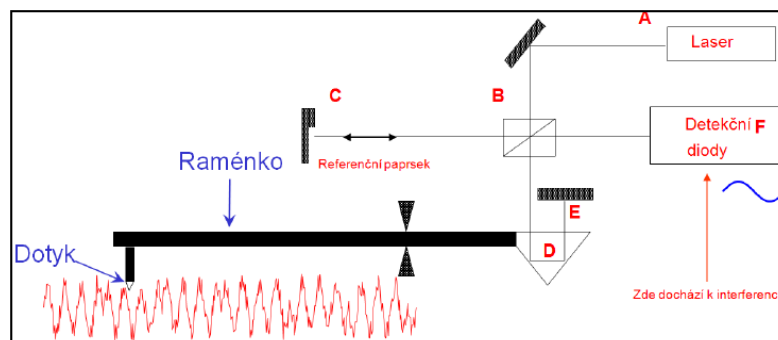
Pracuje na principu diamantového hrotu, který je na snímacím raménku posouván po povrchu materiálu. Vertikální pohyb hrotu při přechodu výstupků a prohlubní je indukčním měřidlem převáděn na elektrický signál. Výhodou je malá měřicí síla, což minimalizuje nebezpečí poškození měřeného povrchu. Snímač pracuje ve vysokém rozlišení, tudíž lze měřit s vysokou přesností. S indukčním snímačem je také možno měřit i vnitřní povrchy (Novák, 2011).



Obr. 20: Schéma indukčního snímače (Svatoš, 2009).

➤ Interferometrický laserový snímač

Je považován za jeden z nejpresnějších snímačů, jednotkou délky je využívána vlnová délka světla helium neonového laseru 0,633 mikrometru. Principem je, že se světlo na sledovaném předmětu odrazí zpět a počítají se vlnové délky, které se vejdu do proběhnuté dráhy světla. Vlnové délky se monitorují pomocí interference světla. Měřicí paprsek vráceným zrcadlem předmětu se nechá v interferometru interferovat s referenčním paprskem odraženým od pevného zrcadla. Vlnové délky měřicího paprsku se v místě interference posouvají a mění fázi k referenčnímu paprsku s frekvencí úměrnou rychlosti předmětu. Snímací fotodioda snímá intenzitu interferovaného světla – každé zatmění reprezentuje jednu vlnovou délku. V základním uspořádání s jednofrekvenčním laserem je snímaná frekvence nulová, je-li předmět v klidu. Bez dalších opatření nelze rozpoznat směr pohybu. Kolísání intenzity paprsku je snímáno jako pohyb předmětu. Tento snímač má extrémně vysokou přesnost a linearitu, velký rozsah při vysokém rozlišení, které není závislé na rozsahu snímače (Svatoš, 2009).



Obr. 21: Schéma interferometrického snímače (Svatoš, 2009).

### 3.4 Vliv různých činitelů na kvalitu obráběného povrchu

#### 3.4.1 Druh materiálu

Frézování je ovlivněno mechanickými a fyzikálními vlastnostmi obráběných materiálů. U dřeva jsou to u mechanických vlastností například tvrdost, plastičnost, pevnost a u fyzikálních vlastností objemová hmotnost, tepelná vodivost, hygroskopicitá a řada dalších. Tyto vlastnosti jsou závislé na anatomické a chemické stavbě, kterou má každá dřevina rozdílnou. Proto druh dřeviny můžeme považovat za základního nositele podmínek při obrábění.

Objemová hmotnost určuje tvrdost dřeva, kde při větší tvrdosti dřeva stoupá i řezný odpor. Vzhledem ke kvalitě obrobeného povrchu je vyšší tvrdost pozitivní. Povrch tvrdších dřevin je po obrábění hladší než povrch měkkých dřevin s nižší objemovou hmotností (Němec a kol., 1985).

Hustota dřeva nemá jasně daný vliv na drsnost povrchu dřeva, větší vliv má spíše stavba dřeva (Thoma et al, 2015).

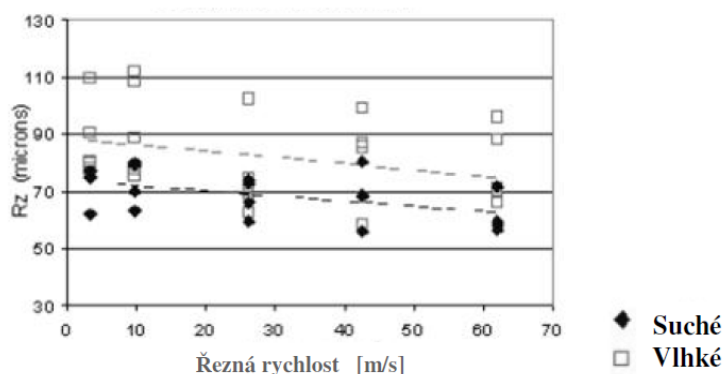
Kvalita povrchu velmi ovlivňuje i stáří materiálu, kde stárnutí materiálu má neblahý vliv (Ostman, 1983).

### 3.4.2 Vlhkost materiálu

Je známo, že se zvyšující vlhkostí se kvalita povrchu zhoršuje. Nejhorší výsledky se prokázaly při vlhkosti od 27 do 30% ( Varkoček, 2001).

Vlhkost ovlivňuje plastickou i pružnou deformaci, která působí na tření o břit. Vlivem vody volné je zmenšen koeficient tření mezi nástrojem a obrobkem, kvůli tomu je při krácení navlhčeného dřeva řezný odpor malý. Naproti tomu zvýšený řezný odpor vzniká při uzavřeném řezání kvůli pružné deformaci, která svírá nástroj (Prokeš 1965).

Rozdíl v drsnosti povrchu suchého a vlhkého dřeva při frézování můžeme vidět na obrázku 7 (Coster a Larricq, 2002).

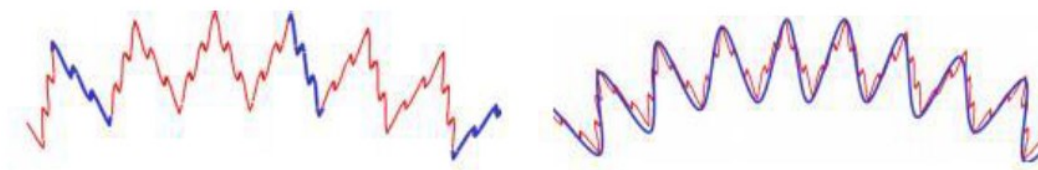


Obr.22: Vliv vlhkosti materiálu na drsnost frézovaného povrchu (Coster a Larricq, 2002).

### 3.4.3 Vlnitost a drsnost

Každý i ten nejdůkladněji obrobený povrch se vyznačuje určitou vlnitostí, popř. drsností. Vlnitost se vyznačuje rovnoměrnými opakujícími se vyvýšeninami a prohlubeninami skoro stejného tvaru i rozměru. Oproti tomu drsnost se vyznačuje makroskopickými a mikroskopickými prohlubeninami, rýhami, lehce vytrhanými svazky dřevních vláken, kde tyto nerovnosti jsou většinou nepravidelné. Znázornění drsnosti a vlnitosti je na obrázku 8 (Prokeš, 1978).

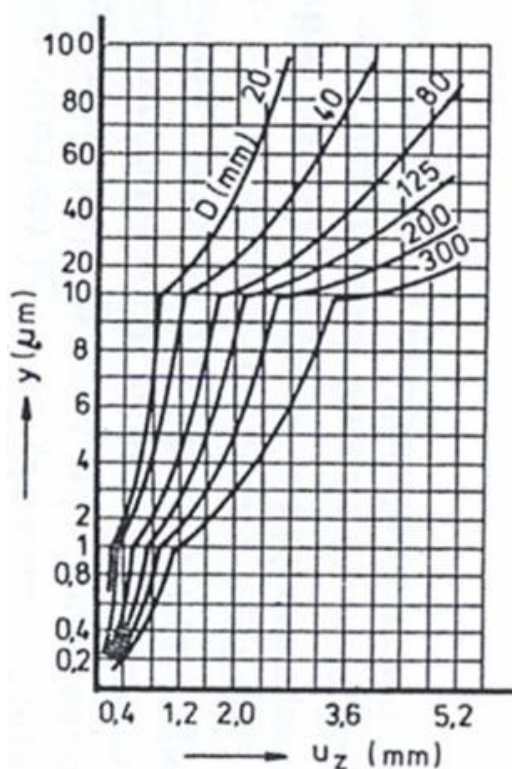
Vlnitost a drsnost jsou velmi malé odchylky od ideální rovné plochy, na rozdíl od rozměru a tvaru. Zatímco nepřesnost rozměrů a tvaru mohou zapříčinit velké ztráty materiálu, vlnitost a drsnost ovšem mají vliv i na následnou povrchovou úpravu a estetiku obrobku (Varkoček et al, 2001)



Obr. 23: Znázornění drsnosti a vlnitosti (Machučová, 2015)

### 3.4.4 Posuvná rychlost

Posuvná rychlost je pokládána za faktor, který ovlivňuje kinematické nerovnosti, jelikož má přímý vliv na délku vlnek. Délka vlnek je teoreticky posuv na jeden zub nástroje. Čím je rychlejší posuv obrobku, tím je větší. Na obrázku 9 je nomogram, který vyjadřuje závislost hloubky kinematických nerovností  $y$  na velikosti posuvu na zub  $u_z$  a průměru nástroje (Němec, 1985).



Obr. 24: Nomogram hloubky kinematických nerovností (Němec, 1985)

Při zvyšující se posuvné rychlosti se kvalita povrchu zhoršuje. Je známo, že nejvíce kvalitní frézované plochy vznikají při posuvech na tub  $u_z = 0,1-0,15$  mm.



Nejlepší kvality z hlediska drsnosti lze dosáhnout při nízkých podávacích rychlostech a vysokých řezných rychlostech (Bajić et al., 2008).

Vliv posuvu na zub na parametr drsnosti jsou uvedeny v tabulce 1 (Keturakis, 2007).

Tab. 1: Vliv posuvu na zub a drsnost povrchu (Keturakis, 2007).

Posuv na zub $u_z$ mm	Drsnost $R_m$ $\mu\text{m}$
0.1 - 0.4	32
0.4-1.0	60
1.0-1.5	100
1.5-2.0	200
2.0-2.5	320
2.5-3.0	500

### 3.4.5 Řezná rychlost

Řezná rychlost má vliv na kinematické nerovnosti povrchu a na kvalitu odřezávání dřevních vláken. Při vyšší řezné rychlosti jsou tyto nerovnosti menší a jakost povrchu lepší. Díky vyšší řezné rychlosti se omezuje vytrhávání svazků dřevních vláken (Němec a kol., 1985).

Posuv na zub a otáčky nástroje se navzájem ovlivňují a nelze je měnit libovolně. Při malé rychlosti posuvu je riziko vzniku třecího tepla a vznik rýh s větším opotřebením nožů. Na obrobeném materiálu se objevují vypálená místa a břit je rychleji tupý (Nutsch a kol., 1999).

Při změně řezné rychlosti a udržování posuvu na zub se stálým úběrem třísky 0,2mm je vidět velká proměnlivost při frézování v podélném směru v porovnání s příčným směrem (Costes a Larricq, 2001)

### **3.4.6 Vliv otupení břitu**

Otupováním lze nazývat jako změnu mikrogeometrie břitu během obrábění. Nástroj se považuje za tupý, pokud je obrobený povrch horší kvality a zvýšila se řezná síla (Varkoček a kol., 2004).

Negativní nebo otupený břit má za následek vytrhávání vláken a tím destrukci obrobku. Opotřebení břitu nástroje se projeví také v silových poměrech obrábění. Zvýší se řezné síly působící na nástroj a potřebný výkon vřetene bude stoupat. Opotřebení nástroje má za následek výrobu nepřesných výrobků. Kdyby otupení nadále stoupalo, může nastat i nežádoucí destruktivní lom nástroje ([www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)).

## 4. Metodika

### 4.1 Strojové a přístrojové vybavení

#### Frézka

Spodní frézka typ FVS je určena pro frézování boků desek, hranolků a lišt. Na stroji lze frézovat profilové, rovné i zakřivené dílce. Stroj se skládá ze stojanu, ve kterém jsou uloženy poháněcí mechanismy (elektromotor, řemenový převod, vřeteník) a ovládací mechanismy (ruční kolo, ozubené soukolí, šroub suportu a suport. Vřeteník je uložen v kuličkových ložiskách ve výškově přestavitelném suportu, který se pohybuje ve vedení přední části stojanu. Vřeteník se přestavuje šroubovým soukolím pomocí ručního kola. Frézovací trn je uložen v kuželovém otvoru vřeteníku a je upevněn maticí. Na trn se maticí upevňuje fréza.

Tab. 2: Spodní frézka

Příkon	Otáčky m/min	Řezná rychlost	Proudová soustava
4 kW	3000, 4500, 6000, 9000	20, 30, 40, 60	360/220V



Obr. 25: Spodní frézka FSV

## Podávací zařízení

Podávací zařízení STEFF 2034 od firmy Maggi je určeno pro posuv vlysů i deskového materiálu. Díky třem odpruženým podávacím kolům je možné posunovat i těžký materiál. Podávací zařízení disponuje čtyřmi fixními rychlosti, vpřed a vzad se mění následovně: prvních dvou rychlostí se docílí záměnou ozubených kol uložených za krytem převodovky a další dvě rychlosti se změjí otočením páčky vypínače na motoru s dvojitým vnutím (1400-2800 ot/min). Podávací zařízení je vybaveno přestavitelným univerzálním stojanem, který umožňuje nastavení stroje do libovolné pozice.

Tab. 3: Podávací zařízení

Motor	Příkon kW	Otáčky ot/min	Podávací rychlost m/min
400V	0,6 – 0,8	1400/2800	4, 8, 11, 22



Obr. 26: Podávací zařízení Maggi

### Formátovací kotoučová pila

Formátovací kotoučová pila SCM SI 300 CLASS se používá k řezání masivu i materiálů na bázi dřeva. Je opatřena předřezem s naklápěním a ponořováním kotouče. Pojezdový pracovní stůl je vyroben z hliníkové slitiny s povrchovou úpravou a má délku 3200 mm. Pevná část stolu je tvořena monolitickým uzavřeným profilem. V pevné i pojezdové části stolu jsou po celé délce ocelová kalená vodítka zalisovaná do rybinové drážky.

Tab. 4: Parametry formátovací kotoučové pily

Výkon motoru kW	Otáčky ot/min	Max. výška řezu mm
4 (5)	4000	100

### Profilometr FORM TAL YSURF 50 Intra

Vybrané profilové parametry byly vyhodnocovány pomocí dotykové metody. Pro měření textury byl použit přístroj Form Talysurf Intra od výrobce Taylor Hobson.



Obr. 27: Profilometr

### **Elektronový mikroskop Tescan MIRA3**

Elektronový mikroskop umožňuje práci v transmisním i rastrovacím módu, v nízkém a hlubokém vakuu se zvětšením až 1 000 000x s různými detektory včetně prvkové analýzy (EDS). Je vybaven softwarovým programem NIS-Elements.



Obr. 28: Elektronový mikroskop

## **4.2 Použité nástroje**

### **Frézovací hlava**

Pro frézování materiálu byla použita frézovací hlava od firmy Felder, s následujícími parametry:

- průměr 125mm
- průměr s osazenými noži 127 mm
- výška 50mm
- průměr otvoru pro hřídel 30mm
- počet nožů 2 ks



Obr. 29: Frézovací hlava

### Frézovací žiletkové nože

Pro frézování byly zvoleny dva typy nožů. Prvním typem frézovacího žiletkového nože byl klasický nůž s typovým označením Leitz 5086. Druhým typem nože byl Leitz 5086 s povlakem CrTiN, který měl zajistit zlepšení kvality. Povlak na druhý nůž byl aplikován metodou PVD.

Tab. 5 : Použité nástroje a jejich vlastnosti

Označení	Typ	Výrobce	Materiál	Rozměry
5086	Leitz 5086	Leitz Co.	Tvrdokov HW 05	50 x 12 x 1,5
CrTiN	S povlakem	SHM Šumperk	Tvrdokov HW-05 + povlak CrTiN	50 12 x 1,5

### **4.3 Použitý materiál**

Frézovaným materiálem byla středně tvrdá dřevovláknitá deska s jednostrannou laminací (MDF-L). Deska byla dodána ve velkoplošném formátu 2790x2060x18mm a výrobcem byla firma DDL Lukavec. Hustota MDF-L byla 742 kg/m<sup>3</sup>. Vlhkost materiálu = 6,2 %.

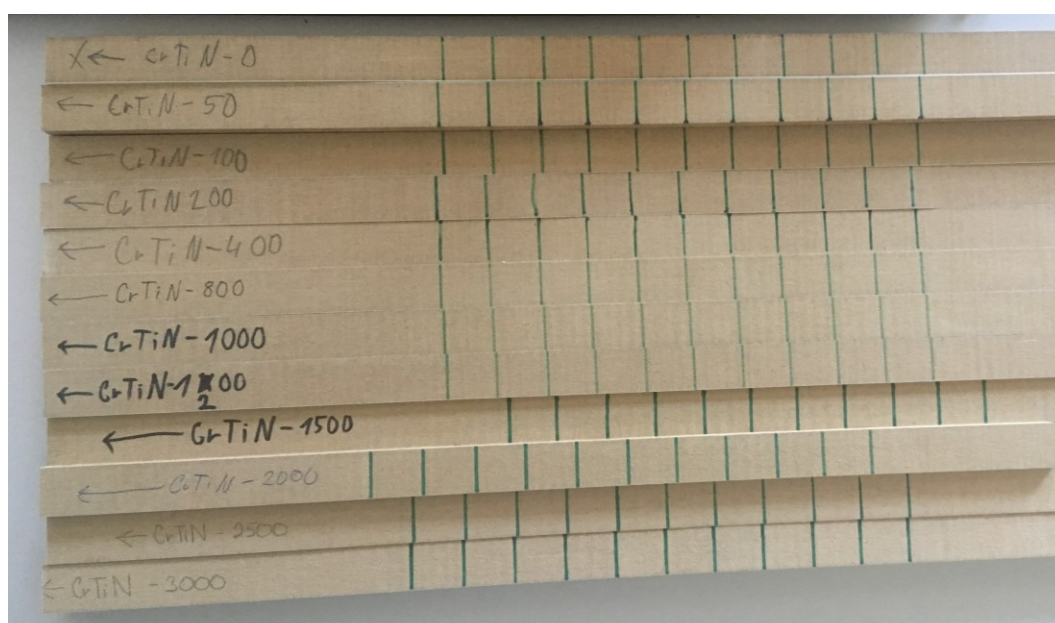
### **4.4 Příprava zkušebních vzorků**

Středně tvrdá dřevovláknitá deska s jednostranným laminováním byla naformátována kotoučovou pilou na rozměry 500 x 500 x 18 mm a to z důvodu snadné manipulace při frézování. Plocha pro frézování byla tedy dlouhá 500mm a úběr materiálu činil 1mm. Počet otáček při frézování byl 6000 ot/min a podávací rychlost 11m/min. Odebírání vzorků pro stanovení aritmetické úchytky drsnosti a aritmetické úchytky vlnitosti probíhalo na formátovací kotoučové pile a to na přibližné rozměry 500 x10 x18 mm. Vzorky byly odříznuty podle předem stanovených odfrézovaných metrech. Odebírání vzorků je znázorněno v tabulce 6. Plocha vzorku, která byla podrobena frézování, byla označena směrem podávání do řezu a popsána číslem, které představovalo obrobenou vzdálenost v metrech. Na každém vzorku byl označen střed, od kterého se na levou i pravou stranu vyznačilo pět stejně dlouhých úseků.



Tab.6: Odebírání vzorků

Druh frézy	Obrobená vzdálenost m											
	0	50	100	200	400	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000
5086												
CrTi N												



Obr. 30: Vzorky

## 4.5 Metodika měření kvality povrchu

U takto získaných vzorků byla vyhodnocována drsnost a vlnitost povrchu přístrojem FORMTALYSURF 50 Intra na Fakultě lesnické a dřevařské v Praze. Měření kvalita povrchu se řídila normou ČSN EN ISO 4287 (1999).

Přístroj na měření kvality povrchu byl osazen raménkem o délce 60 mm, na jehož konci se nacházel kuželový diamantový hrot  $R=2 \mu\text{m}$ . Rozběh a doběh raménka byl 0,3 mm. Měření probíhalo při zasouvání raménka do přístroje, směr měření na vzorku byl proti frézování, kde je předpoklad vyšších hodnot. Materiál byl měřen ve středové části, kde je nižší hustota.

Nastavení dle norem:

Tab. 7 Nastavení norem

Periodické profily	Parametry měření			
	$\lambda c = lc$ [mm]	$ln$ [mm]	$lt$ [mm]	$r_{ip}$ [ $\mu\text{m}$ ]
$0,013 < RSm \leq 0,04$	0,08	0,4	0,48	2
$0,04 < RSm \leq 0,13$	0,25	1,25	1,5	2
$0,13 < RSm \leq 0,4$	0,8	4	4,8	2 nebo 5
$0,4 < RSm \leq 1,3$	2,5	12,5	15	5
$1,3 < RSm \leq 4$	8	40	48	10

## 4.6 Statistické zpracování dat

Cílem statistického zpracování získaných dat bylo vyhodnocení hodnot sledovaných proměnných znaků. Ke statistickému vyhodnocování sloužil software STATISTICA 12 a Microsoft Excel 2010.

Pro hodnocení naměřených dat  $R_a$  a  $W_a$  byla použita metoda ANOVA a to vícefaktorová. Zvolená hladina významnosti činila  $\alpha=0,05=5\%$ .

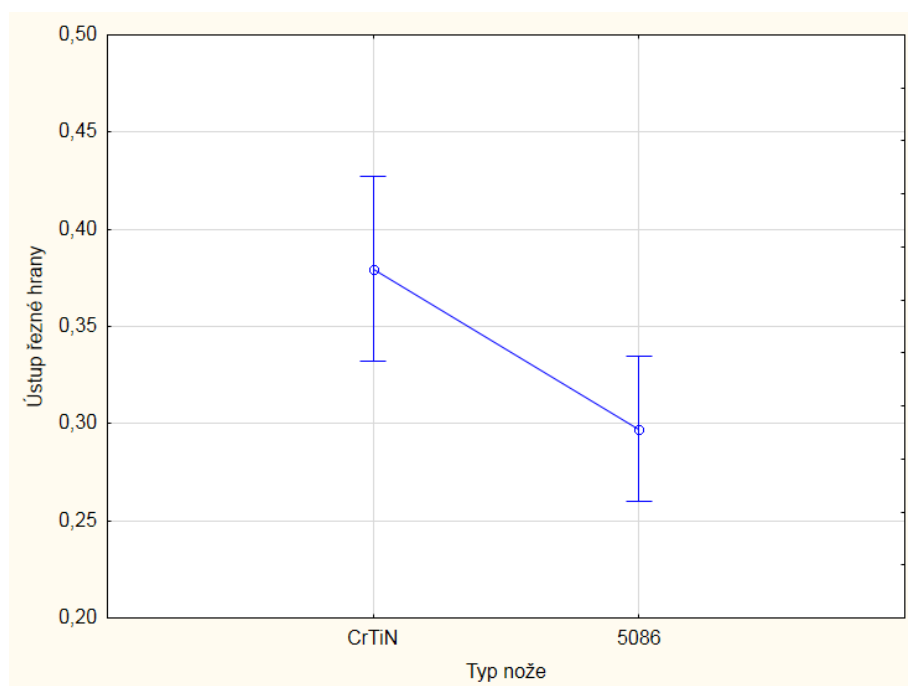
## 5 Výsledky a diskuse

### 5.1 Nástroj

#### Ústup řezné hrany

Ústup řezné plochy neprokázal statisticky významný rozdíl mezi noži CrTiN a 5086. Na obrázku 31 je vidět, že ústup hrany u povlakovaného nástroje CrTiN je větší než u nástroje 5086. Ústup hrany v číslech je uveden v tabulce 8.

Z hlediska udržení dostatečné jakosti obrobku a trvanlivosti nástroje se provádí ochrana nástroje povlakem (Mrkvica et al., 2016).

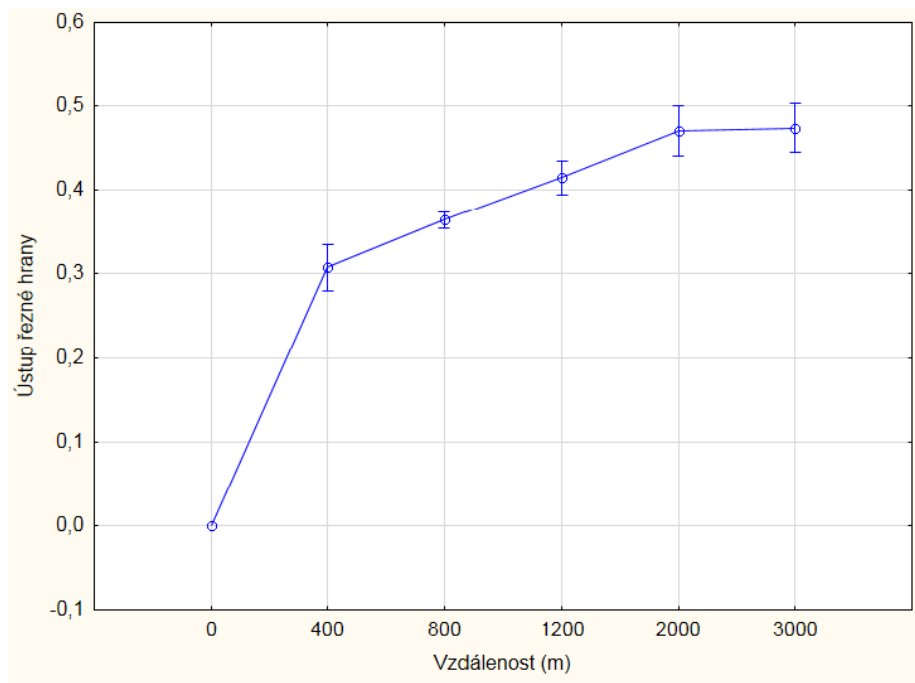


Obr. 31. Vliv druhu nože na ústup řezné hrany

Tab. 8: Vliv druhu nože na ústup řezné hrany

Typ nože	Ústup řezné hrany Průměr	Ústup řezné hrany Chyba	Ústup řezné hrany -95,00%	Ústup řezné hrany +95,00%	Směrodatná odchylka	Počet měření
CrTiN	0,380	0,024	0,332	0,427	0,145	60
5086	0,297	0,019	0,260	0,335	0,183	60

Vliv obrobené vzdálenosti na ústup řezné hrany znázorňuje obrázek 32, kde je vidět, že s přibývajícím vzdáleností ustupuje i řezná hrana. Ústup řezné hrany při 400m byl o 35,09% menší než u 3000m.



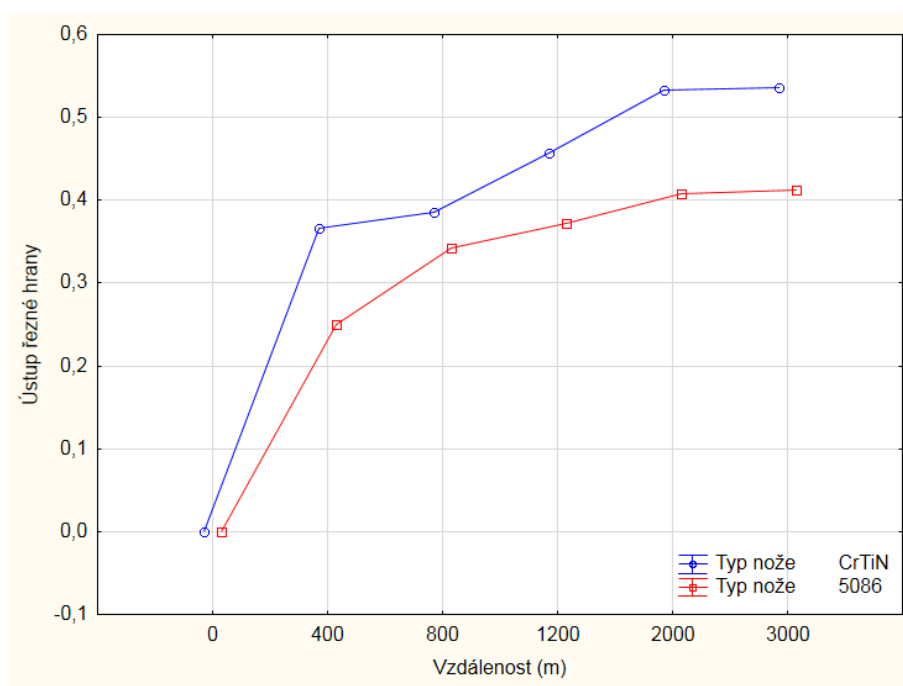
Obr. 32. Vliv vzdálenosti na ústup řezné hrany

Tab. 9: Vliv vzdálenosti na ústup řezné hrany

Vzdálenost (m)	Ústup řezné hrany Průměr	Ústup řezné hrany Chyba	Ústup řezné hrany -95,00%	Ústup řezné hrany +95,00%	Směrodatná odchylka	Počet měření
0	0,000					20
400	0,308	0,013	0,280	0,336	0,060	20
800	0,364	0,005	0,354	0,374	0,022	20
1200	0,415	0,010	0,394	0,435	0,044	20
2000	0,471	0,014	0,440	0,501	0,064	20
3000	0,474	0,014	0,445	0,503	0,063	20

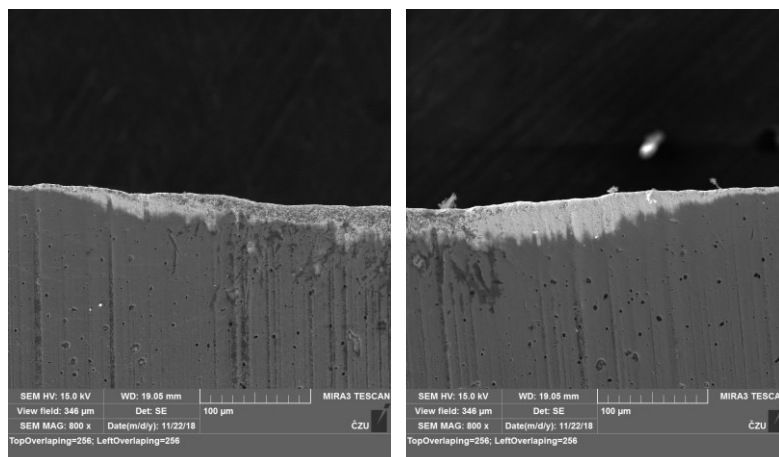
Na obrázku 33 je zobrazeno porovnání ústupu řezné hrany nože CrTiN a nože 5086, kde je zřejmé kopírování průběhu ústupu řezné hrany u nožů. Dále je patrné, že větší ústup nastal u nože s povlakem CrTiN, tudíž povlak nevykazuje známky zlepšení. Kvalita nožů není rozdílná. Počáteční prudký ústup řezné hrany mohl být způsobený zkosenými hranami u obou nástrojů.

Podle výzkumu Sheikh Ahmad a Moorita (2002) povlaky velmi ovlivňují snížení opotřebení řezného klínu oproti materiálům bez povlaku.

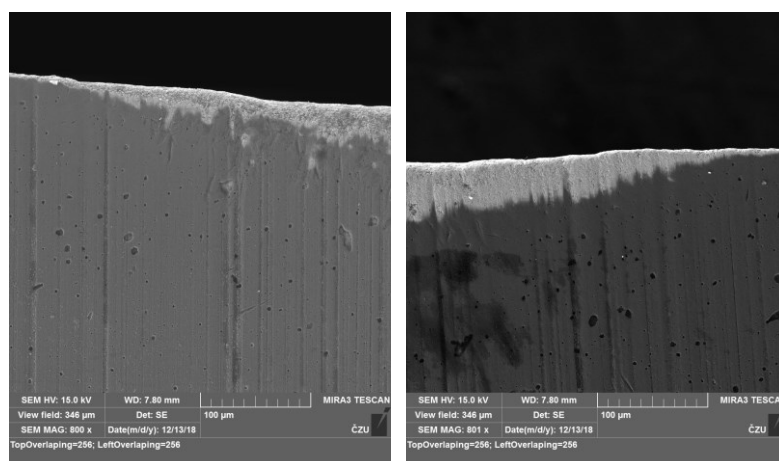


Obr. 33. Vliv vzdálenosti a druhu nože na ústup řezné hrany

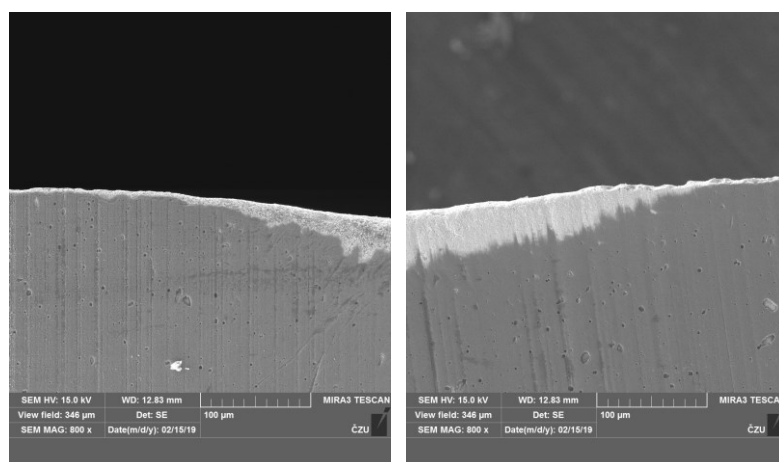
Na následujících obrázcích je vidět ústup řezné hrany. Snímky byly pořízené pomocí elektronového mikroskopu, přiblížení je 800x.



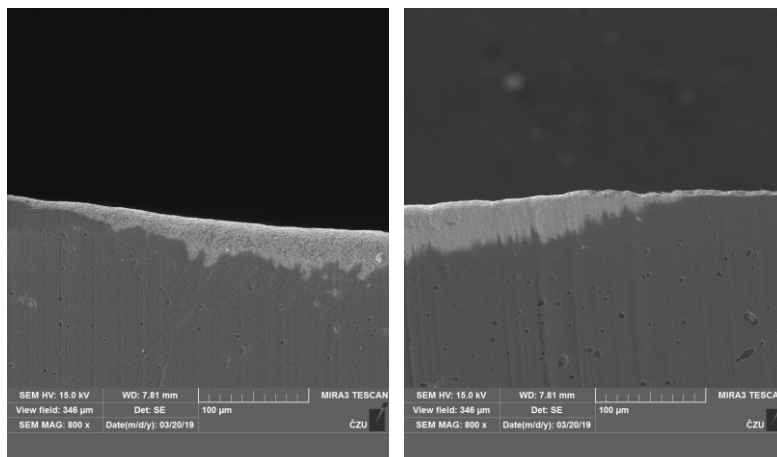
Obr.34 : CrTiN 400m



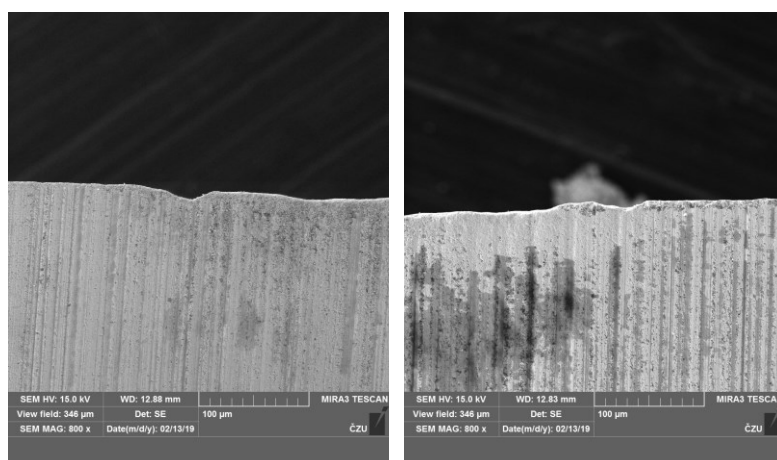
Obr.35 : CrTiN 800m



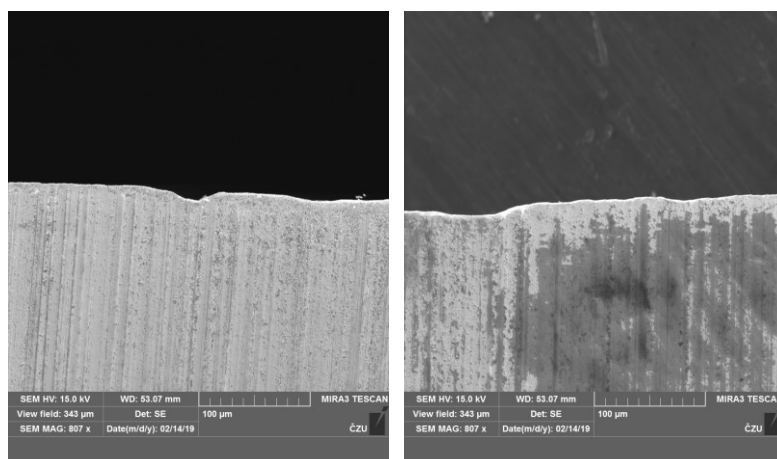
Obr.36 : CrTiN 2000m



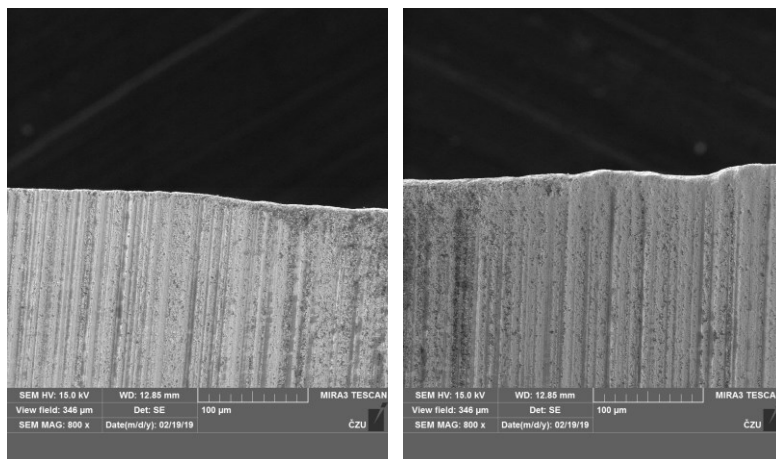
Obr.37 : CrTiN 3000m



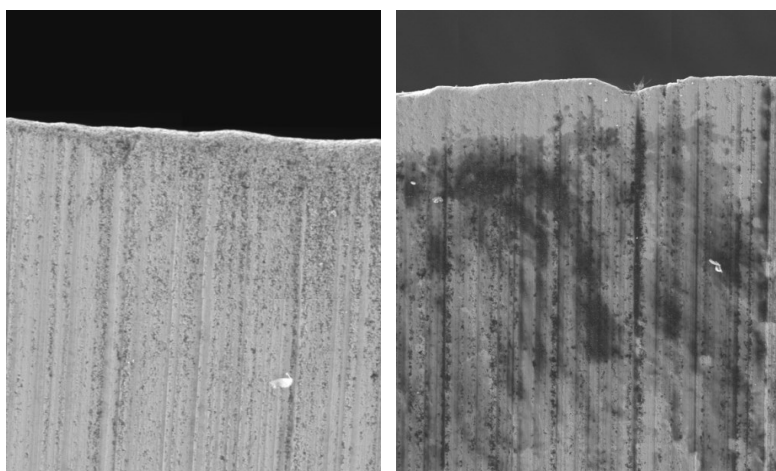
Obr.38: 5086 400m



Obr.39: 5086 800m



Obr.40: 5086 2000m



Obr.41: 5086 3000m



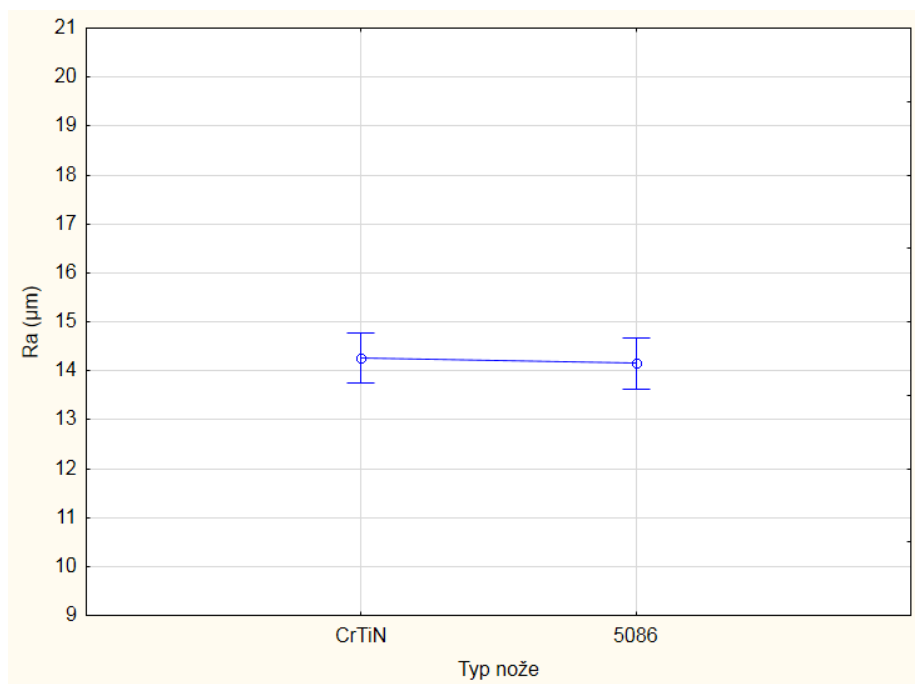
## 5.2 Kvalita povrchu

### Druh nože

➤ Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti Ra ( $\mu\text{m}$ )

Druh použitého nástroje s ohledem na drsnost povrchu není v tomto případě podstatným faktorem viz.obrázek 42. Neprojevilo se statisticky významný rozdíl nože s povlakem CrTiN a nože bez povlaku 5086.

Druh nástroje je parametr, který má vliv na drsnost povrchu a to jak materiál nástroje, tak i úhel břítu a jeho opotřebení (Kminiak et al., 2016). Nástroje s povlakem zlepšují výslednou kvalitu obráběného materiálu a to hlavně díky svým lepším vlastnostem jako je např. nižší drsnost povrchu nástroje (Holubář et al., 2009).



Obr. 42. Vliv druhu nože na drsnost

Tab. 10: Vliv druhu nože na drsnost

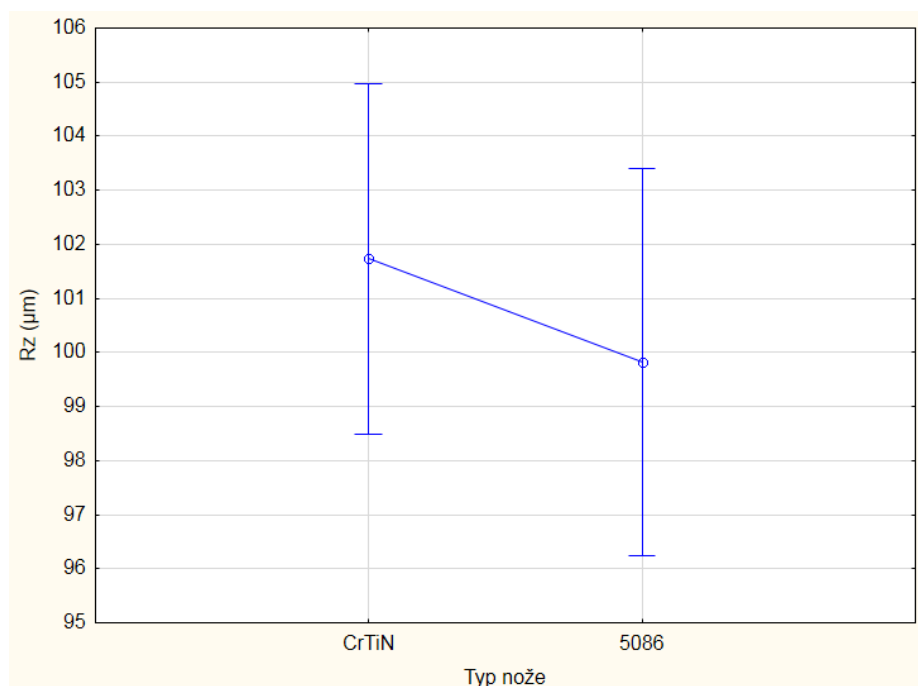
Typ nože	Ra průměr	Ra Chyba	Ra -95%	Ra +95%	Směrodatná odchylna	Počet měření
CrTiN	14,259	0,258	13,749	14,769	2,821	120
5086	14,153	0,265	13,629	14,677	2,901	120

Tab. 11: Vliv nože na drsnost povrchu pomocí Duncanova testu.

Typ nože	{1} 14,259	{2} 14,153
CrTiN		0,655
5086	0,655	

➤ Nejvyšší výška profilu drsnosti Rz ( $\mu\text{m}$ )

Na obrázku 43 je vidět, že u nejvyšší výšky profilu drsnosti se ukázal statisticky nevýznamný rozdíl nožů CrTiN a 5086. U nože CrTiN je výška profilu drsnosti větší o 1,90% oproti výšce profilu drsnosti nože 5086.



Obr. 43. Vliv druhu nože na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Tab. 12: Vliv druhu nože na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Typ nože	Rz průměr	Rz Chyba	Rz -95%	Rz +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
CrTiN	101,730	1,640	98,483	104,978	17,967	120
5086	99,829	1,807	96,251	103,407	19,795	120

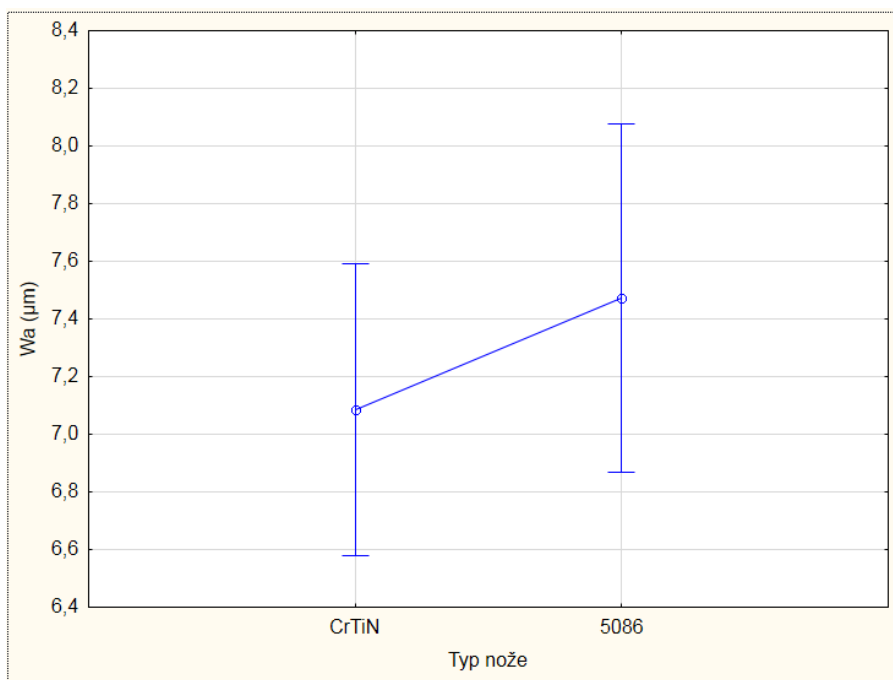
Tab. 13: Vliv druhu nože na nejvyšší výšku profilu drsnosti pomocí Duncanova testu

Typ nože	{1} 101,73	{2} 99,829
CrTiN		0,300
5086	0,300	

➤ Vlnitost povrchu  $W_a$  ( $\mu\text{m}$ )

Na obrázku 44 je vidět, že u vlnitosti povrchu je statisticky nevýznamný rozdíl nožů CrTiN a 5086. Vlnitost povrchu je u nože 5086 vyšší o 5,5% než u nože CrTiN.

Sedlecký (2018) ve své disertační práci uvádí, že materiál nástroje má vliv na vlnitost. Vliv materiálu nástroje na kvalitu povrchu potvrdili ve svém výzkumu i Siklienka a Adamcová (2012).



Obr. 44. Vliv druhu nože na vlnitost povrchu

Tab. 14: Vliv druhu nože na vlnitost povrchu

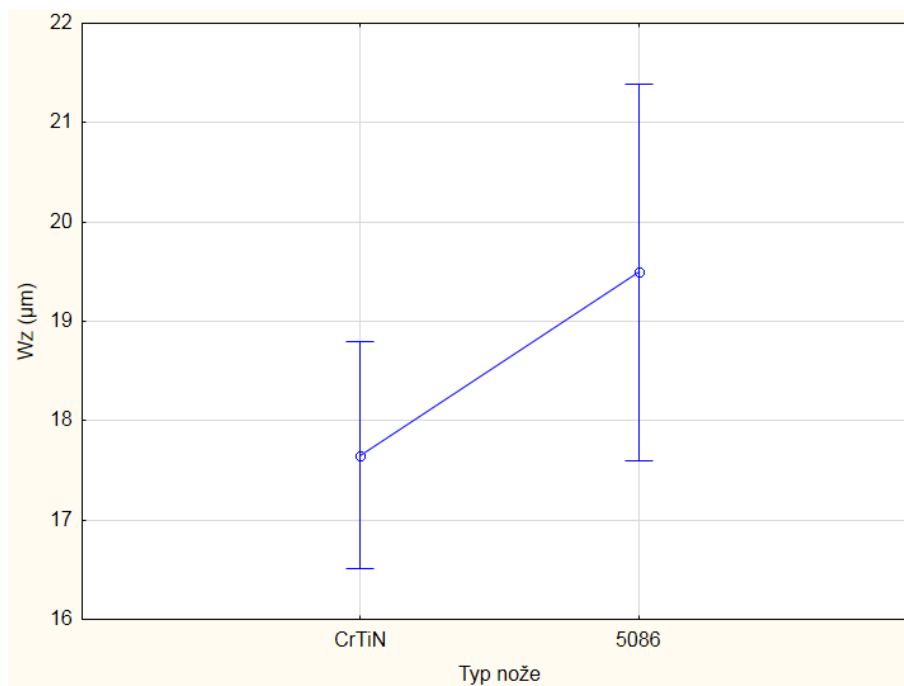
Typ nože	Wa průměr	Wa Chyba	Wa -95%	Wa +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
CrTiN	7,083	0,256	6,577	7,590	2,800	120
5086	7,473	0,305	6,868	8,077	3,345	120

Tab. 15: Vliv druhu nože na vlnitost povrchu pomocí Duncanova testu.

Typ nože	{1} 7,083	{2} 7,473
CrTiN		0,284
5086	0,284	

➤ Největší výška profilu vlnitosti  $W_z$  ( $\mu\text{m}$ )

Obrázek 45 ukazuje, že u nejvyšší výšky povrchu vlnitosti je statisticky nevýznamný rozdíl nožů CrTiN a 5086. Nejvyšší výška povrchu vlnitosti je u nože 5086 vyšší o 10,44% než u nože CrTiN.



Obr. 45. Vliv druhu nože na největší výšku profilu vlnitosti

Tab. 16: Vliv druhu nože na největší výšku profilu vlnitosti

Typ nože	Wz průměr	Wz Chyba	Wz -95%	Wz +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
CrTiN	17,650	0,576	16,510	18,791	6,307	120
5086	19,494	0,958	17,596	21,392	10,498	120

Tab. 17: Vliv druhu nože na největší výšku profilu vlnitosti pomocí Duncanova testu

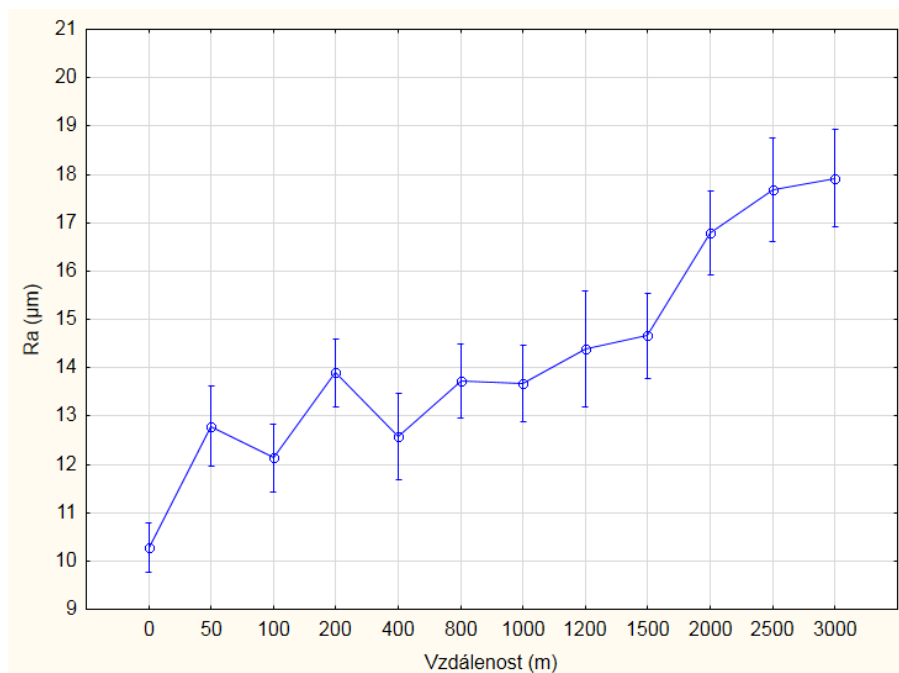
Typ nože	{1} 17,650	{2} 19,494
CrTiN		0,072
5086	0,072	

## Obrobená vzdálenost

### ➤ Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti Ra ( $\mu\text{m}$ )

Vzdálenost obrobené plochy je z pohledu drsnosti významným faktorem. Na obrázku 46 je vidět, že se zvyšující obrobenou vzdáleností se zhoršuje drsnost povrchu. Zvyšování drsnosti neprobíhalo rovnoměrně. V příloze číslo 1 je vidět, že od referenční hodnoty vzdálenosti (0m) ke všem nafrézovaným vzdálenostem se ukázal statisticky významný rozdíl. Statisticky významný rozdíl je tím vyšší, čím více metrů je nafrézováno. Mezi některými vzdálenostmi se neprokázal statisticky významný rozdíl.

Vlivem používání nástrojů roste opotřebení, které má negativní vliv na řezivost nástroje. V důsledku opotřebení se mění nejen řezné podmínky, ale i drsnost povrchu a rozměr obrobku (Šimůnek et al., 2003).



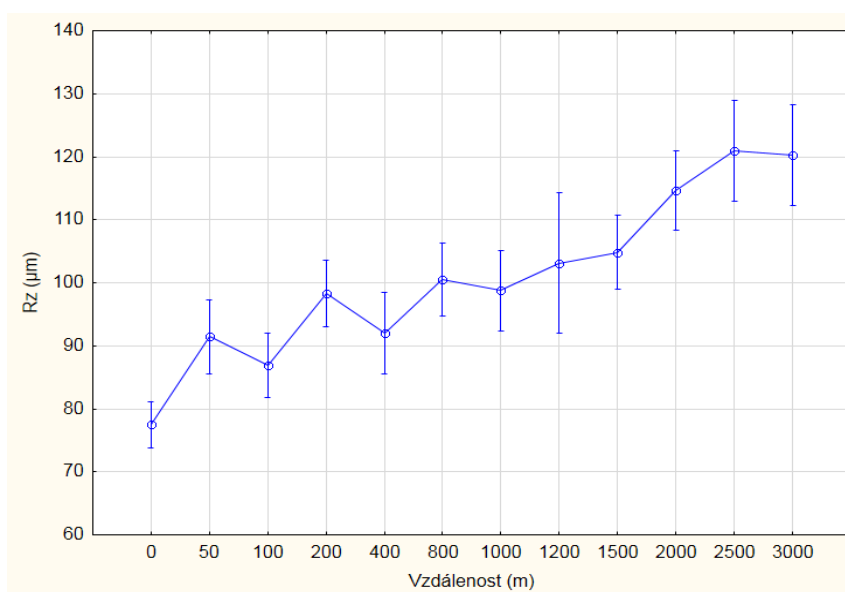
Obr. 46. Vliv obrobené vzdálenosti na drsnost

Tab. 18: Vliv obrobené vzdálenosti na drsnost

Vzdálenost (m)	Ra Průměr	Ra Chyba	Ra -95%	Ra +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
0	10,267	0,244	9,757	10,777	1,090	20
50	12,783	0,395	11,956	13,610	1,585	20
100	12,133	0,339	11,423	12,843	1,516	20
200	13,895	0,334	13,196	14,593	1,492	20
400	12,576	0,424	11,689	13,464	1,896	20
800	13,719	0,365	12,955	14,483	1,632	20
1000	13,664	0,379	12,871	14,457	1,695	20
1200	14,387	0,577	13,180	15,594	2,579	20
1500	14,663	0,420	13,783	15,543	1,880	20
2000	16,782	0,416	15,912	17,651	1,859	20
2500	17,679	0,516	16,599	18,758	2,307	20
3000	17,922	0,486	16,905	18,939	2,173	20

➤ Nejvyšší výška profilu drsnosti Rz ( $\mu\text{m}$ )

Vzdálenost obrobeneé plochy je i z pohledu nejvyšší výšky profilu drsnosti významným faktorem (obr. 47). Se zvyšující se obrobenu vzdáleností roste i nejvyšší výška profilu drsnosti povrchu. V příloze číslo 2 je vidět, že od referenční hodnoty vzdálenosti ( 0m) ke všem nafrézovaným vzdálenostem se ukázal statisticky významný rozdíl. Mezi některými vzdálenostmi se neprokázal statisticky významný rozdíl.



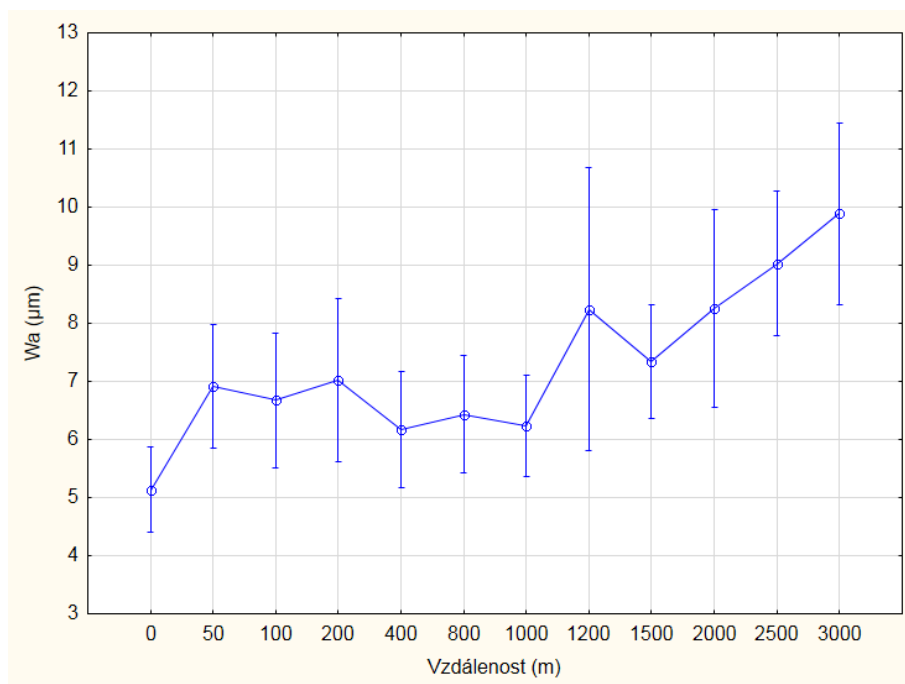
Obr. 47. Vliv obrobeneé vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Tab. 19: Vliv obrobeneé vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Vzdálenost (m)	Rz Průměr	Rz Chyba	Rz -95%	Rz +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
0	77,534	1,747	73,879	81,190	7,811	20
50	91,412	2,785	85,584	97,241	12,453	20
100	86,905	2,409	81,864	91,946	10,771	20
200	98,315	2,508	93,066	103,563	11,214	20
400	91,963	3,096	85,482	98,443	13,846	20
800	100,529	2,745	94,784	106,274	12,276	20
1000	98,764	3,025	92,433	105,095	13,528	20
1200	103,112	5,329	91,957	114,267	23,834	20
1500	104,851	2,777	99,039	110,663	12,419	20
2000	114,628	3,024	108,297	120,958	13,526	20
2500	121,020	3,820	113,026	129,015	17,082	20
3000	120,326	3,823	112,324	128,327	17,097	20

➤ Vlnitost povrchu  $W_a$

Na obrázku 48 je viditelný nárůst vlnitosti povrchu se zvyšující se vzdáleností. V příloze číslo 3 je zřetelné, že statisticky významný rozdíl je z referenční vzdálenosti 0m na 1200m a výš.



Obr. 48. Vliv obrobené vzdálenosti na vlnitost povrchu

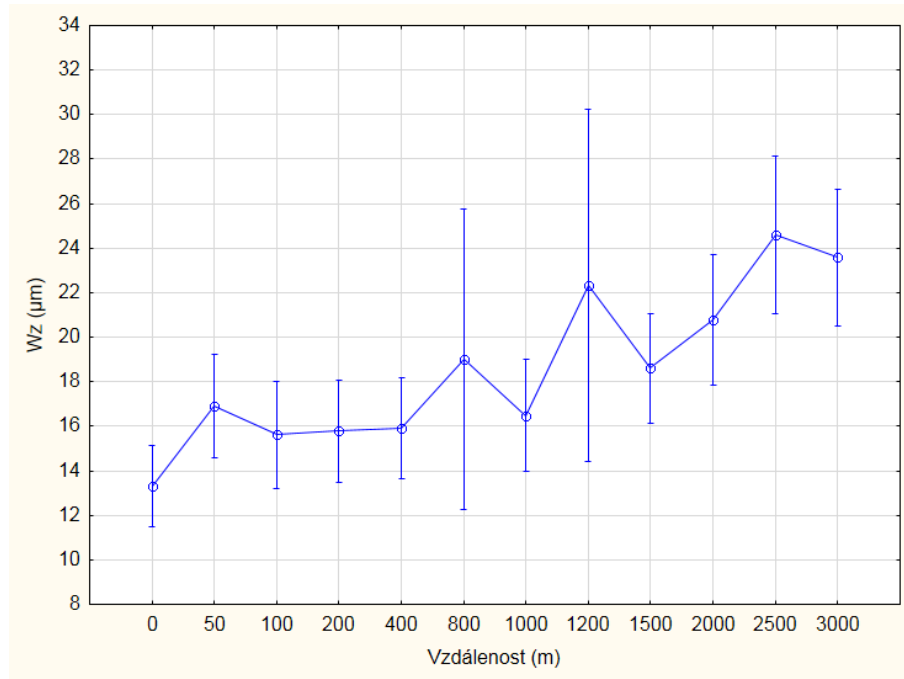
Tab. 20: Vliv obrobené vzdálenosti na vlnitost povrchu

Vzdálenost (m)	$W_a$ Průměr	$W_a$ Chyba	$W_a$ -95%	$W_a$ +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
0	5,138	0,353	4,399	5,878	1,580	20
50	6,912	0,509	5,847	7,976	2,274	20
100	6,671	0,559	5,502	7,841	2,499	20
200	7,021	0,671	5,617	8,425	3,000	20
400	6,172	0,480	5,167	7,177	2,148	20
800	6,431	0,484	5,418	7,443	2,163	20
1000	6,234	0,421	5,354	7,115	1,882	20
1200	8,243	1,166	5,803	10,682	5,213	20
1500	7,350	0,468	6,371	8,330	2,092	20
2000	8,251	0,816	6,544	9,958	3,647	20
2500	9,030	0,591	7,793	10,267	2,643	20
3000	9,884	0,744	8,326	11,442	3,329	20



➤ Největší výška profilu vlnitosti ( $\mu\text{m}$ )

Viditelný růst výšky profilu vlnitosti se zvyšující se vzdáleností je zobrazen na obrázku 49. V příloze číslo 4 je zřetelné, že statisticky významný rozdíl je jen z referenční vzdálenosti 0m na 2500m a 3000m.



Obr. 49. Vliv obrobené vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

Tab. 21: Vliv obrobené vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

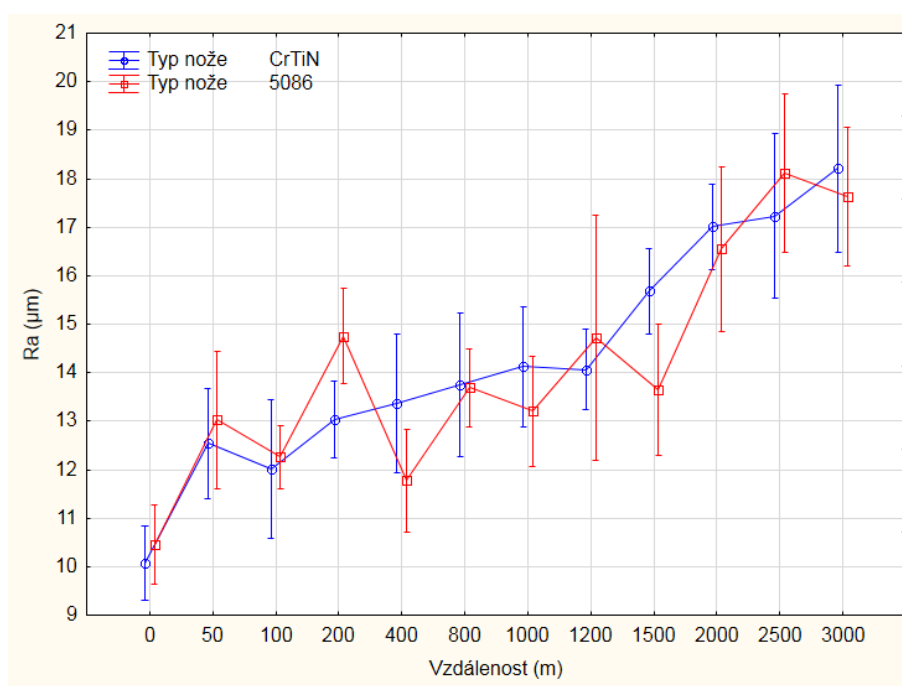
Vzdálenost (m)	Wz Průměr	Wz Chyba	Wz -95%	Wz +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
0	13,304	0,867	11,490	15,118	3,876	20
50	16,888	1,108	14,569	19,208	4,956	20
100	15,626	1,148	13,223	18,029	5,135	20
200	15,778	1,087	13,502	18,054	4,863	20
400	15,920	1,087	13,645	18,195	4,861	20
800	19,004	3,222	12,260	25,748	14,410	20
1000	16,480	1,204	13,960	19,001	5,386	20
1200	22,317	3,787	14,391	30,242	16,934	20
1500	18,596	1,177	16,132	21,060	5,132	20
2000	20,776	1,404	17,837	23,715	6,280	20
2500	24,598	1,691	21,059	28,136	7,561	20
3000	23,579	1,467	20,509	26,648	6,559	20

## Vliv druhu nože a vzdálenosti

### ➤ Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti Ra ( $\mu\text{m}$ )

U drsnosti je statisticky významný rozdíl nože CrTiN a nože 5086 od referenční hodnoty vzdálenosti 0m ke všem vzdálenostem (do 3000m), viz. příloha 5. Na obrázku 50 je vidět vzájemné kopírování průběhu drsnosti obou nožů. S větší obrobenou vzdáleností roste drsnost u nože CrTiN i u nože 5086. Výkyvy na obrázku jsou způsobeny proměnlivostí měřených veličin.

Sedlecký (2017) ve své práci zjistil, že kontaktní metody byla vyšší drsnost naměřena po použití nástroje CrTiN, u nože HW1 (5086) byla tato hodnota nižší. Výzkum Sheikh Ahmad a Moorita (2002) ukázal, že povlaky mají viditelný vliv na snížení opotřebení řezného klínu v závislosti na obrobené vzdálenosti oproti materiálům bez povlaku.



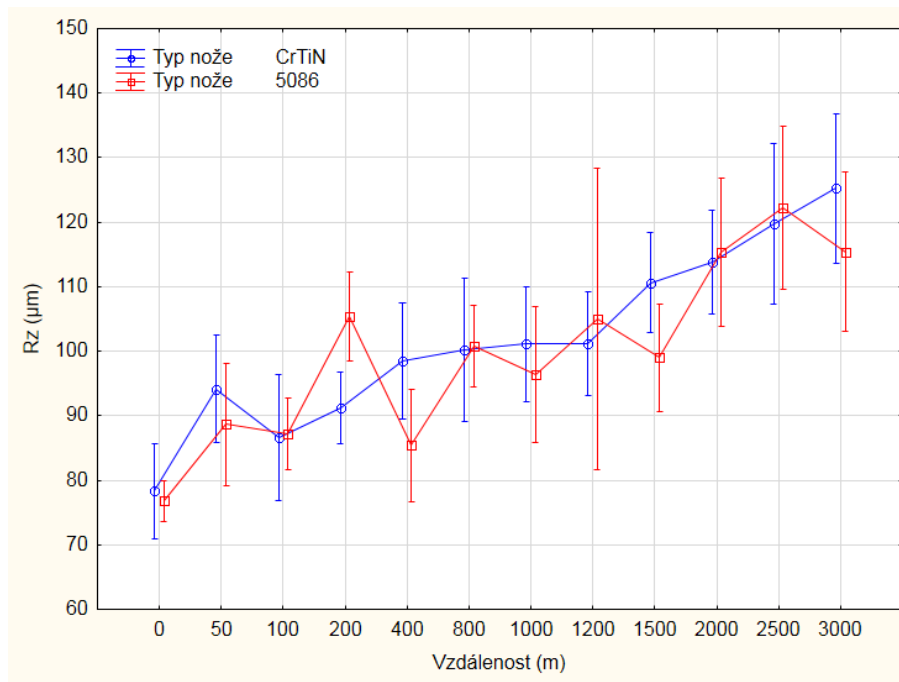
Obr. 50: Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na drsnost

Tab. 22 : Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na drsnost

Typ nože	Vzdálenost (m)	Ra Průměr	Ra Chyba	Ra -95%	Ra +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
CrTiN	0	10,069	0,335	9,312	10,827	1,059	10
CrTiN	50	12,539	0,501	11,405	13,673	1,585	10
CrTiN	100	12,003	0,632	10,573	13,432	1,998	10
CrTiN	200	13,037	0,346	12,255	13,820	1,094	10
CrTiN	400	13,374	0,630	11,948	14,801	1,994	10
CrTiN	800	13,750	0,658	12,262	15,238	2,080	10
CrTiN	1000	14,122	0,552	12,873	15,371	1,746	10
CrTiN	1200	14,065	0,365	13,241	14,890	1,153	10
CrTiN	1500	15,677	0,393	14,789	16,566	1,242	10
CrTiN	2000	17,015	0,390	16,132	17,898	1,235	10
CrTiN	2500	17,234	0,748	15,542	18,926	2,365	10
CrTiN	3000	18,218	0,762	16,495	19,941	2,408	10
5086	0	10,465	0,360	9,650	11,280	1,139	10
5086	50	13,026	0,629	11,604	14,449	1,988	10
5086	100	12,264	0,287	11,614	12,913	0,908	10
5086	200	14,752	0,433	13,774	15,730	1,368	10
5086	400	11,779	0,469	10,718	12,839	1,483	10
5086	800	13,688	0,360	12,874	14,502	1,137	10
5086	1000	13,206	0,505	12,064	14,348	1,597	10
5086	1200	14,709	1,117	12,182	17,236	3,533	10
5086	1500	13,648	0,603	12,285	15,012	1,906	10
5086	2000	16,548	0,752	14,848	18,248	2,376	10
5086	2500	18,124	0,721	16,491	19,756	2,282	10
5086	3000	17,625	0,630	16,199	19,052	1,994	10

➤ Nejvyšší výška profilu drsnosti Rz ( $\mu\text{m}$ )

U nejvyšší výšky profilu drsnosti je statisticky významný rozdíl nože CrTiN a nože 5086 od referenční hodnoty vzdálenosti 0m na vzdálenost 400m a výš. (do 3000m), viz. příloha 6. Na obrázku 51 je vidět vzájemné kopírování Rz obou nožů. S větší obrobenou vzdáleností roste Rz u nože CrTiN i u nože 5086. Výkyvy na obrázku jsou způsobeny proměnlivostí měřených veličin.



Obr. 51: Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

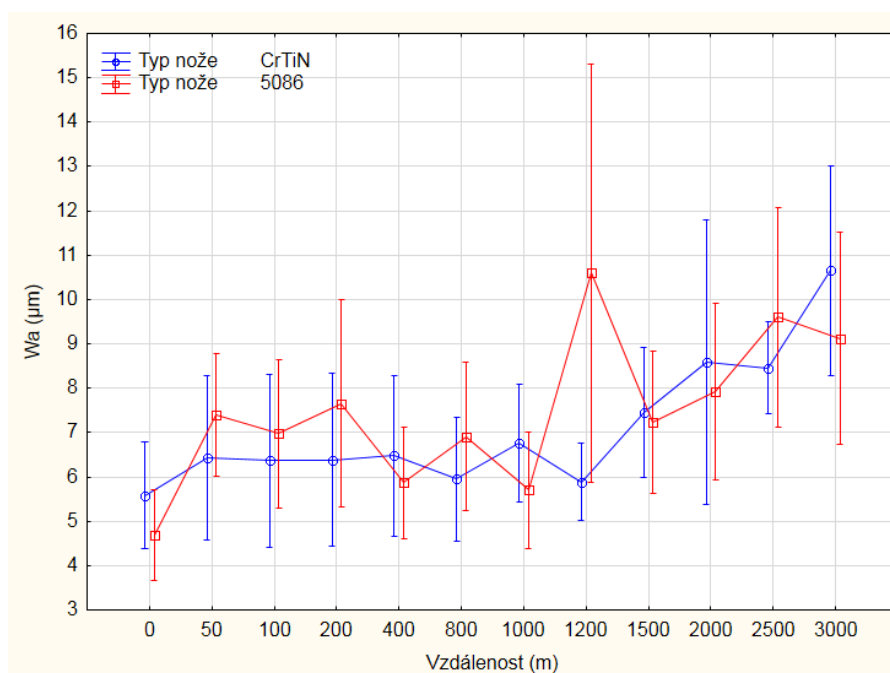
Tab. 23: Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Typ nože	Vzdálenost (m)	Rz Průměr	Rz Chyba	Rz -95%	Rz +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
CrTiN	0	78,307	3,276	70,895	85,719	10,361	10
CrTiN	50	94,130	3,686	85,793	102,468	11,655	10
CrTiN	100	86,620	4,314	76,861	96,378	13,641	10
CrTiN	200	91,180	2,455	85,627	96,733	7,763	10
CrTiN	400	98,528	3,979	89,527	107,528	12,582	10
CrTiN	800	100,240	4,910	89,132	111,347	15,527	10
CrTiN	1000	101,116	3,949	92,183	110,049	12,487	10
CrTiN	1200	101,152	3,552	93,116	109,187	11,233	10
CrTiN	1500	110,638	3,398	102,951	118,324	10,745	10
CrTiN	2000	113,861	3,557	105,815	121,906	11,247	10
CrTiN	2500	119,742	5,468	107,372	132,111	17,292	10
CrTiN	3000	125,253	5,135	113,638	136,869	16,238	10
5086	0	76,762	1,419	73,552	79,972	4,487	10
5086	50	88,694	4,185	79,227	98,161	13,234	10
5086	100	87,191	2,422	81,711	92,670	7,659	10
5086	200	105,449	3,035	98,584	112,314	9,597	10
5086	400	85,397	3,881	76,617	94,177	12,274	10
5086	800	100,819	2,772	94,548	107,090	8,767	10
5086	1000	96,412	4,670	85,847	106,976	14,768	10
5086	1200	105,072	10,318	81,732	128,412	32,627	10
5086	1500	99,064	3,684	90,730	107,399	11,650	10
5086	2000	115,395	5,083	103,895	126,894	16,075	10
5086	2500	122,298	5,598	109,635	134,962	17,702	10
5086	3000	115,398	5,472	103,019	127,778	17,305	10

➤ Vlnitost povrchu  $W_a$  ( $\mu\text{m}$ )

U vlnitosti je statisticky významný rozdíl nože CrTiN a 5086 od všech hodnot vzdálenosti do 1500m (příloha 7). Obrázek 52 znázorňuje, že  $W_a$  u obou nožů se vzájemně kopíruje.

Vzhledem k jemnější struktuře MDF je pro lepší jakostní povrch nutné docílit 8 vln na 1 cm ( Hrázský a Král, 2004; 2007).



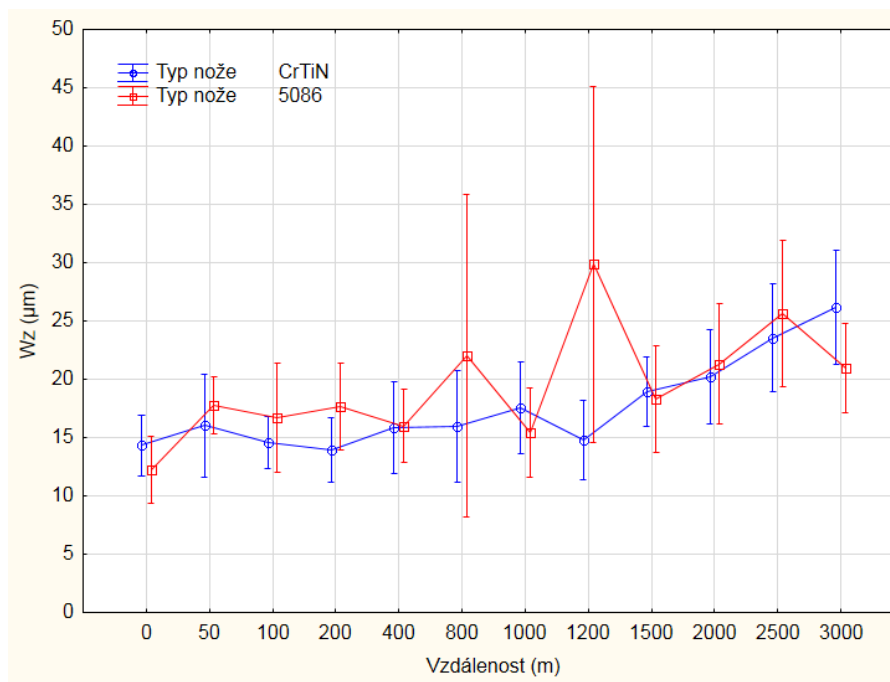
Obr. 52: Vliv druhu nože a vzdálenosti na vlnitost povrchu

Tab. :24: Vliv druhu nože a vzdálenosti na vlnitost povrchu

Typ nože	Vzdálenost (m)	Wa Průměr	Wa Chyba	Wa -95%	Wa +95%	Směrodatná odchyłka	Počet měření
CrTiN	0	5,583	0,531	4,383	6,783	1,678	10
CrTiN	50	6,433	0,818	4,583	8,283	2,586	10
CrTiN	100	6,364	0,867	4,404	8,324	2,740	10
CrTiN	200	6,386	0,865	4,429	8,343	2,736	10
CrTiN	400	6,476	0,804	4,656	8,296	2,544	10
CrTiN	800	5,949	0,620	4,547	7,351	1,960	10
CrTiN	1000	6,766	0,589	5,434	8,098	1,862	10
CrTiN	1200	5,883	0,386	5,010	6,757	1,221	10
CrTiN	1500	7,463	0,650	5,993	8,933	2,055	10
CrTiN	2000	8,590	1,417	5,385	11,795	4,481	10
CrTiN	2500	8,458	0,461	7,415	9,502	1,458	10
CrTiN	3000	10,649	1,044	8,289	13,010	3,300	10
5086	0	4,694	0,449	3,678	5,710	1,421	10
5086	50	7,390	0,610	6,010	8,770	1,929	10
5086	100	6,978	0,739	5,306	8,651	2,338	10
5086	200	7,656	1,030	5,325	9,986	3,258	10
5086	400	5,868	0,553	4,616	7,119	1,749	10
5086	800	6,912	0,743	5,231	8,593	2,350	10
5086	1000	5,703	0,581	4,388	7,017	1,838	10
5086	1200	10,602	2,086	5,883	15,320	6,596	10
5086	1500	7,238	0,707	5,639	8,836	2,235	10
5086	2000	7,913	0,880	5,921	9,905	2,784	10
5086	2500	9,602	1,091	7,135	12,069	3,449	10
5086	3000	9,119	1,058	6,725	11,513	3,347	10

➤ Největší výška profilu vlnitosti  $W_z(\mu\text{m})$

U  $W_z$  je statisticky významný rozdíl nože 5086 od hodnoty 1200m na všechny vzdálenosti (příloha 8). Obrázek 53 znázorňuje, že  $W_z$  u obou nožů se vzájemně kopíruje a se zvyšující se vzdáleností  $W_z$  stoupá.



Obr. 53: Vliv druhu nože a vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti



Tab. 25: Vliv druhu nože a vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

Typ nože	Vzdálenost (m)	Wz Průměr	Wz Chyba	Wz -95%	Wz +95%	Směrodatná odchylka	Počet měření
CrTiN	0	14,345	1,143	11,760	16,930	3,613	10
CrTiN	50	16,030	1,960	11,597	20,463	6,197	10
CrTiN	100	14,539	0,986	12,309	16,769	3,117	10
CrTiN	200	13,895	1,221	11,132	16,659	3,863	10
CrTiN	400	15,836	1,743	11,892	19,780	5,513	10
CrTiN	800	15,967	2,102	11,213	20,721	6,646	10
CrTiN	1000	17,553	1,738	13,621	21,485	5,497	10
CrTiN	1200	14,785	1,489	11,415	18,154	4,710	10
CrTiN	1500	18,926	1,318	15,945	21,907	4,167	10
CrTiN	2000	20,235	1,770	16,230	24,239	5,598	10
CrTiN	2500	23,536	2,038	18,926	28,147	6,445	10
CrTiN	3000	26,160	2,171	21,250	31,071	6,864	10
5086	0	12,264	1,275	9,380	15,148	4,032	10
5086	50	17,747	1,087	15,288	20,206	3,438	10
5086	100	16,714	2,081	12,006	21,422	6,581	10
5086	200	17,660	1,647	13,934	21,386	5,209	10
5086	400	16,004	1,395	12,848	19,161	4,412	10
5086	800	22,041	6,113	8,212	35,870	19,331	10
5086	1000	15,408	1,687	11,591	19,225	5,336	10
5086	1200	29,849	6,761	14,554	45,143	21,380	10
5086	1500	18,266	2,023	13,689	22,842	6,397	10
5086	2000	21,318	2,264	16,197	26,439	4,159	10
5086	2500	25,659	2,768	19,397	31,922	8,755	10
5086	3000	20,997	1,700	17,152	24,842	5,375	10

## Shrnutí kvality povrchu opracovaného materiálu

Kvalita povrchu opracovaného materiálu je uvedena v příloze 9 po frézování nožem 5086 a v příloze 10 po frézování nožem CrTiN. U nože CrTiN vykazoval povrch obráběného materiálu při referenční vzdálenosti 0m menší Ra než nůž 5086, ale po obroběné vzdálenosti 3000m vykazoval Ra větší. U veličin Rz, Wa a Wz byly po obrábění nožem CrTiN naměřeny vyšší hodnoty na obráběném materiálu jak při referenční vzdálenosti 0m, tak i při 3000m.

## 6 Závěr

Výsledky práce můžeme zařadit do dvou skupin:

- a) kvalita nože.
  - b) kvalita povrchu obrobeného materiálu.
- 
- a) Z hlediska kvality nože, vyšel lépe nůž bez povlaku 5086. Vykazoval známky menšího úběru řezné hrany. Nůž CrTiN se měl podle výrobce projevovat delší životností, ale oproti noži bez povlaku, při odfrézované vzdálenosti 3000m, se to neprokázalo. Do této odfrézované vzdálenosti se povlakování nástroje nevyplatilo. Je možné, že u jiných obráběných materiálů by se povlakovaný nástroj jevil lepší.
  - b) Z hlediska kvality povrchu obrobeného materiálu vyšel opět lépe nůž 5086. Z počátku byla sice drsnost obrobeného materiálu u nože 5086 vyšší, ale v průběhu frézování stoupala méně oproti drsnosti povrchu obrobeného materiálu nožem CrTiN.

Z dosažených výsledků lze pro praxi doporučit pro frézování MDF-L nůž bez povlaku 5086. Je však možné, že při změně parametrů stroje by se jevil nůž s povlakem CrTiN lépe.

## 7 Seznam použitých zdrojů

### Literární zdroje

ADAMCOVÁ, E. 2010, Porovnanie opotrebenia drevo rezného nástroja z rychloreznej a nástrojovej ocele při frézování smreka. Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva, roč. 7, č. 1, s. 13-21, ISBN 978-80-228-2143-8.

BAJIĆ, D.; LELA, B.; ŽIVKOVIĆ, D., 2008. Modeling of machined surface roughness and optimization of cutting parameters in face milling. Metalurgija, roč. 47, č. 4, s 331-334. ISSN 0543-5846

CHLACHULA P., 2007. Charakteristiky pro popis struktury trecích povrchu. Brno VUT, 34 s.

COSTES J. P., LARRICQ P., 2002. Towards high cutting speed in wood milling. Original Article Forest Science 59, 857- 865.

GOGOLEWSKI, P.; KLIMKE, J; KRELL, A.; BEER, P., 2009. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tools towards effective machining of wood-based materials. Journal of Materials Progressing Technology., roč. 209, s. 2231-2236. ISSN 0924-0136

HOLUBÁŘ, P.; ŠÍMA, M.; ZINDULKA, O., 2005. Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. MM Průmyslové spektrum., roč. 9, s. 70-72. ISSN 1212-2572.

HRÁZSKÝ, J. KRÁL, P., 2004. Kompozitní materiály na bázi dřeva, Část 1: Aglomerované materiály: cvičení, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně., 132 s. ISBN 80-7157-751-0.

HUMÁR, A., 2008. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing, s.r.o., Praha., 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

HUMÁR, A., 1995. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. CCB spol. s.r.o., Brno, s. 265 ISBN 80-85825-10-4

KETURAKIS G., JUODEIKIEN\_ I., 2007. Investigation of Milled Wood Surface Roughness. Materials science (Medžiagotyra) vol. 13 No. 1., 47-51

KMINIAK, R.; SIKLIENKA, M.; ŠUSTEK, J., 2016. Impact of Tool Wear on the Quality of the Surface in Routing of MDF Boards by Milling Machines with Reversible Blades. Acta Facultatis Xylogiae Zvolen., roč. 58, č. 2, s. 89-100. ISSN 1336-3824

KOCMAN, K., PROKOP, J., 2001. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 270s. ISBN 80-214-1996-2.

KOPECKÝ, Z., ROUSEK, M., NOVÁK, V., 2008. Hodnocení kvality obrobeného povrchu dřeva pomocí počítačových metod. In: DZURENDA, L. Vplyv techniky na kvalitu deleného a obrábaného dreva. 1. vyd. Vedecká štúdie 2/2008/B. Technická univerzita vo Zvolene: Vydavateľstvo TU vo Zvolene. s. 55 - 91. ISBN 978 - 80 - 228 - 1923 - 7

KVIETKOVA, M., 2015. Obrábění dřeva, Česká zemědělská univerzita v Praze. 295 s. ISBN: 978-80-213-2604-0

LISIČAN J., 1996, Teória a technika spracovania dreva vyd. Zvolen: Matcentrum, 625 s. ISBN 80-967315-6-4

MAHER, I., 2008. Surface Roughness Prediction in End-Milling Process. Disertační práce. Egypt: Assiut University, Faculty of Engineering. 162 s.

MRKVICA, I.; NESLUŠAN, M.; ČEP, R.; SLÉHA, V., 2016. Properties and Comparison of PVD Coatings. Tehnički vjesnik. ,roč 23, č. 2, s. 569-574. ISSN 1330-3651.

NĚMEC A KOL. 1985; ZEMČÍK, O. 2003. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003.194 s. ISBN 80-214-2336-6..

NOVÁK, V., 2011. Vysokorychlostní frézování dřeva – vliv nástroje a parametrů obrábění na kvalitu obrobeneé plochy. Disertační práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 116 s.

NOVÁK, V. et al. 2011. Assessment of Wood Surface Quality Obtained During High Speed Milling by Use of Non-Contact Method. Drvna Industrija. sv. 62, č. 2, s. 105--113. ISSN 0012-6772

NOVÁK, V., 2005. Vliv změn parametrů frézování na kvalitu povrchu dřeva. Diplomová práce MZLU LDF Brno, 72s.

NUTSCH A KOL. 1999 ZEMČÍK, O., 2003. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,.194 s. ISBN 80-214-2336-6..

OSTMAN, B. A. 1983. Surface roughness of wood-based panels after aging. Forest Products Journal., roč. 33, č 7/8, s. 35-42. ISSN 0015-7473

PROKEŠ, S., 1982. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. 3. vyd. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 584 s.

Rousek a kol., 2003 - 11.ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,.194 s. ISBN 80-214-2336-6..

ROUSEK, M. et al., 2012. Analiza wplywu parametrów frezowania na stan struktury geometrycznej powierzchni wybranych gatunków drzewna. In: KOPECKÝ, Z. Obróbka skrawaniem efektywnie wytwarzanie. 6. vyd. Wroclaw: Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji, s. 537--544. ISBN 978-83-917677-7-1.

SEDLICKÝ, M. Vliv druhu materiálu nástroje na kvalitu opracovaného povrchu při podélném frézování dřeva a materiálů na bázi dřeva. Praha, 2017, Disertační práce. ČZU FLD, 148 s.

SHEIKH-AHMAD, J. Y.; STEWART, J. S.; FELD, H., 2003. Failure characteristics of diamond-coated carbides in machining wood-based composites. *Wear*, roč. 255, č. 7-12, s. 1433-1437. ISSN 0043-1648

SHEIKH-AHMAD, J. Y.; MORITA, T. 2002. Tool coatings for wood machining: Problems and prospects, *Forest Products Journal*. roč. 52, č. 10. s. 43-51. ISSN 0015-7473

SIKLIENKA, M.; KMINIAK, R. Delenie a obrabanie dreva. Technicka universita vo Tvolene. 2013a. 207 s. ISBN 978-80-228-2618-1.

SVATOŠ, M., 2009. Kvalita povrchu při frézování. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 49 s.

SVOBODA E. a kol., 2009. Surface structure of milling wood. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW Forestry and Wood Technology* No. 68.

VARKOČEK, J., et al. 2004. Dělení, obrábění a tváření materiálů. 2. vyd. MZLU, s. 1-4. ISBN 80-7157-759-6

VARKOČEK, J., ROUSEK, M., HOLOPÍREK, J., 2004. Dělení, obrábění a tváření materiálů. 2. nezm. vyd. Brno, Mendelova univerzita v Brně, 123 s., ISBN 80-7157-759-6.

ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2336-6.

## **Internetové zdroje**

*Frézování* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z:  
<http://www.pavkrej.wz.cz/index.php?page=texty/texty>

*Frézování* [online]. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: [https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9915/mod\\_resource/content/0/FR%C3%89ZOV%C3%81N%C3%8D.pdf](https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9915/mod_resource/content/0/FR%C3%89ZOV%C3%81N%C3%8D.pdf)

*Ovlivnění kvality a jakosti obrobene plochy* [online]. [cit. 2019-03-3]. Dostupné z:  
<https://www.mmspektrum.com/clanek/ovlivneni-kvality-a-jakosti-obrobene-plochy-pri-frezovani.html>

## **Zákony, normy a vyhlášky**

ČSN ISO 16610-21 (014445) - Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 21: Lineární profilové filtry: Gaussovy filtry

ČSN EN ISO 4287 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999. 16 s.

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

Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999. 16 s.

## 8 Přílohy

Příloha 1 - Vliv vzdálenosti na drsnost

Ra	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	0	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	50	0,000	0,294	0,294	0,080	0,722	0,128	0,129	0,012	0,003	0,000	0,000	0,000
3	100	0,001	0,294	0,006	0,006	0,445	0,013	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	200	0,000	0,080	0,006	0,041	0,762	0,762	0,711	0,396	0,214	0,000	0,000	0,000
5	400	0,000	0,722	0,445	0,041	0,072	0,072	0,076	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
6	800	0,000	0,128	0,013	0,762	0,072	0,924	0,281	0,262	0,140	0,000	0,000	0,000
7	1000	0,000	0,129	0,014	0,711	0,076	0,924	0,262	0,128	0,128	0,000	0,000	0,000
8	1200	0,000	0,012	0,000	0,396	0,005	0,281	0,262	0,635	0,635	0,000	0,000	0,000
9	1500	0,000	0,003	0,000	0,214	0,001	0,140	0,128	0,635	0,000	0,000	0,000	0,000
10	2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,122	0,063
11	2500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,122	0,675
12	3000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,063	0,063	0,675



Příloha 2 - Vliv vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Rz	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	0	77,534	91,412	86,905	98,315	91,963	100,53	98,764	103,11	104,85	114,63	121,02	120,33
2	50	0,003	0,003	0,315	0,148	0,902	0,070	0,137	0,020	0,007	0,000	0,000	0,000
3	100	0,037	0,315		0,018	0,291	0,006	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
4	200	0,000	0,148	0,018		0,157	0,646	0,920	0,337	0,200	0,001	0,000	0,000
5	400	0,002	0,902	0,291	0,157		0,081	0,154	0,024	0,010	0,000	0,000	0,000
6	800	0,000	0,070	0,006	0,646	0,081		0,694	0,565	0,368	0,003	0,000	0,000
7	1000	0,000	0,137	0,016	0,920	0,154	0,694		0,365	0,221	0,001	0,000	0,000
8	1200	0,000	0,020	0,001	0,337	0,024	0,565	0,365		0,699	0,014	0,000	0,000
9	1500	0,000	0,007	0,000	0,200	0,010	0,368	0,221	0,699		0,029	0,001	0,001
10	2000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,001	0,014	0,029		0,181	0,204
11	2500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,181		0,877
12	3000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,204	0,877	

Příloha 3 - Vliv vzdálenosti na vlnitost povrchu

Wa	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	0	5,1384	6,9117	6,6713	7,0208	6,1718	6,4307	6,2344	8,2426	7,3505	8,2515	9,0301	9,8844
2	50	0,082	0,082	0,127	0,068	0,246	0,189	0,248	0,002	0,032	0,002	0,000	0,000
3	100	0,127	0,787	0,787	0,902	0,470	0,615	0,496	0,176	0,646	0,185	0,035	0,002
4	200	0,068	0,902	0,715	0,715	0,616	0,787	0,647	0,118	0,495	0,123	0,020	0,001
5	400	0,246	0,470	0,616	0,416	0,554	0,787	0,442	0,197	0,711	0,212	0,042	0,003
6	800	0,189	0,615	0,787	0,554	0,787	0,826	0,826	0,075	0,368	0,078	0,010	0,000
7	1000	0,248	0,496	0,647	0,442	0,944	0,826	0,050	0,050	0,283	0,052	0,006	0,000
8	1200	0,002	0,176	0,118	0,197	0,046	0,075	0,050	0,316	0,992	0,992	0,408	0,092
9	1500	0,032	0,646	0,495	0,711	0,264	0,368	0,283	0,316	0,344	0,344	0,085	0,009
10	2000	0,002	0,185	0,123	0,212	0,047	0,078	0,052	0,992	0,344	0,992	0,382	0,083
11	2500	0,000	0,035	0,020	0,042	0,005	0,010	0,006	0,408	0,085	0,382	0,337	0,337
12	3000	0,000	0,002	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,092	0,009	0,083	0,337	0,337

Příloha 4 - Vliv obrobené vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

Wz	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	0	13,304	16,888	15,626	15,778	15,920	19,004	16,480	22,317	18,596	20,776	24,598	23,579
2	50	0,220	0,220	0,355	0,357	0,350	0,052	0,268	0,001	0,069	0,009	0,000	0,000
3	100	0,355	0,663	0,663	0,693	0,720	0,432	0,871	0,053	0,497	0,161	0,006	0,017
4	200	0,357	0,693	0,952	0,952	0,913	0,256	0,762	0,022	0,312	0,081	0,002	0,006
5	400	0,350	0,720	0,913	0,955	0,955	0,271	0,795	0,024	0,327	0,087	0,002	0,006
6	800	0,052	0,432	0,256	0,271	0,283	0,283	0,824	0,025	0,339	0,092	0,002	0,007
7	1000	0,268	0,871	0,762	0,795	0,824	0,367	0,367	0,216	0,871	0,481	0,046	0,097
8	1200	0,001	0,053	0,022	0,024	0,025	0,216	0,040	0,040	0,432	0,130	0,004	0,012
9	1500	0,069	0,497	0,312	0,327	0,339	0,871	0,432	0,180	0,180	0,540	0,396	0,615
10	2000	0,009	0,161	0,081	0,087	0,092	0,481	0,130	0,540	0,418	0,418	0,168	0,296
11	2500	0,000	0,006	0,002	0,002	0,002	0,046	0,004	0,396	0,034	0,168	0,168	0,685
12	3000	0,000	0,017	0,006	0,006	0,007	0,097	0,012	0,615	0,077	0,296	0,685	

Příloha 5 - Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na drsnost

Ra	Typ nože	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}	{19}	{20}	{21}	{22}	{23}	{24}
1	CrTiN	0	0.006	0.030	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.630	0.001	0.015	0.000	0.048	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	CrTiN	50	0.542	0.572	0.375	0.218	0.110	0.121	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.553	0.737	0.023	0.406	0.237	0.467	0.025	0.246	0.000	0.000	0.000
3	CrTiN	100	0.030	0.542	0.270	0.155	0.076	0.031	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.076	0.261	0.751	0.004	0.785	0.084	0.207	0.004	0.089	0.000	0.000	0.000
4	CrTiN	200	0.001	0.572	0.270	0.460	0.272	0.292	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.989	0.398	0.082	0.186	0.491	0.837	0.087	0.506	0.000	0.000	0.000
5	CrTiN	400	0.000	0.375	0.155	0.702	0.683	0.438	0.464	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.705	0.245	0.159	0.100	0.722	0.838	0.167	0.739	0.000	0.000	0.000
6	CrTiN	800	0.000	0.218	0.076	0.460	0.683	0.673	0.673	0.701	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.461	0.131	0.286	0.044	0.940	0.566	0.293	0.908	0.000	0.000	0.000
7	CrTiN	1000	0.000	0.110	0.031	0.272	0.438	0.673	0.945	0.084	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.272	0.060	0.474	0.016	0.637	0.349	0.475	0.617	0.000	0.000	0.000
8	CrTiN	1200	0.000	0.035	0.292	0.464	0.701	0.945	0.080	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.293	0.066	0.454	0.019	0.669	0.372	0.464	0.651	0.000	0.000	0.000
9	CrTiN	1500	0.000	0.001	0.000	0.005	0.015	0.038	0.080	0.000	0.124	0.083	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.260	0.000	0.034	0.009	0.269	0.033	0.289	0.007	0.032
10	CrTiN	2000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.124	0.790	0.198	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.569	0.223	0.488
11	CrTiN	2500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083	0.790	0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.435	0.310	0.633
12	CrTiN	3000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.198	0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.909	0.501
13	5086	0	0.630	0.022	0.076	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.000	0.110	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	5086	50	0.001	0.553	0.261	0.989	0.705	0.451	0.272	0.293	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.385	0.385	0.082	0.181	0.493	0.839	0.088	0.510	0.000	0.000	0.000
15	5086	100	0.015	0.737	0.751	0.398	0.245	0.131	0.060	0.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.385	0.385	0.082	0.181	0.493	0.839	0.088	0.510	0.000	0.000	0.000
16	5086	200	0.000	0.023	0.004	0.082	0.159	0.286	0.474	0.454	0.260	0.010	0.005	0.000	0.000	0.082	0.010	0.010	0.582	0.276	0.122	0.122	0.122	0.000	0.000	0.000
17	5086	400	0.048	0.406	0.785	0.186	0.100	0.044	0.016	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	0.181	0.582	0.002	0.050	0.138	0.002	0.053	0.000	0.000	0.000	
18	5086	800	0.000	0.237	0.084	0.491	0.722	0.940	0.637	0.669	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.493	0.144	0.266	0.050	0.600	0.276	0.962	0.002	0.000	0.000	0.000
19	5086	1000	0.001	0.467	0.207	0.837	0.838	0.565	0.349	0.372	0.009	0.000	0.000	0.000	0.003	0.839	0.316	0.116	0.138	0.600	0.276	0.962	0.002	0.000	0.000	0.000
20	5086	1200	0.000	0.025	0.004	0.087	0.167	0.293	0.475	0.464	0.269	0.010	0.005	0.000	0.000	0.088	0.011	0.958	0.002	0.276	0.122	0.122	0.268	0.039	0.000	0.001
21	5086	1500	0.000	0.246	0.089	0.506	0.739	0.908	0.617	0.651	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.510	0.151	0.257	0.053	0.962	0.615	0.268	0.002	0.000	0.000	0.000
22	5086	2000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.007	0.006	0.289	0.569	0.435	0.075	0.000	0.000	0.000	0.037	0.000	0.002	0.000	0.039	0.002	0.000	0.000	0.000
23	5086	2500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.223	0.310	0.909	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	5086	3000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.488	0.633	0.501	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.237	0.544	0.544

Příloha 6 - Vliv druhu nože a obrobené vzdálenosti na nejvyšší výšku profilu drsnosti

Rz	Typ nože	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}	{19}	{20}	{21}	{22}	{23}	{24}	
1	CrTiN	0	78,307	94,130	86,620	91,180	98,528	100,24	101,12	101,15	110,64	113,86	119,74	125,25	76,762	88,694	87,191	105,45	85,397	100,82	96,412	105,07	99,064	115,39	122,30	115,40	
2	CrTiN	50	0,029	0,219	0,301	0,642	0,518	0,402	0,355	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,808	0,149	0,206	0,400	0,264	0,002	0,112	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000
3	CrTiN	100	0,219	0,301	0,521	0,108	0,070	0,057	0,059	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,159	0,761	0,928	0,012	0,847	0,061	0,183	0,074	0,097	0,000	0,000	0,000
4	CrTiN	200	0,076	0,642	0,521	0,298	0,220	0,190	0,194	0,009	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,695	0,558	0,062	0,428	0,198	0,442	0,277	0,001	0,000	0,001	0,001
5	CrTiN	400	0,005	0,518	0,108	0,298	0,802	0,724	0,726	0,111	0,041	0,004	0,000	0,000	0,002	0,172	0,121	0,367	0,079	0,748	0,739	0,387	0,933	0,025	0,001	0,026	
6	CrTiN	800	0,002	0,402	0,070	0,220	0,802	0,898	0,898	0,164	0,067	0,008	0,000	0,000	0,001	0,001	0,120	0,081	0,485	0,049	0,927	0,590	0,853	0,042	0,002	0,044	
7	CrTiN	1000	0,002	0,355	0,057	0,190	0,724	0,898	0,995	0,176	0,074	0,079	0,010	0,001	0,001	0,001	0,101	0,066	0,542	0,039	0,963	0,529	0,561	0,773	0,051	0,054	
8	CrTiN	1200	0,002	0,360	0,059	0,194	0,726	0,898	0,995	0,176	0,074	0,079	0,010	0,001	0,001	0,104	0,068	0,528	0,040	0,961	0,533	0,537	0,776	0,048	0,003	0,052	
9	CrTiN	1500	0,000	0,028	0,001	0,009	0,111	0,164	0,187	0,176	0,612	0,208	0,045	0,000	0,003	0,001	0,414	0,000	0,182	0,060	0,182	0,060	0,413	0,124	0,484	0,110	
10	CrTiN	2000	0,000	0,068	0,000	0,002	0,041	0,067	0,079	0,074	0,612	0,406	0,119	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,077	0,020	0,020	0,211	0,048	0,809	0,244	0,822	
11	CrTiN	2500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010	0,208	0,406	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	
12	CrTiN	3000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,102	0,813	0,027	0,643	0,106	0,274	0,030	0,158	0,000	0,000	0,000	
13	5086	0	0,808	0,017	0,159	0,049	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,102	0,102	0,147	0,000	0,201	0,001	0,007	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	
14	5086	50	0,149	0,424	0,761	0,695	0,172	0,120	0,101	0,104	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,147	0,813	0,027	0,643	0,106	0,274	0,030	0,158	0,000	0,000	0,000	
15	5086	100	0,206	0,326	0,928	0,538	0,121	0,081	0,066	0,068	0,001	0,000	0,000	0,000	0,147	0,813	0,027	0,643	0,106	0,274	0,030	0,158	0,000	0,000	0,000	0,000	
16	5086	200	0,000	0,141	0,012	0,062	0,367	0,485	0,542	0,528	0,414	0,214	0,047	0,006	0,000	0,027	0,015	0,015	0,008	0,027	0,240	0,953	0,399	0,156	0,019	0,167	
17	5086	400	0,264	0,237	0,847	0,428	0,079	0,049	0,039	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,201	0,643	0,793	0,008	0,042	0,139	0,009	0,069	0,000	0,000	0,000	0,000	
18	5086	800	0,002	0,369	0,061	0,198	0,748	0,927	0,963	0,961	0,182	0,077	0,010	0,001	0,001	0,106	0,106	0,070	0,527	0,042	0,547	0,549	0,797	0,049	0,003	0,051	
19	5086	1000	0,012	0,719	0,183	0,442	0,739	0,590	0,529	0,533	0,060	0,020	0,001	0,000	0,007	0,274	0,202	0,240	0,139	0,547	0,256	0,697	0,011	0,000	0,011		
20	5086	1200	0,000	0,152	0,014	0,067	0,387	0,509	0,561	0,537	0,413	0,211	0,044	0,005	0,000	0,030	0,017	0,563	0,009	0,009	0,256	0,420	0,151	0,018	0,160		
21	5086	1500	0,004	0,487	0,097	0,277	0,933	0,853	0,773	0,776	0,124	0,048	0,005	0,000	0,002	0,158	0,109	0,399	0,069	0,797	0,697	0,420	0,029	0,001	0,030		
22	5086	2000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,025	0,042	0,051	0,048	0,484	0,809	0,523	0,171	0,000	0,000	0,000	0,156	0,000	0,049	0,011	0,151	0,029	0,329	1,000		
23	5086	2500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,003	0,110	0,244	0,687	0,642	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,003	0,000	0,018	0,001	0,329	1,000		
24	5086	3000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,026	0,044	0,054	0,052	0,822	0,494	0,160	0,160	0,000	0,000	0,000	0,167	0,000	0,051	0,011	0,160	0,030	1,000	0,309		

Příloha 7 - Vliv druhu nože a obrobene vzdálenosti na vlnitost povrchu

Wa	Typ nože	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}	{19}	{20}	{21}	{22}	{23}	{24}
1	CrTiN	0	5,5829	6,4333	6,3642	6,3860	6,4758	5,9492	6,7961	5,8835	7,4631	8,5901	8,4584	10,649	4,6940	7,3901	6,9785	7,6556	5,8678	6,9121	5,7027	10,602	7,2379	7,9129	9,6018	9,1193
2	CrTiN	50	0,578	0,578	0,599	0,595	0,564	0,801	0,447	0,832	0,237	0,056	0,068	0,001	0,480	0,254	0,376	0,193	0,833	0,396	0,924	0,001	0,295	0,143	0,008	0,022
3	CrTiN	100	0,599	0,959	0,970	0,986	0,937	0,742	0,806	0,705	0,500	0,165	0,190	0,004	0,255	0,525	0,708	0,427	0,704	0,734	0,628	0,005	0,588	0,340	0,038	0,082
4	CrTiN	200	0,595	0,970	0,986	0,947	0,747	0,788	0,722	0,480	0,156	0,181	0,183	0,004	0,263	0,506	0,684	0,410	0,725	0,712	0,649	0,004	0,568	0,325	0,036	0,078
5	CrTiN	400	0,564	0,973	0,937	0,947	0,717	0,717	0,818	0,690	0,512	0,171	0,197	0,005	0,248	0,537	0,722	0,439	0,687	0,747	0,613	0,005	0,600	0,349	0,040	0,085
6	CrTiN	800	0,801	0,732	0,742	0,747	0,717	0,582	0,582	0,358	0,332	0,091	0,108	0,001	0,395	0,353	0,500	0,277	0,952	0,523	0,861	0,001	0,402	0,211	0,016	0,040
7	CrTiN	1000	0,447	0,806	0,782	0,788	0,818	0,582	0,558	0,639	0,236	0,268	0,268	0,009	0,180	0,668	0,875	0,555	0,557	0,908	0,491	0,010	0,738	0,452	0,063	0,125
8	CrTiN	1200	0,832	0,705	0,722	0,722	0,690	0,958	0,558	0,315	0,084	0,100	0,001	0,411	0,335	0,478	0,261	0,990	0,500	0,894	0,001	0,383	0,198	0,015	0,036	0,036
9	CrTiN	1500	0,237	0,500	0,480	0,485	0,512	0,332	0,639	0,315	0,436	0,436	0,479	0,030	0,077	0,954	0,731	0,878	0,313	0,705	0,267	0,031	0,868	0,739	0,148	0,259
10	CrTiN	2000	0,056	0,165	0,156	0,158	0,171	0,091	0,236	0,084	0,436	0,479	0,917	0,131	0,014	0,417	0,287	0,507	0,084	0,273	0,066	0,147	0,367	0,616	0,453	0,674
11	CrTiN	2500	0,068	0,190	0,181	0,183	0,197	0,108	0,268	0,100	0,479	0,917	0,131	0,014	0,461	0,323	0,552	0,099	0,308	0,080	0,132	0,409	0,665	0,416	0,625	0,625
12	CrTiN	3000	0,001	0,004	0,004	0,004	0,005	0,001	0,009	0,001	0,030	0,449	0,131	0,014	0,000	0,028	0,013	0,041	0,001	0,012	0,001	0,970	0,021	0,060	0,437	0,274
13	5086	0	0,480	0,255	0,263	0,263	0,246	0,395	0,180	0,111	0,077	0,011	0,014	0,000	0,084	0,084	0,143	0,058	0,403	0,153	0,454	0,000	0,103	0,038	0,001	0,003
14	5086	50	0,254	0,525	0,506	0,511	0,537	0,353	0,668	0,335	0,954	0,417	0,461	0,028	0,084	0,761	0,844	0,333	0,735	0,285	0,029	0,904	0,711	0,139	0,246	0,246
15	5086	100	0,376	0,708	0,684	0,690	0,722	0,500	0,875	0,478	0,731	0,287	0,323	0,013	0,143	0,761	0,641	0,476	0,958	0,416	0,014	0,014	0,837	0,528	0,082	0,158
16	5086	200	0,193	0,427	0,410	0,414	0,439	0,277	0,555	0,261	0,878	0,507	0,552	0,041	0,058	0,844	0,641	0,259	0,616	0,219	0,042	0,767	0,838	0,182	0,310	0,310
17	5086	400	0,833	0,704	0,725	0,722	0,687	0,952	0,557	0,990	0,313	0,084	0,099	0,001	0,403	0,333	0,476	0,259	0,499	0,896	0,001	0,381	0,197	0,015	0,036	0,036
18	5086	800	0,396	0,734	0,712	0,717	0,747	0,523	0,908	0,500	0,705	0,273	0,308	0,012	0,153	0,735	0,958	0,616	0,499	0,437	0,013	0,810	0,506	0,077	0,148	0,148
19	5086	1000	0,924	0,628	0,649	0,645	0,613	0,861	0,491	0,894	0,267	0,066	0,080	0,001	0,454	0,285	0,416	0,219	0,896	0,437	0,001	0,329	0,164	0,011	0,027	0,027
20	5086	1200	0,001	0,005	0,004	0,004	0,005	0,001	0,010	0,001	0,031	0,147	0,132	0,970	0,000	0,029	0,014	0,042	0,001	0,013	0,001	0,022	0,061	0,427	0,270	0,270
21	5086	1500	0,295	0,588	0,568	0,572	0,600	0,402	0,738	0,383	0,868	0,367	0,409	0,021	0,103	0,904	0,837	0,767	0,381	0,810	0,329	0,022	0,642	0,117	0,212	0,212
22	5086	2000	0,143	0,340	0,325	0,328	0,349	0,211	0,452	0,198	0,739	0,616	0,665	0,060	0,038	0,711	0,528	0,838	0,197	0,506	0,164	0,061	0,642	0,239	0,390	0,390
23	5086	2500	0,008	0,038	0,036	0,040	0,016	0,063	0,105	0,015	0,148	0,453	0,416	0,437	0,001	0,139	0,082	0,182	0,015	0,077	0,011	0,427	0,117	0,239	0,702	0,702
24	5086	3000	0,022	0,082	0,077	0,078	0,085	0,040	0,125	0,036	0,259	0,674	0,625	0,274	0,003	0,246	0,158	0,310	0,036	0,148	0,027	0,270	0,212	0,390	0,702	0,702

Příloha 8 - Vliv druhu nože a obrobene vzdálenosti na největší výšku profilu vlnitosti

Wz	Typ nože	Vzdálenost (m)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}	{19}	{20}	{21}	{22}	{23}	{24}
1	CrTiN	0	0.697	0.899	0.716	0.699	0.465	0.908	0.307	0.188	0.037	0.006	0.585	0.445	0.587	0.454	0.697	0.084	0.790	0.000	0.381	0.119	0.008	0.136	0.136	
2	CrTiN	50	0.957	0.727		0.866	0.745	0.961	0.987	0.690	0.767	0.496	0.326	0.083	0.177	0.390	0.675	0.847	0.682	0.994	0.168	0.880	0.001	0.593	0.223	0.245
3	CrTiN	100	0.899	0.625	0.866		0.643	0.627	0.408	0.824	0.263	0.157	0.028	0.004	0.646	0.390	0.522	0.398	0.625	0.068	0.712	0.000	0.330	0.097	0.006	0.147
4	CrTiN	200	0.716	0.961	0.745	0.643		0.971	0.682	0.783	0.482	0.318	0.080	0.016	0.399	0.658	0.831	0.669	0.965	0.162	0.904	0.001	0.578	0.216	0.023	0.243
5	CrTiN	400	0.699	0.987	0.728	0.627	0.971		0.699	0.767	0.497	0.329	0.084	0.017	0.388	0.676	0.851	0.686	0.992	0.169	0.884	0.001	0.594	0.225	0.024	0.252
6	CrTiN	800	0.465	0.690	0.489	0.408	0.682	0.699		0.521	0.738	0.521	0.166	0.044	0.231	0.959	0.813	0.976	0.697	0.299	0.615	0.003	0.858	0.380	0.057	0.417
7	CrTiN	1200	0.908	0.767	0.945	0.824	0.783	0.767	0.521	0.351	0.219	0.046	0.008	0.538	0.501	0.651	0.509	0.766	0.102	0.861	0.000	0.431	0.442	0.011	0.161	
8	CrTiN	1500	0.307	0.496	0.326	0.263	0.482	0.497	0.738	0.351	0.713	0.266	0.084	0.136	0.757	0.597	0.751	0.498	0.446	0.427	0.007	0.853	0.547	0.104	0.587	
9	CrTiN	2000	0.188	0.326	0.201	0.157	0.318	0.329	0.521	0.219	0.713		0.419	0.156	0.072	0.531	0.406	0.529	0.329	0.650	0.275	0.018	0.606	0.777	0.188	0.830
10	CrTiN	2500	0.037	0.083	0.041	0.028	0.080	0.084	0.166	0.046	0.266	0.419		0.491	0.009	0.172	0.115	0.170	0.084	0.674	0.065	0.106	0.209	0.560	0.523	
11	CrTiN	3000	0.006	0.017	0.006	0.004	0.016	0.017	0.044	0.008	0.084	0.156	0.491		0.001	0.046	0.027	0.045	0.017	0.297	0.012	0.299	0.060	0.232	0.888	0.211
12	5086	0	0.585	0.390	0.567	0.646	0.399	0.388	0.231	0.538	0.136	0.072	0.009	0.001	0.219	0.312	0.224	0.389	0.026	0.451	0.000	0.179	0.040	0.001	0.048	0.426
13	5086	50	0.445	0.675	0.469	0.390	0.658	0.676	0.959	0.501	0.757	0.531	0.172	0.046	0.219		0.795	0.980	0.678	0.309	0.592	0.003	0.884	0.391	0.060	0.426
14	5086	100	0.587	0.847	0.615	0.522	0.831	0.851	0.813	0.651	0.597	0.406	0.115	0.027	0.312	0.795		0.804	0.863	0.220	0.756	0.001	0.705	0.287	0.036	0.317
15	5086	200	0.454	0.682	0.478	0.398	0.689	0.686	0.976	0.509	0.751	0.529	0.170	0.045	0.224	0.980	0.804		0.687	0.306	0.602	0.003	0.874	0.388	0.059	0.424
16	5086	400	0.697	0.994	0.727	0.625	0.965	0.992	0.697	0.766	0.498	0.329	0.084	0.017	0.389	0.678	0.853	0.687		0.169	0.881	0.001	0.595	0.225	0.024	0.251
17	5086	800	0.084	0.168	0.092	0.068	0.162	0.169	0.293	0.102	0.446	0.650	0.674	0.297	0.026	0.309	0.220	0.306	0.306		0.136	0.049	0.364	0.839	0.341	0.784
18	5086	1000	0.790	0.880	0.820	0.712	0.904	0.884	0.615	0.861	0.427	0.275	0.065	0.012	0.451	0.592	0.756	0.602	0.881	0.136		0.000	0.516	0.184	0.017	0.207
19	5086	1200	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.000	0.007	0.018	0.106	0.299	0.000	0.003	0.001	0.003	0.001	0.049	0.000		0.004	0.033	0.269	0.029
20	5086	1500	0.381	0.583	0.402	0.330	0.578	0.594	0.858	0.431	0.853	0.606	0.209	0.060	0.179	0.884	0.705	0.874	0.595	0.364	0.516	0.004	0.455	0.077	0.492	0.928
21	5086	2000	0.119	0.223	0.129	0.097	0.216	0.225	0.380	0.142	0.547	0.777	0.560	0.232	0.040	0.391	0.287	0.388	0.225	0.839	0.184	0.033	0.455	0.077	0.271	0.250
22	5086	2500	0.008	0.023	0.009	0.006	0.023	0.024	0.057	0.011	0.104	0.188	0.550	0.888	0.001	0.060	0.038	0.059	0.024	0.341	0.017	0.269	0.077	0.271	0.250	
23	5086	3000	0.136	0.249	0.147	0.112	0.243	0.252	0.417	0.161	0.587	0.830	0.523	0.211	0.048	0.426	0.317	0.424	0.251	0.784	0.207	0.029	0.492	0.928	0.250	

Příloha 9 – Kvalita obrobeneho povrchu – nůž 5086

	5086																																															
	0		50		100		200		400		800		1000		1200		1500		2000		2500		3000																									
	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt	Ra	Wt																								
1	8,719	76,026	6,653	7,900	14,889	109,051	5,604	16,781	12,761	88,585	5,800	10,040	13,956	103,950	4,284	14,220	9,470	64,031	3,321	8,450	12,777	101,140	6,121	14,589	16,679	111,778	6,329	16,219	17,723	83,748	13,403	41,653	11,999	87,500	5,625	11,151	13,941	120,658	11,442	23,976	19,839	125,139	6,901	20,649	20,400	153,623	9,309	16,310
2	9,211	71,592	6,091	13,897	11,333	85,969	8,702	12,905	11,410	82,068	5,011	10,264	15,361	115,738	4,018	11,715	13,827	107,336	6,660	17,231	14,309	100,417	6,196	11,448	12,789	88,633	4,430	8,472	13,246	108,812	11,086	25,417	12,669	96,880	7,571	21,514	15,990	113,629	10,006	19,031	15,289	99,995	7,091	18,931	19,851	146,862	8,451	16,759
3	9,096	71,598	2,866	6,591	13,591	83,750	9,925	19,586	12,775	90,250	11,171	17,973	16,399	109,164	6,341	17,408	10,321	78,067	5,679	16,926	11,172	86,724	7,675	6,093	11,704	4,361	193,990	27,597	85,201	15,827	105,955	3,700	10,607	19,099	127,097	8,601	27,245	12,022	156,049	11,897	39,405	15,278	111,000	5,315	16,327			
4	10,092	74,703	3,331	10,536	9,791	71,169	8,995	10,804	11,409	80,141	6,476	12,773	13,601	102,841	7,036	16,096	10,316	84,549	4,303	15,518	13,155	81,712	7,897	13,330	12,282	90,103	8,909	15,443	13,994	107,855	7,587	19,806	11,605	91,794	8,877	13,189	15,250	113,847	5,397	16,394	18,131	146,819	14,905	41,625	16,403	111,328	6,693	14,714
5	12,076	75,214	5,527	15,517	14,988	102,759	8,824	17,219	11,103	81,399	6,526	12,874	13,859	101,310	8,298	17,210	13,947	100,046	5,593	17,019	14,811	113,170	8,137	18,283	14,429	106,040	6,764	15,406	14,649	99,162	12,130	39,602	15,008	112,969	6,997	15,529	15,266	102,028	3,967	10,787	16,190	118,983	12,26	15,354	17,189	103,177	6,001	16,929
6	10,564	79,070	6,951	16,889	11,023	74,167	9,706	19,475	13,055	95,509	5,281	14,907	16,958	110,499	10,060	15,085	10,651	79,144	7,571	17,734	12,816	105,260	4,250	14,990	44,931	122,029	5,011	15,944	13,988	91,185	9,472	24,497	14,594	106,851	3,831	12,716	18,178	125,058	10,740	26,814	16,758	115,943	7,906	22,741	15,830	97,118	7,689	14,848
7	11,596	74,168	4,121	13,553	14,380	91,041	8,893	18,388	11,146	81,077	5,936	12,079	14,893	110,997	5,493	16,837	10,697	90,056	6,667	19,463	15,641	107,947	5,294	14,689	13,578	105,729	7,799	11,894	11,091	86,945	5,444	14,827	12,794	83,537	6,995	18,242	19,723	136,761	6,689	18,808	16,385	102,169	8,777	21,915	18,121	110,540	15,177	16,339
8	11,946	84,683	5,413	8,559	12,201	81,807	3,081	17,929	13,458	88,229	5,116	12,023	15,491	92,714	7,696	16,526	11,151	77,111	3,979	15,495	19,907	94,937	10,589	10,040	11,934	87,672	4,276	11,132	14,381	94,055	6,384	19,367	11,171	87,764	10,207	20,324	19,021	131,004	7,593	21,678	18,695	117,569	8,331	21,198	15,168	103,654	11,657	12,757
9	10,428	84,025	6,163	16,491	11,375	73,023	3,190	14,483	13,187	108,494	7,798	12,311	14,891	118,768	7,099	16,534	11,140	82,507	7,497	20,909	14,623	111,698	10,688	10,499	12,108	96,010	4,896	9,459	12,469	82,164	7,820	15,502	16,783	118,451	9,232	31,745	16,190	95,703	10,941	33,376	18,976	127,753	14,028	30,889	17,671	98,621	8,221	19,054
10	9,148	74,301	4,827	10,774	16,059	102,208	8,818	18,938	12,355	81,215	11,077	12,891	13,231	88,499	6,330	14,501	12,264	90,527	5,643	14,303	19,707	95,085	44,222	16,428	12,145	78,357	4,831	15,617	13,648	82,189	5,438	16,635	13,566	99,573	9,075	17,613	12,683	87,961	4,106	12,070	17,102	105,991	11,666	22,907	20,483	136,049	13,491	17,008
Průměr	10,465	76,762	6,694	11,264	13,016	88,694	7,990	17,741	14,791	105,449	7,656	17,669	11,776	85,597	5,668	16,004	13,688	100,819	10,910	12,041	13,206	96,413	5,703	14,498	14,709	105,072	10,903	19,949	13,546	99,064	7,239	18,666	16,548	115,396	7,913	21,318	18,124	112,296	9,601	16,659	17,615	115,398	9,119	19,997				
Štandardní odchylna	1,138	4,607	1,421	4,032	1,906	13,294	1,916	3,438	4,990	7,659	3,396	6,581	1,366	9,597	3,936	5,008	1,493	12,274	1,749	4,412	1,137	8,767	11,900	16,331	1,597	14,768	1,836	5,336	3,531	32,627	6,996	21,380	11,906	11,650	6,397	2,316	16,075	2,784	7,159	2,282	17,701	3,448	8,755	1,994	17,305	3,347	5,375	



Příloha 10 – Kvalita obrobeného povrchu – nůž CrTiN

	CrTiN																																															
	0			50			100			200			400			800			1000			1500			2000			2500			3000																	
	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa															
1	10,594	80,677	2,366	8,093	12,057	9,736	6,850	16,532	9,350	73,077	4,481	10,744	11,151	80,658	4,095	11,788	13,248	102,362	2,246	6,610	3,623	96,289	4,693	14,880	11,574	88,276	6,038	17,653	13,288	94,597	3,793	8,004	16,245	126,221	10,074	21,848	17,287	113,370	8,676	21,729	18,558	128,202	8,477	25,965	17,917	147,081	10,709	30,306
2	10,407	80,698	5,329	15,334	15,525	118,106	8,039	28,754	11,065	91,051	7,291	16,441	11,824	77,949	6,499	11,221	13,513	97,795	6,009	13,749	13,575	97,188	3,235	7,900	15,250	91,658	3,981	10,321	12,476	85,606	4,983	8,382	16,305	110,881	7,690	19,999	15,193	108,908	4,510	13,779	15,693	121,411	8,777	28,066	21,466	155,251	11,533	30,396
3	11,119	87,238	8,082	21,628	11,670	79,943	5,935	15,766	10,566	81,890	7,534	15,092	13,304	89,001	3,798	8,498	13,401	102,774	9,229	15,428	11,952	84,199	7,855	21,315	17,423	131,236	7,141	21,345	13,924	113,975	6,902	21,354	17,465	124,568	5,789	17,644	15,421	106,792	7,945	16,783	16,262	116,944	8,181	18,419	18,053	113,862	10,212	25,569
4	8,391	64,435	6,939	15,099	10,352	76,151	9,597	18,931	10,939	68,618	4,772	13,341	14,439	100,098	5,442	12,621	14,077	93,221	7,789	17,094	10,976	80,785	7,039	17,008	14,566	103,310	5,521	14,621	13,827	92,673	6,156	14,366	15,132	98,893	6,185	12,336	17,840	129,098	2,237	24,029	16,595	116,403	5,445	11,508	15,086	104,199	5,966	15,030
5	10,024	81,570	7,646	15,755	14,065	92,237	4,540	9,707	13,206	89,427	4,114	11,051	14,242	97,540	4,975	15,269	13,797	92,222	10,058	25,272	11,965	102,077	7,621	7,219	13,829	99,549	5,498	13,471	15,248	95,743	7,196	11,722	13,477	94,178	10,138	23,289	18,668	157,699	8,490	19,416	15,421	110,827	9,673	16,818	16,594	108,927	18,262	15,529
6	11,484	95,416	4,427	11,344	12,256	101,259	4,412	11,499	15,334	110,357	6,888	15,639	11,971	92,666	6,165	12,953	11,238	88,098	4,998	16,194	13,683	101,672	6,051	18,331	12,928	95,697	7,913	21,141	15,001	103,310	5,581	13,672	14,843	104,599	4,138	11,070	18,101	98,250	4,887	13,884	17,123	116,463	9,874	13,515	17,689	122,946	12,710	36,293
7	10,574	81,038	5,709	13,310	12,278	95,582	7,369	11,982	15,239	106,771	7,794	18,179	13,366	99,535	7,909	15,971	15,289	115,347	4,246	12,044	17,721	137,669	5,955	21,627	12,014	94,966	10,062	29,048	15,102	129,463	6,801	16,349	14,035	101,260	6,397	20,365	16,155	101,799	5,817	18,538	16,837	107,399	7,714	24,455	18,019	120,075	7,509	17,608
8	10,183	73,439	6,228	17,047	13,540	89,202	3,501	11,931	10,318	78,288	3,449	11,176	13,168	91,632	12,262	22,928	10,667	85,383	5,769	15,000	13,904	102,275	4,005	9,654	13,698	99,795	8,685	19,381	14,719	107,847	7,543	16,339	16,027	115,339	6,800	21,260	16,082	114,292	7,200	18,672	19,399	135,372	10,597	18,478	23,213	155,360	10,801	26,118
9	8,234	59,659	4,436	12,309	10,516	89,745	3,398	11,418	11,698	88,706	4,906	13,964	14,013	95,350	3,561	12,808	17,301	100,462	8,221	26,018	16,401	107,181	9,023	17,919	16,135	112,163	7,746	16,505	12,398	96,398	4,744	11,413	16,025	113,736	7,594	19,179	17,141	117,896	6,471	12,520	13,927	89,857	7,301	19,796	17,719	123,490	9,343	25,195
10	9,685	78,898	3,927	13,651	13,136	91,183	10,901	13,777	11,681	78,011	##	20,061	12,594	86,992	9,154	15,009	11,324	83,902	2,088	12,970	12,698	95,122	3,854	13,624	13,517	94,511	5,097	12,028	13,259	94,904	5,196	16,345	16,760	116,719	10,027	22,371	18,266	126,573	19,659	32,267	22,164	154,607	8,518	18,543	16,084	121,342	9,400	25,580
Průměr	10,069	78,307	5,383	14,345	12,598	94,130	6,433	16,030	12,003	86,620	6,364	14,599	13,037	91,180	6,386	13,893	13,374	96,528	6,476	15,836	13,750	100,740	5,763	15,567	14,221	101,116	6,766	18,928	17,055	113,861	6,590	20,235	17,234	119,742	8,458	23,536	18,218	125,253	10,649	36,160	16,238	3,300	6,864					
Směrodatná odchylka	1,059	10,361	1,678	3,613	1,585	11,655	2,586	6,197	1,998	13,941	2,740	3,117	1,094	7,763	2,736	3,863	1,994	12,592	3,544	5,513	2,000	15,537	1,983	6,646	1,746	12,487	1,862	5,497	1,153	11,233	1,221	4,710	1,242	10,745	2,055	4,167	1,235	11,247	4,481	5,598	2,365	17,292	1,458	6,445	2,408	16,238	3,300	6,864