

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



## **Vliv parametrů frézování na průměrné aritmetické úchytky profilu drsnosti a vlnitosti**

Bakalářská práce

Autor: Martin Koubík

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

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Koubík

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

**Vliv parametrů frézování na průměrné aritmetické úchytky profilu drsnosti a vlnitosti**

Název anglicky

**Influence of milling parameters on average arithmetic deviations of roughness and waviness profile**

---

### Cíle práce

Cílem práce je vyhodnocení vlivu parametrů frézování na výslednou kvalitu povrchu tropické dřeviny Iroko. V práci bude hodnocen vliv řezné a podávací rychlosti na vlnitost a drsnost povrchu.

### Metodika

1. Analýza problematiky daného typu obrábění, a kvality obrobeného povrchu.
2. Metodika přípravy zkušebních těles, dále metodika měření kvality a vyhodnocení naměřených dat.
3. Statistické zhodnocení dat a jejich vyhodnocení.
4. Závěr práce (přínosy pro vědu a praxi).

### **Doporučený rozsah práce**

30-40

### **Klíčová slova**

Řezná rychlost; podávací rychlost; frézování; kvalita povrchu

---

### **Doporučené zdroje informací**

- ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999. 24 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.
- DAVIM, J. P. Wood Machining. 1. vyd. Londýn: ISTE Ltd, 2011. 288 s. ISBN: 978-1-84821-315-9.
- LISIČAN, J. Teória a technika spracovania dreva. 2. vyd. Zvolen: MATCENTRUM. 1996. 626 s. ISBN 80-967315-6-4.
- 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

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2019

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv parametrů frézování na průměrné aritmetické úchyly profilu drsnosti a vlnitosti vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Sedleckého, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze, 20.4.2019

.....

Podpis autora

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Miroslavovi Sedleckému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a důvěru, bez čehož by tato práce nemohla vzniknout.

## ABSTRAKT

Zjišťování vlivu různých technických parametrů na průměrné aritmetické úchyly profilu vlnitosti „Wa“ a drsnosti „Ra“ je v posledních letech aktivně probírané téma a zabývalo se jím mnoho vědců a studentů. V této bakalářské práci je ovšem studie zaměřena na tři hlavní parametry frézování, a to u tropické dřeviny Iroko (*Milicia Excelsa*). Proměnné parametry byly řezná rychlost (20; 30; 40 m\*s<sup>-1</sup>), podávací rychlost (4; 8; 11 m\*min<sup>-1</sup>), a úhel čela (20; 30; 40°). V práci byly zanalyzovány poznatky z frézování dřeva, a zároveň měření kvality frézovaného povrchu. Data byla naměřena pomocí kontaktní metody. Dále bylo v metodice popsáno, jak probíhaly experimentální zkoušky, aby bylo dosaženo vytyčených cílů. V závěrečné části byla vyhodnocena data, a to za pomoci grafického, tabulkového a okomentovaného znázornění. Na konci práce lze najít celkové zhodnocení a doporučení pro další využití v praxi.

Z výsledků práce vyplynul vliv parametrů frézování na hodnoty průměrné aritmetické úchyly profilu vlnitosti a drsnosti. Výsledky se dají dobře využít pro vhodné budoucí nastavení parametrů, pokud chceme získat co nejlepší kvalitu frézovaného povrchu, v případě, že máme na výběr z již zmíněných parametrů.

Klíčová slova: Řezná rychlost; podávací rychlost; frézování; kvalita povrchu

## **ABSTRACT**

Determining the effect of various technical parameters on average arithmetic deviations of waviness and roughness, has been an actively discussed topic in recent years and has been followed up by many scientists and students. In this bachelor thesis, the study focuses on the three main parameters of milling, namely tropical wood Iroko (*Milicia Excelsa*). Variable parameters were cutting speed (20; 30; 40 m \* s-1), feed (4; 8; 11 m \* min-1) and rake angle (20; 30; 40 °). In this thesis was analyzed milling wood, while measuring the quality of the milled surface. Data was measured by contact method. Furthermore, the methodology describes how experimental tests were conducted to achieve the objectives. In the final part, the data were presented and commented based on graphs and tables. At the end of the work you can find an overall evaluation and recommendations for further use in practice.

The milling parameters showed their effect on the average arithmetic deviation of waviness and roughness profile values. Final results can be well used for a suitable future parameter settings, if we want to get the best quality of the milled surface, when we have a range of the parameters mentioned above.

Keywords: Cutting speed; feed speed; milling; surface quality

# OBSAH

|  |    |
|--|----|
| 1. ÚVOD .....  | 11 |
| 2. CÍLE PRÁCE .....  | 12 |
| 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....   | 13 |
| 3.1 TROPICKÉ DŘEVINY .....   | 13 |
| 3.1.1 Iroko ( <i>Milicia Excelsa</i> ).....                          | 13 |
| 3.2 FRÉZOVÁNÍ.....   | 14 |
| 3.2.1 Sousedné frézování .....                                       | 14 |
| 3.2.2 Nesousedné frézování .....                                     | 14 |
| 3.2.3 Válcové frézování .....  | 16 |
| 3.2.4 Kuželové frézování .....                                       | 16 |
| 3.2.5 Čelní frézování.....   | 17 |
| 3.2.6 Kuželové čelní frézování .....                                 | 17 |
| 3.2.7 Technologické postupy frézování .....                          | 18 |
| 3.2.8 Kinematika pro proces frézování.....                           | 19 |
| 3.2.9 Teoretická délka třísky .....                                  | 20 |
| 3.2.10 Řezná rychlost .....  | 21 |
| 3.2.11 Výpočet teoretické maximální tloušťky třísky: .....           | 22 |
| 3.2.12 Podávací rychlost .....                                       | 22 |
| 3.2.13 Výpočet posuvu na zub .....                                   | 22 |
| 3.2.14 Nástroje k frézování .....                                    | 22 |
| 3.2.15 Geometrie břitu.....  | 22 |
| 3.3 KVALITA POVRCHU.....   | 23 |
| 3.3.1 Posuzování kvality povrchu .....                               | 24 |
| 3.3.2 Měření jakosti povrchu .....                                   | 24 |
| 3.3.3 Faktory ovlivňující kvalitu opracovaného povrchu.....          | 25 |
| 3.3.4 Drsnost dle ČSN 490231 .....                                   | 25 |
| 3.3.5 Struktura povrchu dle ČSN EN ISO 4287 .....                    | 25 |
| 3.3.6 Vlnitost povrchu .....   | 33 |
| 4. METODIKA PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍCH TĚLES A METODIKA MĚŘENÍ KVALITY..... | 35 |
| 4.1 MATERIÁL A JEHO PŘÍPRAVA.....                                    | 36 |
| 4.1.1 Příprava vzorků.....   | 36 |
| 4.1.2 Klimatizační úprava vzorků.....                                | 37 |
| 4.2 VÝPOČET HUSTOTY.....   | 37 |
| 4.3 OBRÁBĚNÍ A MĚŘENÍ VZORKŮ .....                                   | 37 |
| 4.3.1 Strojní vybavení .....   | 38 |
| 4.3.2 Přístrojové vybavení na měření.....                            | 42 |
| 5. VÝSLEDKY A JEJICH ZHODNOCENÍ .....                                | 45 |
| 5.1 VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA DRSNOST A VLNITOST POVRCHU .....         | 45 |
| 5.2 VLIV POSUVNÉ RYCHLOSTI NA DRSNOST A VLNITOST POVRCHU .....       | 47 |
| 5.3 VLIV ÚHLU ČELA NA DRSNOST A VLNITOST POVRCHU .....               | 50 |
| 5.4 KOMBINACE A VÝSLEDKY VŠECH TŘÍ PROMĚNNÝCH HODNOT.....            | 52 |
| 6. ZÁVĚR .....   | 55 |
| 7. CITOVANÁ LITERATURA.....  | 56 |



## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 Základní pojmy při frézování (Vaňák, 2007).....                                | 15 |
| Obrázek 2 Válcové frézování (Siklienka, a kol., 2013).....                               | 16 |
| Obrázek 3 Kuželové frézování (Siklienka & Kminiak, 2013).....                            | 16 |
| Obrázek 4 Čelní frézování (Siklienka, a kol., 2013) .....                                | 17 |
| Obrázek 5 Čelní-kuželové frézování (Siklienka, a kol., 2013).....                        | 18 |
| Obrázek 6 Základní typy frézování ve dřevozpracujícím průmyslu (Prokeš, 1982).....       | 19 |
| Obrázek 7 Technologické schéma válcového frézování (Siklienka, a kol., 2013).....        | 20 |
| Obrázek 8 Úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a kol., 2013).....                       | 23 |
| Obrázek 9 Pracovní úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a kol., 2013) .....             | 23 |
| Obrázek 10 Vývojový diagram pro posuzování povrchu (ČSN EN ISO 4287).....                | 24 |
| Obrázek 11 Profil povrchu (ČSN EN ISO 4287) .....  | 26 |
| Obrázek 12 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287)..... | 27 |
| Obrázek 13 Složky profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287).....                                 | 28 |
| Obrázek 14 Prvek profilu (ČSN EN ISO 4287) .....   | 29 |
| Obrázek 15 Největší výška výstupků profilu (ČSN EN ISO 4287) .....                       | 30 |
| Obrázek 16 Největší hloubka prohlubní profilu (ČSN EN ISO 4287).....                     | 31 |
| Obrázek 17 Největší výška profilu (ČSN EN ISO 4287).....                                 | 31 |
| Obrázek 18 Výška prvků profilu (ČSN EN ISO 4287) .....                                   | 32 |
| Obrázek 19 Šířka vlnek (Lisičan, 1996) .....   | 34 |
| Obrázek 20 Blokové schéma kombinací obrábění .....                                       | 36 |
| Obrázek 21 Vzorek připravený na měření.....  | 37 |
| Obrázek 22 Jednovřetenová spodní frézka FVS s podávacím zařízením.....                   | 38 |
| Obrázek 23 Podávací zařízení Steff umístěné na jednovřetenové spodní frézce .....        | 39 |
| Obrázek 24 Frézovací hlava Staton s úhlem čela 15° .....                                 | 41 |
| Obrázek 25 Frézovací hlava Staton s úhlem čela 20° .....                                 | 41 |
| Obrázek 26 Frézovací hlava Staton s úhlem čela 25° .....                                 | 42 |
| Obrázek 27 Taylor Hobson – Form Talysurf Intra 2 .....                                   | 43 |
| Obrázek 28 Snímací raménko s diamantovým hrotem.....                                     | 43 |
| Obrázek 29 Detail při měření.....  | 43 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1 Jakostní parametry povrchu podle normy (ČSN EN ISO 4287) .....  | 27 |
| Tabulka 2 Výškové parametry profilu povrchu podle (ČSN EN ISO 4287).....  | 29 |
| Tabulka 3 Výškové parametry profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287).....  | 32 |
| Tabulka 4 Délkové a tvarové parametry profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287).....  | 33 |
| Tabulka 5 Křivky a odpovídající parametry profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287).....  | 33 |
| Tabulka 6 Variabilní parametry ovlivňující obrábění.....  | 35 |
| Tabulka 8 Parametry spodní svislé frézky FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)<br>.....                            | 38 |
| Tabulka 9 Parametry podavače materiálu MAGGI, STEFF 2034 (Itálie).....  | 39 |
| Tabulka 10 Technologické parametry výměnného nože .....   | 40 |
| Tabulka 11 Technické parametry frézovacích hlav .....   | 40 |
| Tabulka 12 Parametry měření podle normy (ČSN EN ISO 4287) .....   | 44 |
| Tabulka 13 Naměřená data a jejich další výpočty při změně řezné rychlosti vztahující se<br>k vlnitosti a drsnosti ..... | 47 |
| Tabulka 14 Duncanův test řezné rychlosti s variabilní vlnitostí.....  | 47 |
| Tabulka 15 Duncanův test řezné rychlosti s variabilní drsností.....   | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 16 Naměřená data a jejich další výpočty při změně podávací rychlosti vztahující se k vlnitosti a drsnosti ..... | 49 |
| Tabulka 17 Duncanův test posuvné rychlosti s variabilní vlnitostí .....   | 49 |
| Tabulka 18 Duncanův test posuvné rychlosti s variabilní drsností .....  | 50 |
| Tabulka 19 Naměřená data a jejich další výpočty při změně úhlu čela vztahující se k vlnitosti a drsnosti .....          | 51 |
| Tabulka 20 Duncanův test úhlů čela s variabilní vlnitostí.....  | 51 |
| Tabulka 21 Duncanův test úhlů čela s variabilní drsností .....  | 52 |

## **SEZNAM GRAFŮ**

|  |    |
|--|----|
| Graf 1 Vliv řezné rychlosti na výsledné hodnoty vlnitosti .....  | 46 |
| Graf 2 Vliv řezné rychlosti na výsledné hodnoty drsnosti.....  | 46 |
| Graf 3 Vliv posuvné rychlosti na výsledné hodnoty vlnitosti .....  | 48 |
| Graf 4 Vliv posuvné rychlosti na výsledné hodnoty drsnosti.....  | 49 |
| Graf 5 Vliv úhlu čela na výsledné hodnoty vlnitosti .....  | 50 |
| Graf 6 Vliv úhlu čela na výsledné hodnoty drsnosti.....  | 51 |
| Graf 7 Kombinace řezné rychlosti, rychlosti posuvu a úhlu čela a jejich vliv na výslednou vlnitost ..... | 53 |
| Graf 8 Kombinace řezné rychlosti, rychlosti posuvu a úhlu čela a jejich vliv na výslednou drsnost.....   | 53 |

## 1. ÚVOD

V současné době jsou stále více oblíbené tropické dřeviny. Důvodem popularity těchto dřevin jsou jejich vzhled, a především jejich mimořádné vlastnosti. Bez jakékoliv chemické úpravy jsou velmi odolné vůči vnějším vlivům, jako jsou hmyz, vlhkost, plísně a další. Používají se do interiéru, a to v podobě okrasných dřív a jiných úsporných řešení. Do exteriérového prostředí, kam by se díky jejich vlastnostem velmi hodily, se nevyužívají v takovém měřítku, jelikož je nákup těchto surovin v poměru s domácími dřevinami drahý. Vzhledem k rostoucí poptávce po těchto dřevinách je velmi důležité věnovat se problematice frézování, neboť je to jeden ze základních druhů obrábění.

Dřevina Iroko (*Milicia Excelsa*) pocházející z Afriky, která je předmětem této práce, bude frézovaná za určitých parametrů, které ovlivňují výslednou kvalitu povrchu. Teoretická část pojednává o frézování a jejich hlavních veličinách. Zároveň se rešerše zabývá dřevinou Iroko (*Milicia Excelsa*) a kvalitou obráběného povrchu. Hlavními profily výsledné kvality povrchu je její drsnost a vlnitost. Pro zkoumání výsledné kvality se dříve využívalo především lidských smyslů, a to především hmat a zrak. V dnešní době se pro zkoumání využívá kontaktních či bezkontaktních technologických zařízení. Tato práce se však zabývá kontaktní metodou. Hlavními složkami měřeného profilu jsou vlnitost a drsnost. Tyto složky lze vyhodnotit díky zjištěným průměrným aritmetickým úchylkám jejich profilů, které budou v praktické části změřeny a vyhodnoceny.

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je vyhodnocení vlivu parametrů frézování na výslednou kvalitu povrchu tropické dřeviny Iroko (*Milicia Excelsa*). V práci bude hodnocen vliv řezné rychlosti (20; 30 a 40 m\*s<sup>-1</sup>), podávací rychlosti (4; 8 a 11 m\*min<sup>-1</sup>) a úhlu čela (15; 20 a 25°) na vlnitost a drsnost povrchu. Vlnitost a drsnost bude hodnocena pomocí průměrných aritmetických úchylek jednotlivých profilů (Wa a Ra).

### 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

#### 3.1 TROPICKÉ DŘEVINY

Bezespору vyhledávaný materiál do interiéru, především využívaný na okrasné dýhy, aby se co nejeftivněji využil objem z celé této drahé suroviny. Tropické dřeviny se vyznačují výbornými vlastnostmi, které zabraňují napadnutí plísněmi, škůdci a odolávají vlhkosti. Tropické dřeviny nalezneme rostoucí v lesních formách tropického, či subtropického klimatu. Každá dřevina má své specifické vlastnosti, a mimo to, že jsou některé z nich odolné vůči již zmíněným vlivům, jsou také dobře opracovatelné (Thallon, 2010; Patřičný, 2016).

##### 3.1.1 IROKO (*Milicia Excelsa*)

Strom Iroko (*Milicia Excelsa*), znám také jako African Teak, můžeme najít v západní a střední Africe. Stejně tak jej můžeme najít v Brazílii, kde ovšem není znám pod jménem Iroko (*Milicia Excelsa*), nýbrž jako Ficus Gomelleira. Jediným rozdílem je výška. V Brazílii nedosahuje takové výšky. Je to obrovský a silný strom. Jeho dřevo je využíváno jak na truhlářskou práci, tedy na výrobu nábytku, tak na stavební konstrukce (pouze v místě růstu těchto dřevin). Pro většinou místních lidí je tento strom považován za posvátný. V mnoha kulturách je uctíván pro své léčebné účinky (Ligia Braz, a kol., 2017; Nutsch, 2006).

Iroko (*Milicia Excelsa*), je velmi vysoce ceněná dřevina. Jeho dřevo je silné, krásné a odolné vůči hmyzu a jiným škůdcům. Je to opadavý a dvoudomý strom. Může dosahovat výšky 50 metrů a až 3 metry v průměru. Koruna stromu dosahuje obrovských rozměrů. Strom si nevytváří pevné základy, jeho kořeny jsou převážně na povrchu a jsou společně v jednotlivých svazcích. Sazenice mají vždy jeden hlavní kořen, od kterého se dále kořeny rozvíjí. Samčí stromy bývají více štíhlé a méně náchylné k rozvětvení. Kůra je velmi tvrdá, hnědá a šupinatá, s četnými póry (Piere, 1993) (Broun, 1993). Pokud do kůry řízeme, začne vytékat bílý, lepivý latex. Dřevo je žluto-hnědě zbarvené. Listy připomínají tvarem listy Ořešáku. Mají zubaté okraje, měkkou strukturu a jsou výrazně zelené, občas až do odstínu žluté. Starší listy mají tmavší zbarvení než mladé listy. Květy jsou jak na samčím, tak samičím stromě. Vyrůstají z hrotů listů, které mohou být v případě samčího stromu až 20 cm dlouhé. V případě samičího hroty dorůstají do délky 6 cm a květy jsou výrazně zelenější (Dixon, a kol., 2013; Broun, 1993).

Navzdory tomu, že je Iroko (*Milicia Excelsa*), těžká a tvrdá dřevina, je dobře opracovatelná.

## 3.2 FRÉZOVÁNÍ

Obrábění se nechá rozdělit do čtyř následujících kategorií dále uvedených na základě řezného pohybu (Prokeš, 1982).

1. Případ, kdy obrobek vykonává rotační pohyb (soustružení).
2. Hlavní, rotační úkon vykonává nástroj (frézování, broušení, vrtání, řezání kotoučovou pilou apod.).
3. Vratný, přímočarý pohyb vykonává obrobek (hoblování).
4. Vratný, přímočarý pohyb vykonává nástroj (obrážení, protahování, protlačování, řezání pásovou, rámovou pilou a další).

Z toho tedy vyplývá, že při frézování hlavní pohyb dělá nástroj, vedlejší obrobek.

Problematikou frézování, tedy součástí obrábění se zabývalo v historii již mnoho odborníků. Patří k nim mimo jiné Rousek M., Prokeš S., Kminiak R., či Lisičan J.

Frézováním se rozumí opracování dřeva a dřevních materiálů na jeho bázi obrábějícím nástrojem, který má osazené řezné hrany po obvodu nástroje za účelem odebrání dřevní hmoty z obrobku. Obrobek se posouvá ve směru kolmém či přibližně kolmém na osu rotace nástroje při daném úběru – šíře odebrané vrstvy. Šíře odebrané vrstvy musí být vždy menší, než je šíře obrobku a poloměr nástroje (Siklienka, a kol., 2013).

Frézování se rozděluje do dvou základních skupin.

- Sousedné.
- Nesousedné.

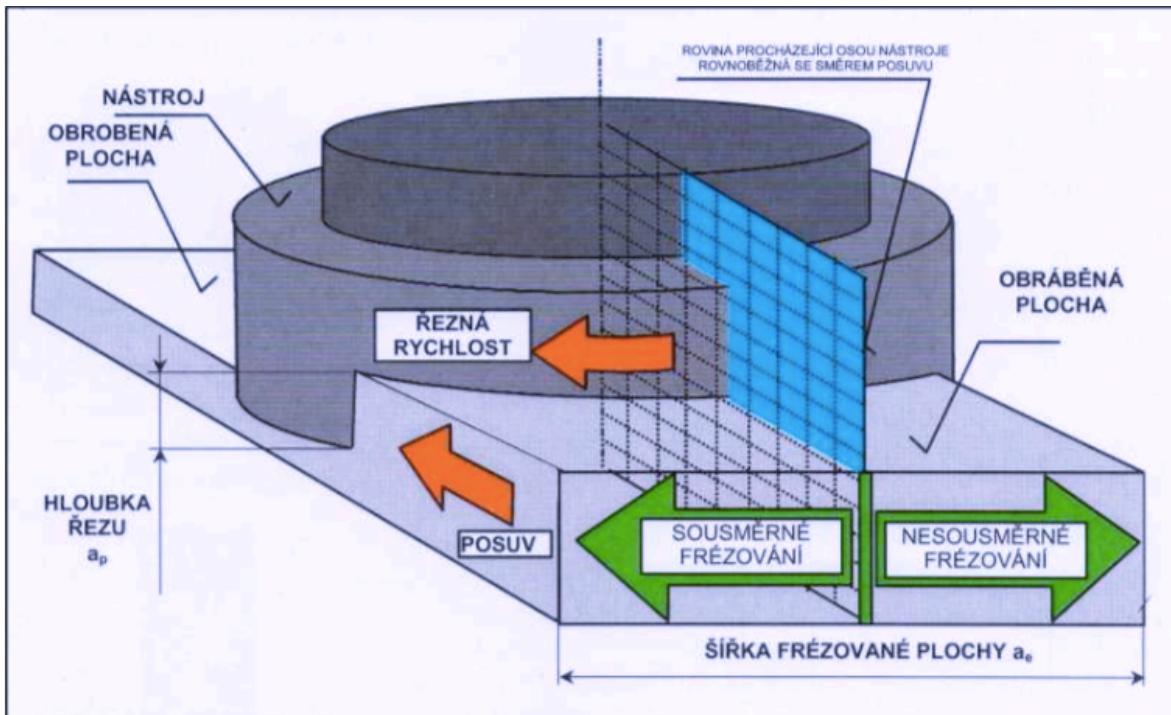
### 3.2.1 SOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ

Při sousledném (sousměrném) frézování se fréza otáčí stejným směrem jako posuv. Zuby frézy se do materiálu zařezávají v maximálním průřezu třísky. Končí nulovým průřezem na obrobené ploše, která je oproti nesouslednému frézování kvalitnější. Při tomto frézování vznikají silové rázy, ty lze zmírnit pomocí použití frézy se šikmými zuby. Směrem dolů působí síla, která tlačí obrobek na opěrnou plochu (Kvietková, 2015; Prokeš, 1982).

### 3.2.2 NESOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ

Frézováním nesousledným (nesousměrným) je nazýván způsob odebrání třísek, při kterém se fréza otáčí proti smyslu posuvu (viz Obr. 1). Logicky se při tomto způsobu postupně zvětšuje průřez třísky od nuly do maximální tloušťky. Zpočátku zuby frézy vlivem pružných deformací obráběného materiálu kloužou po obrobené ploše, fréza se tedy ničí, jelikož se

zuby odírají, zahřívají a otupují. Plocha obrobku se zhušťuje a zpevňuje svou stavbu, jakost obrobené plochy je horší. Síly upínací míří proti síle řezné rychlosti (Kvietková, 2015; Prokeš, 1982).



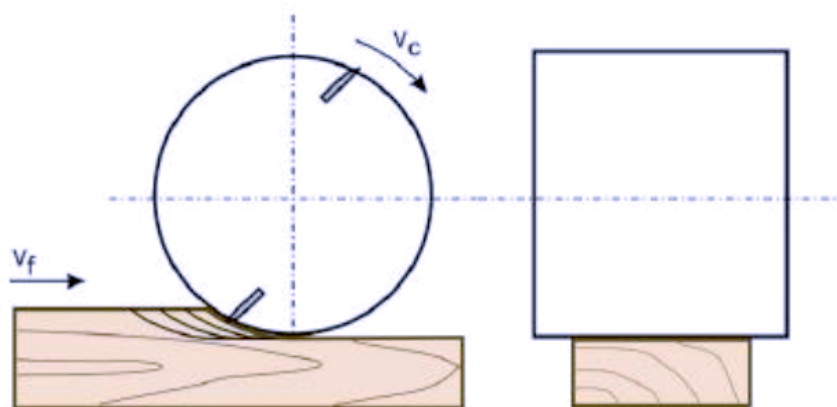
Obrázek 1 Základní pojmy při frézování (Vaňák, 2007)

- Řzná rychlost – udává rychlost frézy.
- Posuv – rychlost posuvu.
- Souměrné frézování – směr udávající, jestli jde nástroj proti směru, nebo po směru.
- Nesouměrné frézování – směr udávající, jestli jde nástroj proti směru, nebo po směru.
- Nástroj – fréza.
- Obrobená plocha – plocha, ze které již byl odebrán materiál v určité šířce ( $a_e$ ) a hloubce ( $a_p$ ).
- Obráběná plocha – plocha, ze které se bude odebrán materiál v určité šířce ( $a_e$ ) a hloubce ( $a_p$ ).

Frézování se dá dále dělit dle osy otáčení a podle velikosti obráběné plochy, kterou opisují břity frézy. Můžeme je rozdělit na frézování válcové, čelní, čelní kuželové a kuželové (Tribe, 2017; Havránek, 1952).

### 3.2.3 VÁLCOVÉ FRÉZOVÁNÍ

Při válcovém frézování (viz Obr. 2) je osa nástroje rovnoběžně s frézovanou plochou. Vřetenem bývá při tomto frézování vodorovné. Při frézování jsou na nástroji osazené nože na jeho obvodu a opisují kružnici. Vzdálenost bodu cykloidy nám určuje velikost posuvu na jedno otočení. V praxi je nejčastěji najdeme ve srovnávacích, tedy tloušťkovacích frézách (Kvietková, 2015).

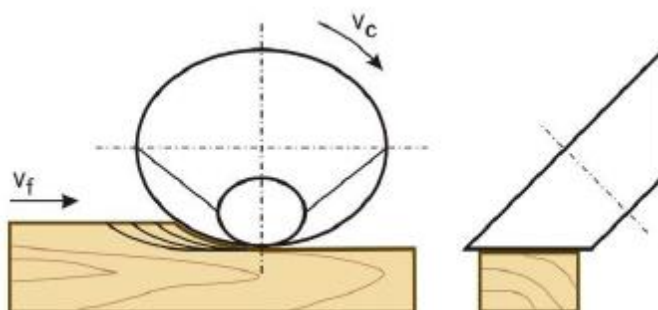


Obrázek 2 Válcové frézování (Siklienka, a kol., 2013)

$v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost

### 3.2.4 KUŽELOVÉ FRÉZOVÁNÍ

Při tomto druhu frézování (viz Obr. 3) je sklon osy rotace nástroje mezi  $10^\circ$  a  $12^\circ$  vůči obráběné ploše. Při průběhu tohoto frézování vzniká menší tloušťka třísky než při frézování válcovém. Vzhledem k tomu se nechá zvýšit rychlost posuvu až na trojnásobnou hodnotu, díky čemuž je tento druh frézování velice produktivní, a to i za předpokladu požadované jakosti povrchu (Prokeš, 1982).



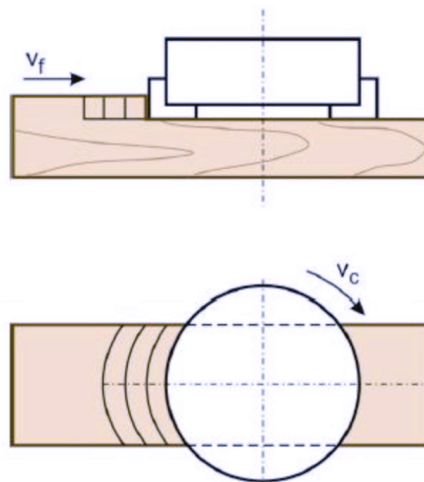
Obrázek 3 Kuželové frézování (Siklienka & Kminiak, 2013)

$v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost



### 3.2.5 ČELNÍ FRÉZOVÁNÍ

V případě tohoto způsobu frézování (viz obr. 4) je osa nástroje kolmá k obráběné ploše. Materiál je odřezáván jak břity na obvodu, stejně tak břity na čelní ploše nástroje. Vzhledem k tomu, že při obrábění zabírá mnoho zubů současně, je tento způsob poměrně rychlý. Tříska a její tloušťka se mění od minima do maxima, a to podle velikosti průměru nástroje a velikosti obráběné plochy. Tyto frézy se používají zejména při frézování na vertikálních frézkách, avšak mohou se používat i na frézkách s vřetenem vodorovným, což je ovšem neobvyklé (Lisičan, 1996).

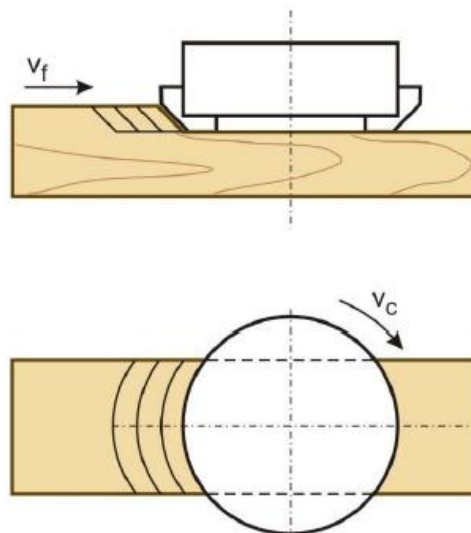


Obrázek 4 Čelní frézování (Siklienka, a kol., 2013)

$v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost

### 3.2.6 KUŽELOVÉ ČELNÍ FRÉZOVÁNÍ

Tento způsob frézování (viz Obr. 5) je kombinací čelního a kuželového frézování, jak již název napovídá. Osa rotace je stejně jako u čelního frézování kolmá na opracovávanou plochu. Břity jsou umístěny na obvodu frézy stejně jako u čelního frézování, ovšem břity jsou skloněny v určitém úhlu ve vztahu k ploše opracovávaného povrchu (Kvietková, 2015).



Obrázek 5 Čelní-kuželové frézování (Siklienka, a kol., 2013)

$v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost

### 3.2.7 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY FRÉZOVÁNÍ

V praxi se dají rozlišovat různé procesy frézování, a to pomocí technologických postupů. Mezi nejběžnější řadíme:

#### 1. Rovinné frézování

Nejčastěji frézky tloušťkovací a srovnávací. Srovnávání má mít za cíl vyrovnat obráběný povrch na rovnou plochu. Při tzv. tloušťkování chceme dosáhnout konkrétního rozměru – tloušťky. Dílec je vždy podáván po stole, proti kterému je vždy v požadovaných rozměrech umístěn frézovací nástroj. Osa nástroje je rovnoběžná s plochou obrobku, zároveň stolu (Lisičan, 1996; Havránek, 1952).

Stejně tak sem patří stopkové, čelní a další frézky (Kvietková, 2015).

#### 2. Křivo-ploché frézování

Využívá se nejčastěji v kopírovacích frézách, CNC strojích, a to za pomoci stopkových fréz. Tento způsob slouží k zakřivení ploch vůči rovině obrobku (Kvietková, 2015).

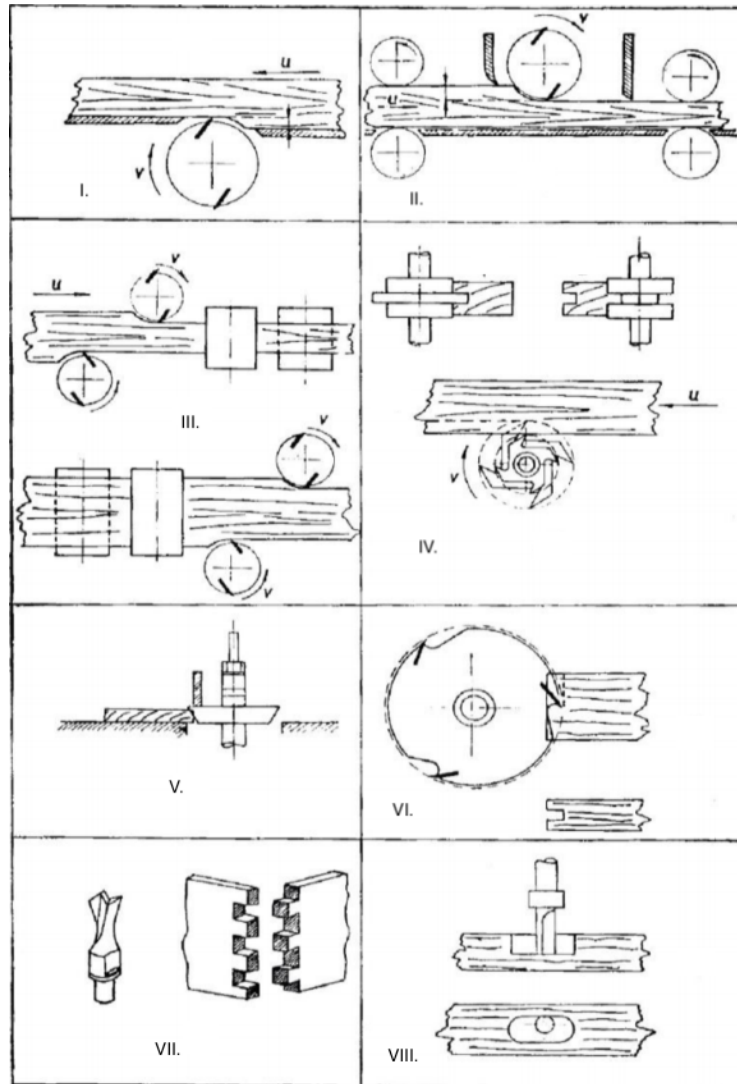
#### 3. Profilovací frézování

Profilovací frézování, známé také jako profilování, se provádí za pomoci kotoučových fréz s noži v určitém tvaru. Obrábění se aplikuje vedením pomocí pravítka, které je v ose vedle obrobku na stole frézky. Dále se dá tento způsob frézování realizovat za pomoci vrchní frézky se stopkovou frézou, která je opatřena vodícím ložiskem (Kvietková, 2015).

#### 4. Speciální frézování

Sem patří například tvorba reliéfu, tedy frézování určitých tvarů, povětšinou do menších dílců (Kvietková, 2015).

Dále se dá frézování rozdělit dle obrázku 6 (Prokeš, 1982):



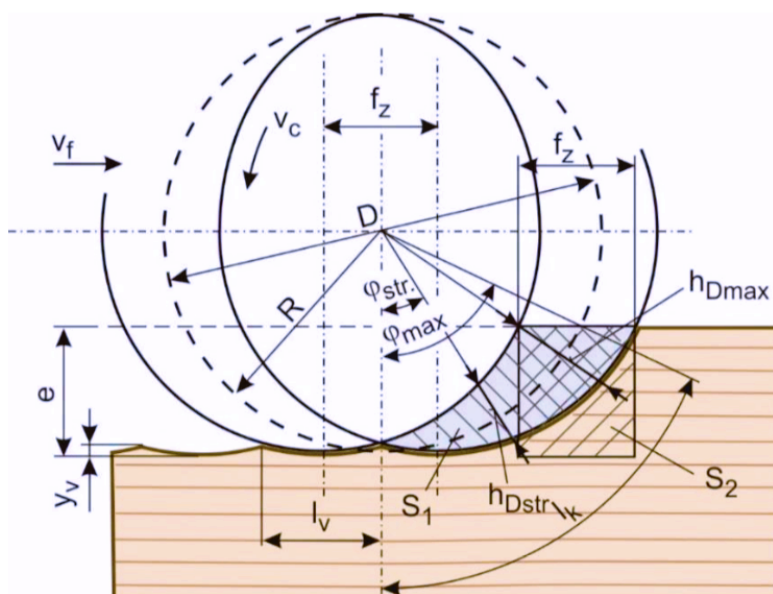
Obrázek 6 Základní typy frézování ve dřevozpracujícím průmyslu (Prokeš, 1982)

*I. – srovnávání (nožovým hřídelem), II. – tloušťkování, III. – dvojstranné frézování, IV. – frézování pera (1) a drážky (2), V. – frézování úhlovou frézou, VI. – čepování, VII. – frézování spojů rybinovací frézou, VIII. – frézování vrchní frézou*

#### 3.2.8 KINEMATIKA PRO PROCES FRÉZOVÁNÍ

Pro přiblížení situace kinematiky oddělování třísky při frézování je přiložen obrázek č. 7. Nástroj při frézování rotuje a obrobek koná pohyb přímočarý. Břit se za těchto podmínek pohybuje po cykloidě. V praxi vypadá průřez třísky jinak, a to z důvodu nepřesnosti chodu vřetene, otupení břitu, odchylek břitů od řezné kružnice a dalších vlivů. Vzhledem k tomu,

že řezná rychlost je proti rychlosti posuvu ve velkém rozdílu, můžeme pohyb frézování zjednodušit na pohyb břitů po kružnici (Prokeš, 1982).



Obrázek 7 Technologické schéma válcového frézování (Siklienka, a kol., 2013)

$R$  – poloměr nástroje,  $v_c$  - řezná rychlost,  $h_{Dstr}$  – nominální střední tloušťka třísky,  $l_v$  – délka vlny,  $D$  – průměr řezné kružnice,  $v_f$  – rychlost posuvu,  $e$  – úběr materiálu,  $l_k$  – délka kontaktního oblouku,  $h_{Dmax}$  – maximální nominální tloušťka třísky,  $S_2$  – plocha obdélníku o stranách  $e$  a  $f_z$ ,  $f_z$  – posuv na zub,  $\varphi_{str}$  – střední úhel posuvného pohybu,  $\varphi_{max}$  – maximální úhel posuvného pohybu,  $S_1$  – odříznutá plocha průchodem řezné hrany přes obrobek

Pro výpočet teoretické délky třísky nám poslouží vzorce 1, 2, 3, 4. Dále pro řeznou rychlost vzorec 5 a 6. Teoretickou maximální tloušťku třísky použijeme vzorec 7 a pro výpočet podávací rychlosti vzorec 8. Posuv na zub vypočítáme za pomoci vzorce 9.

### 3.2.9 TEORETICKÁ DÉLKA TŘÍSKY

$$L = \frac{D}{2} \cdot \arctg(\varphi + \varphi') = \frac{\pi \cdot D \cdot (\varphi + \varphi')}{360^\circ} \approx 0,0175 \cdot R \cdot \varphi \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

Kde:  $D$  – průměr řezné kružnice [mm]

$\varphi$  - úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

$R$  – poloměr řezné kružnice [mm]

$\varphi'$  - posunutý úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

Zároveň platí:

$$\sin \varphi' = \frac{f_z}{D} \quad [^\circ] \quad (2)$$

Kde:  $f_z$  – posuv na zub [mm\*zub<sup>-1</sup>]

D – průměr řezné kružnice [mm]

$$\cos\varphi = \frac{\frac{D}{2} - a_p}{\frac{D}{2}} = \frac{D - 2a_p}{D} = 1 - \frac{a_p}{R} \quad [^\circ] \quad (3)$$

Kde: D – průměr řezné kružnice [mm]

R – poloměr řezné kružnice [mm]

a<sub>p</sub> – hloubka řezu [mm]

Při nástrojích o větším průměru, malých rychlostech posuvných a malých tloušťkách frézované vrstvy lze délku třísky vypočítat ze vztahu (Prokeš, 1982):

$$L = R \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{a_p}{R}} = \sqrt{a_p \cdot D} = \frac{f_z \cdot a_p}{h_{ch-str}} \quad [mm] \quad (4)$$

Kde: D – průměr řezné kružnice [mm]

φ - úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

R – poloměr řezné kružnice [mm]

φ - posunutý úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

### 3.2.10 ŘEZNÁ RYCHLOST

$$h_{ch-str} = \frac{f_z \cdot a_p}{L} = \frac{f_z \cdot a_p}{\sqrt{a_p \cdot D}} = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}} = \frac{f_z \cdot 1000}{n \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad [mm] \quad (5)$$

Kde: D – průměr řezné kružnice [mm]

L – teoretická délka třísky [mm]

a<sub>p</sub> – hloubka řezu [mm]

f<sub>z</sub> – posuv na zub [mm\*zub<sup>-1</sup>]

n – otáčky frézy [ot\*min<sup>-1</sup>]

z – počet zubů [-]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (6)$$

Kde: D – průměr řezné kružnice [mm]

n – otáčky frézy [ot\*min<sup>-1</sup>]

### 3.2.11 VÝPOČET TEORETICKÉ MAXIMÁLNÍ TLOUŠŤKY TŘÍSKY:

$$h_{ch-max} = f_z \cdot \sin\varphi = 2 \cdot h_{ch-str} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

Kde:  $\varphi$  - úhel styku dřevních vláken s nástrojem  $[\text{°}]$

$f_z$  – posuv na zub  $[\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}]$

$h_{ch-max}$  – střední tloušťka odebírané třísky  $[\text{mm}]$

### 3.2.12 PODÁVACÍ RYCHLOST

$$v_f = \frac{f_z \cdot n \cdot z}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (8)$$

Kde:  $f_z$  – posuv na zub  $[\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}]$

$n$  – otáčky frézy  $[\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}]$

$z$  – počet zubů  $[-]$

### 3.2.13 VÝPOČET POSUVU NA ZUB

$$f_z = \frac{v_f \cdot 1000}{n \cdot z} \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

Kde:  $v_f$  – posuvná rychlost  $[\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}]$

$n$  – otáčky frézy  $[\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}]$

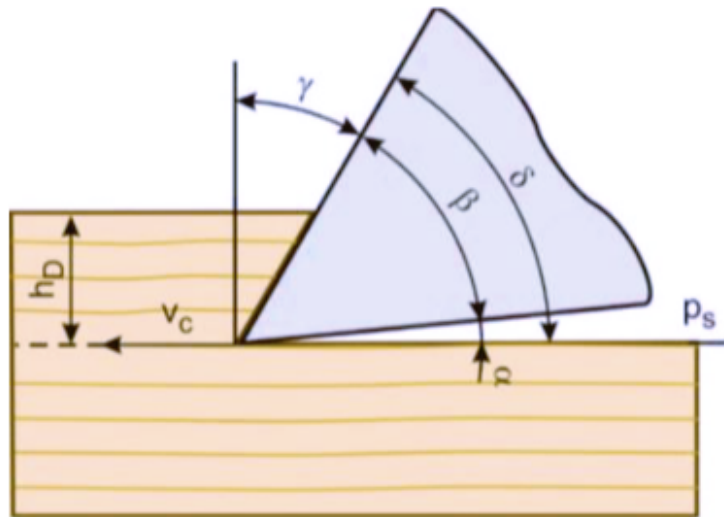
$z$  – počet zubů  $[-]$

### 3.2.14 NÁSTROJE K FRÉZOVÁNÍ

Frézovací nástroje rozděljuje Prokeš (1982) podle kompletního provedení do čtyř různých kategorií. První skupinou jsou celistvé frézy, které mohou být buďto kružcem nebo se stopkou. Další skupinu tvoří frézy s noži nebo zuby, které jsou upnuty na obvodu nástroje a doplňují je nožové hřídele, dále nožové hlavy, stejně tak čepovací kotouče. Třetí kategorií jsou dělené frézy složené, které jsou obvykle složeny ze dvou až tří kružců. Čtvrtou a zároveň poslední skupinu tvoří složené frézy.

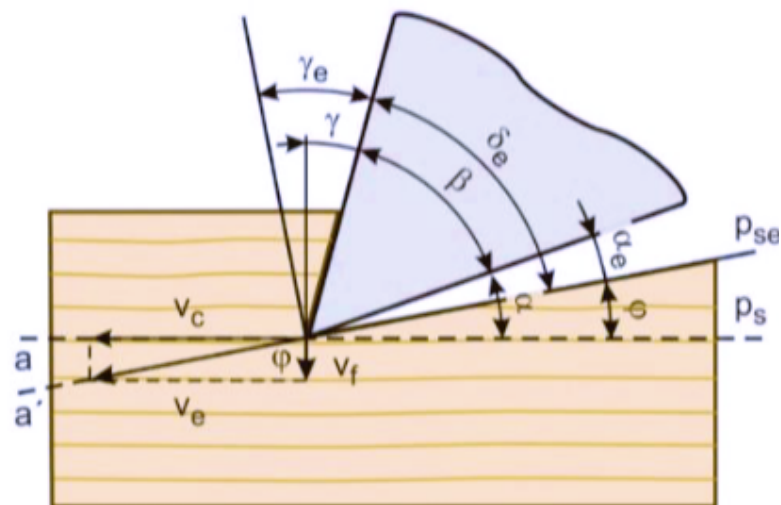
### 3.2.15 GEOMETRIE BŘITU

Úhlová geometrie břitu je nezbytná z pohledu určení polohy geometrické u řezné hrany, čela a hřbetu nástroje. Úhly se rozdělují na dvě skupiny. Nástrojové (Obr. 8) a pracovní (Obr. 9).



Obrázek 8 Úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a kol., 2013)

$\alpha$  - nástrojový úhel hřbetu,  $\beta$  - nástrojový úhel řezného klínu,  $\gamma$  - nástrojový úhel čela,  $\delta$  - nástrojový řezný úhel,  $p_s$  - nástrojová základní rovina,  $h_D$  - nominální tloušťka třísky,  $v_c$  - řezná rychlost



Obrázek 9 Pracovní úhlová geometrie nástroje (Siklienka, a kol., 2013)

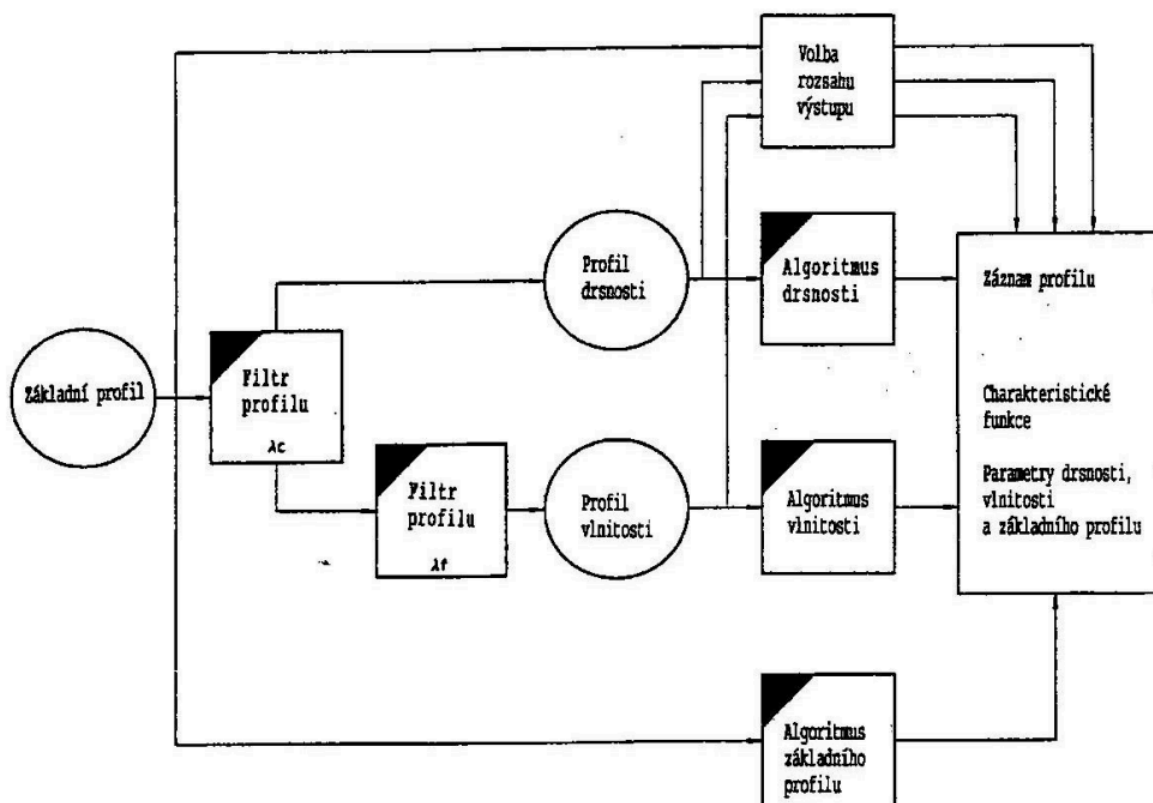
$V_f$  - posuvná rychlost,  $v_e$  - pracovní rychlost,  $\alpha$  - nástrojový úhel,  $\alpha_e$  - pracovní úhel břitu,  $\beta$  - nástrojový úhel břitu,  $\beta_e$  - pracovní úhel řezného klínu,  $p_{se}$  - pracovní základní rovina,  $\delta_e$  - pracovní řezný úhel,  $p_s$  - nástrojová základní rovina,  $\delta$  - nástrojový řezný úhel,  $\gamma_e$  - pracovní úhel čela,  $\varphi$  - úhel posuvného pohybu

### 3.3 KVALITA POVRCHU

Z pohledu kvality opracovaného povrchu se hodnotí především dvě následující veličiny. Hodnoty  $R_a$ , která označuje střední aritmetickou úchylku profilu drsnosti, jinak řečeno drsnost povrchu) a  $W_a$ , která označuje střední aritmetickou úchylku profilu vlnitosti, jinak řečeno vlnitost povrchu (Rousek, a kol., 2012b).

### 3.3.1 POSUZOVÁNÍ KVALITY POVRCHU

Posuzování kvality lze provést dle postupu vývojového diagramu v obrázku 10.



Obrázek 10 Vývojový diagram pro posuzování povrchu (ČSN EN ISO 4287)

Dle předešlého diagramu (Obrázek 10) se postupuje vždy, pokud hodnotíme výslednou kvalitu opracovávaného povrchu. Tyto metody budou vysvětleny níže.

### 3.3.2 MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU

Pro zjišťování kvality povrchu máme dnes tři metody uvedené níže. Při daném obrábění se v každém případě musí dosáhnout určité kvality, a to v závislosti na faktorech ovlivňujících kvalitu opracovaného povrchu. Postupem historií se nároky na kvalitu zvyšují, je tedy jasné, že technologie zjišťování kvality povrchu jdou stále dopředu. (Vaňák, 2007).

Tři metody zjišťování podle literatury (Rousek, a kol., 2012b)

- Dotykové
- Porovnávací
- Bezdotykové

Dotykové, tedy kontaktní metody jsou realizovány přístrojovým měřením. Tyto stroje se nazývají drsnoměry. Jejich nevýhoda spočívá v možnosti poškození povrchu a tím znehodnocení výsledného měření (Rousek, a kol., 2012b).



Porovnávací se dají rozdělit na vizuální a porovnávací metody. Vychází ze základních lidských smyslů a nejsou tedy příliš spolehlivé. Při těchto metodách je nutno mít k dispozici odborníky z oboru, pro dosažení nejlepšího výsledku (Rousek, a kol., 2012b).

Bezdotykové metody jsou v dnešní době stále více využívány, a to z důvodu velké přesnosti. Existují druhy těchto metod jak: fotometrické, elektronové, laserové, skenovací hodnocení a další (Rousek, a kol., 2012b).

### 3.3.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU OPRACOVANÉHO POVRCHU

Při obrábění působí na obrobek hlavně síly předávané z nástroje. Celý proces ovšem není jen o břítu a obrobku, ale i o dalších parametrech.

Mezi přední parametry technologické, kterými jsou řezná, taktéž posuvná rychlost a objem úběru materiálu, patří úhlová nastavení stroje, tedy úhel břítu, dále úhel čela, taktéž úhel hřbetu a další (Lisičan, 1996).

Výslednou kvalitu povrchu nám určují taktéž dále uvedené parametry:

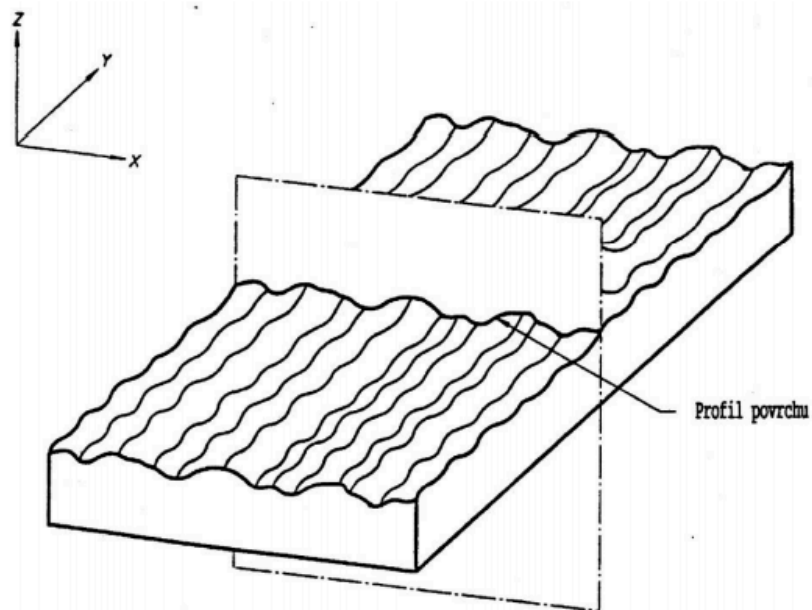
- Anatomická stavba dřeva.
- Struktura povrchu.
- Vlhkost dřeva.
- Pórovitost dřeva.
- Kinematika obrábění a nastavení stroje a nástroje.
- Další faktory – K - teplota, vlhkost prostředí, poškození povrchu hmyzem a další.

### 3.3.4 DRSNOST DLE ČSN 490231

V dřevozpracujícím průmyslu je drsnost povrchu charakterizována chlupatostí, vytrháním vláken, a také vlnkami způsobenými nástrojem, makrostavbou dřeva nebo materiálů na bázi dřeva, nevyjímaje vyštípáním dlabaných a vrtaných otvorů. Určí se bez nerovností způsobených anatomickou stavbou dřeva, například pórů (ČSN 490231).

### 3.3.5 STRUKTURA POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287

Každé měření a hodnocení povětšinou probíhá v přesném, pravoúhlém souřadnicovém systému, ve kterém osy vytváří pravotočivou kartézskou soustavu. Osa X ve směru snímání je rovnoběžná se střední čarou, osa Y také leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje z povrchu (ČSN EN ISO 4287).

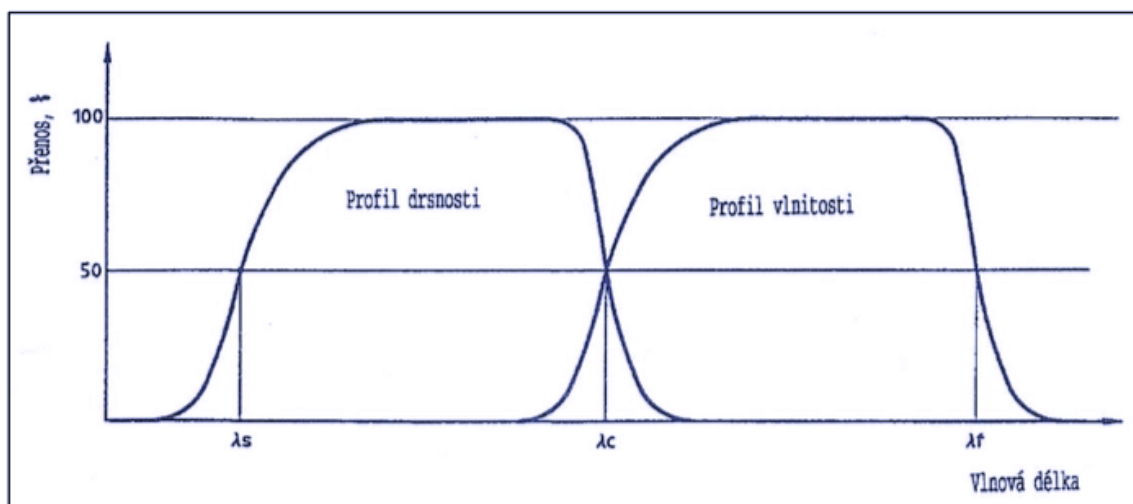


Obrázek 11 Profil povrchu (ČSN EN ISO 4287)

Profil povrchu na obrázku 11 umožňuje určení jednotlivých profilů, kterými jsou základní profil, profil drsnosti a vlnitosti. Za pomoci těchto profilů jsou dále určovány jednotlivé parametry. Pro vyhodnocení struktury povrchu je nutno oddělit jednotlivé složky profilu jejich filtrováním. K tomu se využívá filtr profilu, který rozděluje profil na dlouhovlnné a krátkovlnné složky (ČSN EN ISO 4287).

- Filtr profilu  $\lambda_s$ : určuje rozhraní mezi nejkratšími soubory vln na povrchu a drsnosti
- Filtr profilu  $\lambda_c$ : definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
- Filtr profilu  $\lambda_f$ : rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu
- Cut-off je mezní vlnová délka filtru profilu

Profil drsnosti na obrázku 12 je určen z profilu vymazáním dlouhovlnných složek pomocí filtru  $\lambda_c$ . Na základě daného profilu drsnosti je možné vyhodnotit parametry drsnosti. Vlnitostní profil je odvozen pomocí postupné aplikace filtru  $\lambda_c$  a  $\lambda_f$  na základní profil. Za pomoci filtru  $\lambda_c$  dojde k potlačení krátkovlnných složek a filtrem  $\lambda_f$  dochází k odmazání dlouhovlnných složek. Na základě profilu vlnitosti lze vyhodnotit parametry vlnitosti (ČSN EN ISO 4287).



Obrázek 12 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287)

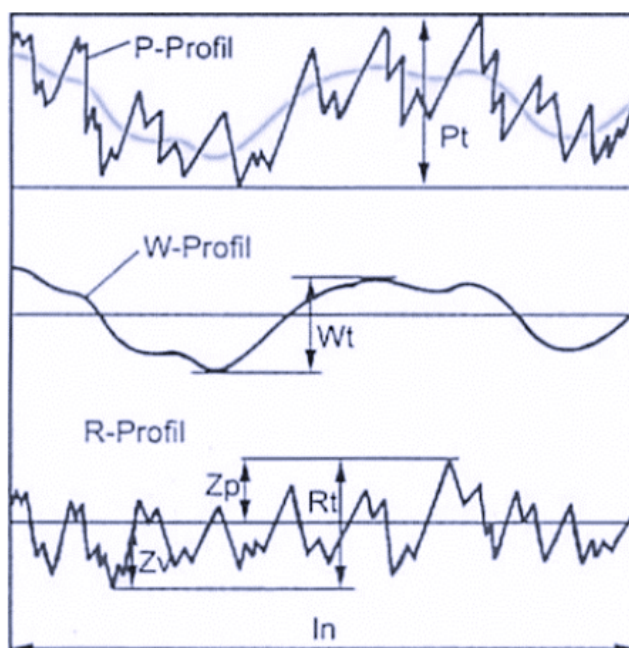
V následující tabulce 1 jsou základní parametry povrchních jakostí dle ČSN EN ISO 4287

Tabulka 1 Jakostní parametry povrchu podle normy (ČSN EN ISO 4287)

| Název                         |                 | Popis   |
|-------------------------------|-----------------|---|
| <b>Základní délka</b>         | $L_p, l_r, l_w$ | Délka ve směru osy X použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil.           |
| <b>Vyhodnocovaná délka</b>    | $L_n$           | Délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu.                                      |
| <b>Geometrické parametry</b>  | P-parametr      | Parametr vypočítaný ze základního profilu   |
|                               | R-parametr      | Parametr vypočítaný z profilu drsnosti  |
|                               | W-parametr      | Parametr vypočítaný z profilu vlnitosti   |
| <b>Výstupek profilu</b>       |                 | Z povrchu ven směřující část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průřezu profilu s osou X |
| <b>Prohlubeň profilu</b>      |                 | Dovnitř směřující část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průřezu s osou X               |
| <b>Hodnota pořadnice</b>      | $Z(x)$          | Výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x   |
| <b>Výška výstupku profilu</b> | $Z_p$           | Vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu   |

|                                  |                 |   |
|----------------------------------|-----------------|---|
| <b>Hloubka prohlubně profilu</b> | $Z_v$           | Vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu  |
| <b>Výška prvku profilu</b>       | $Z_t$           | Součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu   |
| <b>Šířka prvku profilu</b>       | $X_s$           | Délka úseku osy X protínající prvek profilu   |
| <b>Celková výška profilu</b>     | $P_t, R_t, W_t$ | Součet výšky $Z_p$ nejvyššího výstupku profilu a hloubky $Z_v$ nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky |

Na obrázku 13 jsou některé z předešlých složek znázorněny. Vysvětlení jednotlivých prvků je obsaženo v tabulce 1.



Obrázek 13 Složky profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287)

Dle (ČSN EN ISO 4287) mohou být výškové parametry – průměrné hodnoty pořadnic definovány průměrnou aritmetickou úchylkou právě posuzovaného profilu a délkové parametry mohou být určeny průměrnou šířkou prvků profilu.

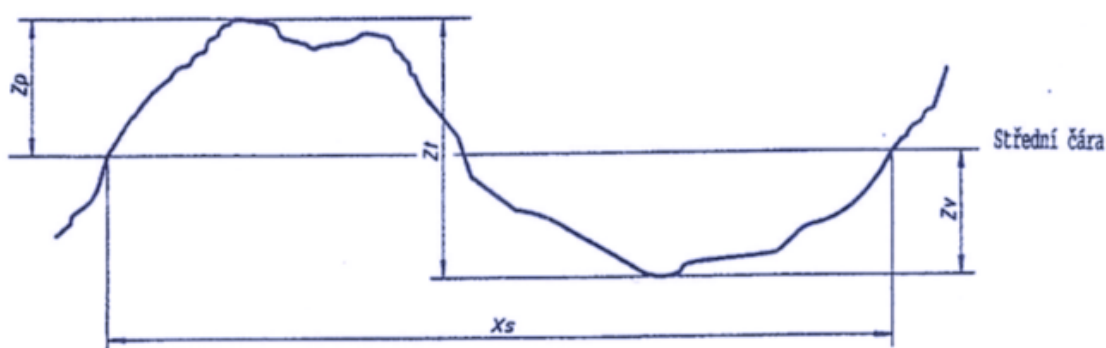
Průměrné aritmetické úchytky posuzovaného profilu -  $P_a$ ,  $R_a$ ,  $W_a$  se vypočítají jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(y)$  v rozsahu základní délky podle vzorce (10), kde  $l = l_p$ ,  $l_r$  nebo  $l_w$ .

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (10)$$

Průměrná šířka

Jako aritmetický průměr šířek  $X_s$  prvků profilu (viz. Obrázek 14) v rozsahu základní délky podle vzorce (11) se vypočítá průměrná šířka prvků profilu ( $P_{Sm}$ ,  $R_{Sm}$ ,  $W_{Sm}$ ).

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si} \quad (11)$$



Obrázek 14 Prvek profilu (ČSN EN ISO 4287)

(ČSN EN ISO 4287) určuje tři druhy středních profilových čar:

1. Střední čára profilu drsnosti je stejná jako dlouhovlnná složka profilu potlačená filtrem profilu  $\lambda_c$ .
2. Stejně tak střední čára profilu vlnitosti odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu  $\lambda_f$ .
3. Taktéž střední čára profilu základního je čára neměnějších čtverců přiléhajících k jmenovitému tvaru základního profilu.

Následující tabulka 2 popisuje zmíněné parametry v obrázku 14, 15, 16, 17 a 18.

Tabulka 2 Výškové parametry profilu povrchu podle (ČSN EN ISO 4287)

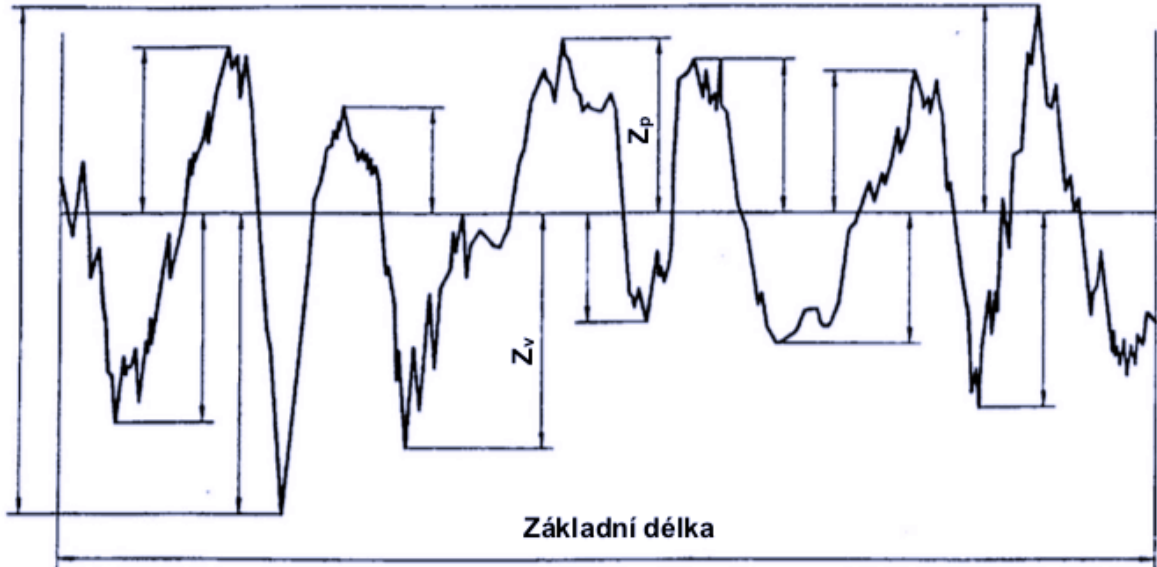
| Název                           | Značení               | Popis   |
|---------------------------------|-----------------------|---|
| Největší výška výstupku profilu | $P_p$ , $R_p$ , $W_p$ | Výška $Z_p$ nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky – obrázek 14 |

|   |                 |  |
|---|-----------------|--|
| <b>Největší hloubka prohlubně profilu</b> | $P_v, R_v, W_v$ | Hloubka $Z_v$ nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky – obrázek 15   |
| <b>Největší výška profilu</b>             | $P_z, R_z, W_z$ | Součet výšky $Z_p$ nejvyššího výstupku profilu a hloubky $Z_v$ nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky – obrázek 16      |
| <b>Průměrná výška prvků profilu</b>       | $P_c, R_c, W_c$ | Průměrná hodnota výšek $Z_t$ prvků profilu v rozsahu základní délky – obrázek 17   |
| <b>Celková výška profilu</b>              | $P_t, R_t, W_t$ | Součet výšky $Z_p$ nejvyššího výstupku profilu a hloubky $Z_v$ nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky – obrázek 18 |



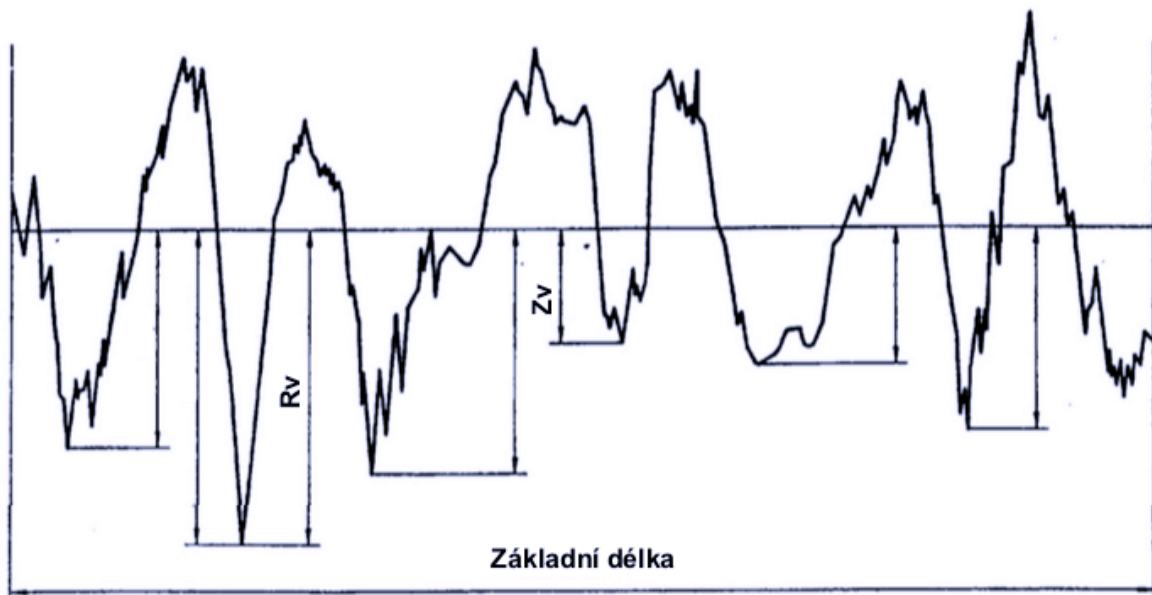
Obrázek 15 Největší výška výstupků profilu (ČSN EN ISO 4287)

$Z_p$  – výška výstupků profilu



Obrázek 16 Největší hloubka prohlubní profilu (ČSN EN ISO 4287)

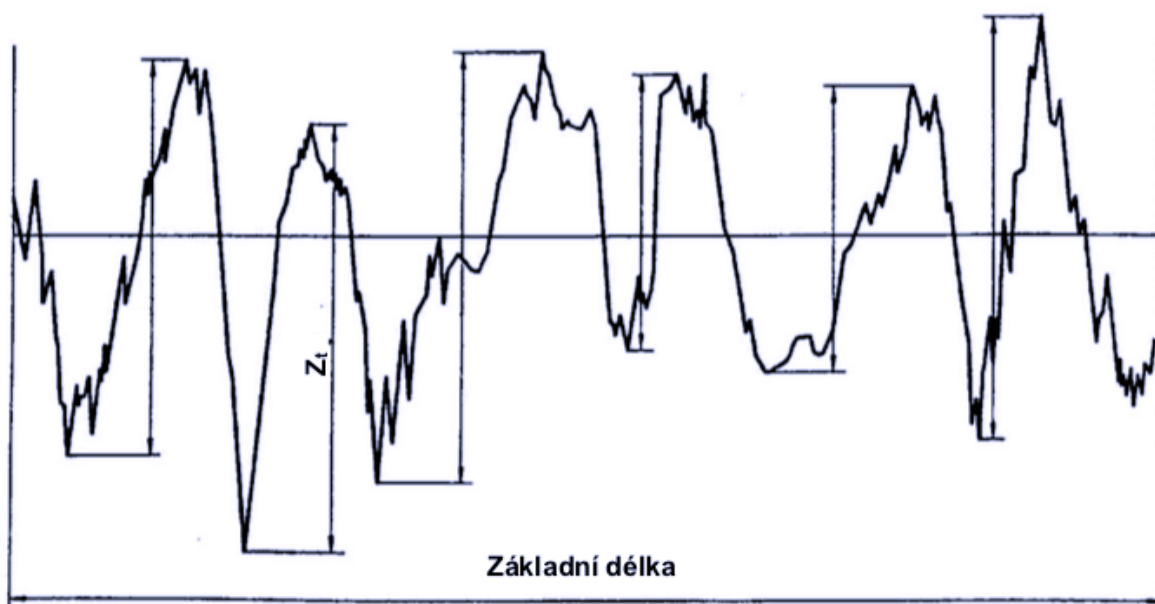
$Z_v$  – hloubka prohlubně profilu



Obrázek 17 Největší výška profilu (ČSN EN ISO 4287)

$Z_v$  – hloubka prohlubně profilu

$Z_p$  – výška výstupků profilu



Obrázek 18 Výška prvků profilu (ČSN EN ISO 4287)

$Z_t$  – výška prvku profilu

Následující tabulky 3, 4, 5 slouží pro vysvětlení značek v předešlých textech, vzorcích, či obrázcích.

Tabulka 3 Výškové parametry profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287)

| Název  | Značení             | Popis  |
|--|---------------------|--|
| <b>Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu</b> | Pa, Ra,<br>Wa       | Aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky   |
| <b>Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu</b> | Pq, Rq,<br>Wq       | Kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky  |
| <b>Šikmost posuzovaného profilu</b>                      | Psk,<br>Rsk,<br>Wsk | Podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Pq, Rq nebo Wq v rozsahu základní délky    |
| <b>Špičatost posuzovaného profilu</b>                    | Pku,<br>Rku,<br>Wku | Podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Pq, Rq, nebo Qq v rozsahu základní délky |



Tabulka 4 Délkové a tvarové parametry profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287)

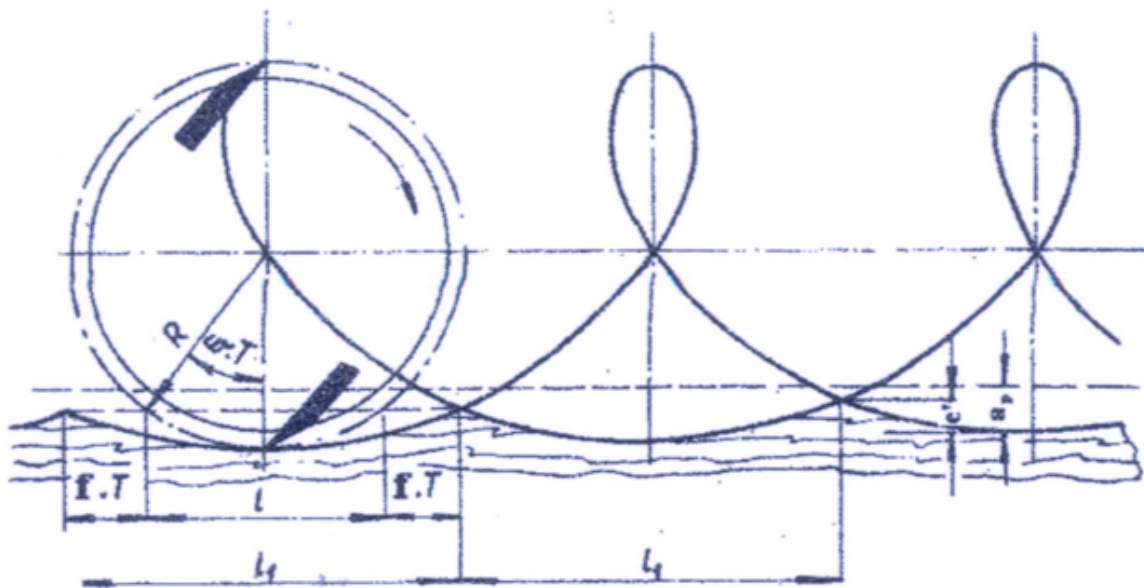
| Název  | Značení          | Popis  |
|--|------------------|--|
| <b>Průměrná šířka prvků profilu</b>                    | PSm, RSm,<br>WSm | Aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky |
| <b>Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu</b> | PΔq, RΔq,<br>WΔq | Kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky  |

Tabulka 5 Křivky a odpovídající parametry profilu povrchu (ČSN EN ISO 4287)

| Název   | Značení                      | Popis  |
|---|------------------------------|--|
| <b>Materiálový poměr profilu (nosný podíl)</b>            | Pmr(c),<br>Rmr(c),<br>Wmr(c) | Poměr délky materiálu elementů profilu Ml(c) na dané úrovni c, k vyhodnocované délce |
| <b>Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka)</b> |                              | Křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně          |
| <b>Rozdíl výšky úseku profilu</b>                         | Pδc, Rδc,<br>Wδc             | Svislá vzdálenost mezi úrovněmi dvou úseků daného materiálového poměru               |
| <b>Vzájemný materiálový poměr</b>                         | Pmr, Rmr,<br>Wmr             | Materiálový poměr určený na úrovni části profilu Rδc, vztahený k úrovni C0           |
| <b>Empirické rozdělení výšek profilu</b>                  |                              | Hustota pravděpodobnosti pořadnic Z(x) v rozsahu vyhodnocované délky                 |

### 3.3.6 VLNITOST POVRCHU

Při frézování je kromě drsnosti povrchu také vlnitost. Frézování lze charakterizovat jako obrábění pomocí nástroje, který se otáčí. Vznikají tedy vlnky. (Lisičan, 1996) Při možnosti nerovnoměrného osazení nožů bude v nejčastějším případě kvalita povrchu o poměrnou část horší. Pokud však pracovník nože osadí správně, vznikne vlnitost velmi podobná obrázku 19 (Nutsch, 2006).



Obrázek 19 Šířka vlnek (Lisičan, 1996)

#### 4. METODIKA PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍCH TĚLES A METODIKA MĚŘENÍ KVALITY

Během procesu frézování byly měněny následující parametry: řezná rychlost, posuvná rychlost. Dále byl měněn úhel čela, a to za pomoci výměny hlav. Základním opracovávaným materiálem byla dřevina Iroko (*Milicia Excelsa*). Velikost odebíraného materiálu byla nastavena na 1 mm.

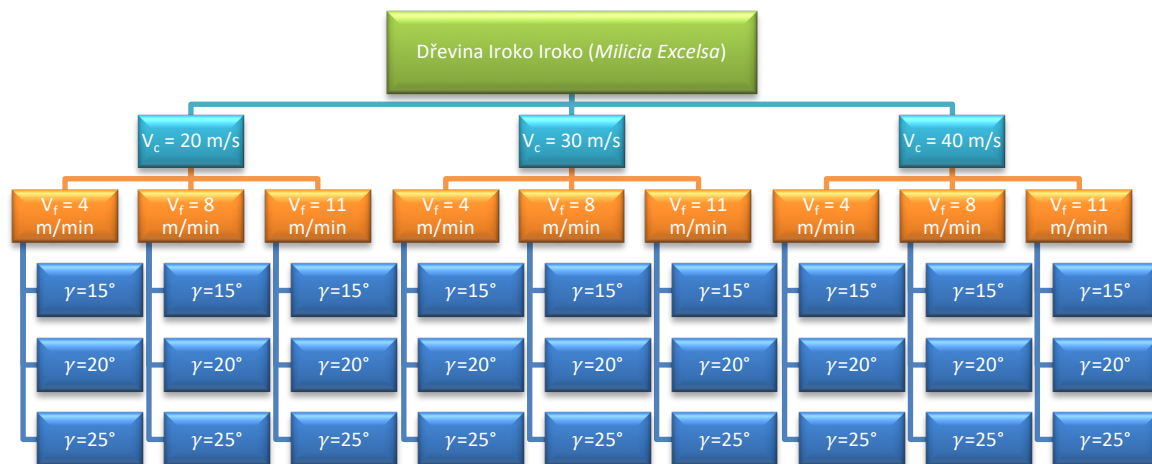
Variabilní parametry jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Variabilní parametry ovlivňující obrábění

| Parametr          | Hodnota |      |      |                         |
|-------------------|---------|------|------|-------------------------|
| Řezná rychlost    | 20      | 30   | 40   | [m*sec <sup>-1</sup> ]  |
| Otáčky frézy      | 3000    | 4500 | 6000 | [ot*min <sup>-1</sup> ] |
| Podávací rychlost | 4       | 8    | 11   | [m*min <sup>-1</sup> ]  |
| Úhel čela         | 15      | 20   | 25   | [°]                     |

Další, fixní parametry ovlivňující výslednou kvalitu povrchu byl materiál (Iroko – *Milicia Excelsa*) a úhel ostří (45°).

Pro lepší přehled použitých parametrů poslouží obrázek 20.



Obrázek 20 Blokové schéma kombinací obrábění

$v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost  $\gamma$  - úhel čela

Na základě cíle práce metodiku rozdělím do těchto bodů:

1. Příprava materiálu a vzorků.
2. Klimatizační úprava vzorků.
3. Frézování.
4. Měření kvality.

#### 4.1 MATERIÁL A JEHO PŘÍPRAVA

Přípravu vzorků, měření a vyhodnocení jsme realizovali v odborných pracovištích.

##### 4.1.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Pro účely experimentu byla použita dřevina Iroko (*Milicia Excelsa*). Tato dřevina byla nejdříve rozřezána na jednotlivé vzorky, postupem z neomítaných prken na přířezy, které měly následující rozměry: 450x100x18 mm, dřevina přitom byla vzducho-suchá. Tedy o relativní vlhkosti dřeva 16 %. Na každý vzorek bylo vyznačeno deset úseků, kde se měřila kvalita povrchu. Zároveň se na každý vzorek (viz. Obr. 21) psala kombinace použitých parametrů.



Obrázek 21 Vzorek připravený na měření

#### 4.1.2 KLIMATIZAČNÍ ÚPRAVA VZORKŮ

V momentě, kdy byly vzorky ve stavu požadovaných rozměrů, následovala jejich klimatizace, a to v laboratořích České zemědělské univerzity v Praze. Při klimatizování je nutné a byl tedy zajištěn i v našem případě volný přístup vzduchu, a to ze všech stran vzorku, při teplotě 23°C a zároveň relativní vlhkosti 40 %. Vzorky byly takto klimatizovány 90 dní, díky čemuž bylo lehce dosaženo stálé, kompaktní, relativní vlhkosti 8 %. Míra vlhkosti byla vypočítána pomocí váhové metody, vzorcem 13, dle (ČSN EN 322):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (12)$$

Kde:  $m_1$  – hmotnost zkušebního tělesa ve vlhkém stavu [g]

$m_0$  – hmotnost tělesa v suchém stavu [g]

W – vlhkost [%]

#### 4.2 VÝPOČET HUSTOTY

Hustota je neopomenutelnou fyzikální vlastností. Ovlivňuje jak technologické, tak mechanické vlastnosti. Hustota má na výslednou kvalitu povrchu velmi velký vliv, jelikož její hodnoty velmi ovlivňují celý proces obrábění (Lisičan, 1996).

Před zahájením obrábění bylo nutno zjistit objemovou hmotnost, tedy hustotu měřeného materiálu. Tu jsme vypočítali za pomoci vzorce 13 (ČSN EN 323):

$$\rho_w = m_w / V_w \quad (13)$$

Hustota dřeviny Iroko (*Milicia Excelsa*) byla 713 kg.m<sup>-3</sup>

#### 4.3 OBRÁBĚNÍ A MĚŘENÍ VZORKŮ

Při frézování se použily tři hlavy, kde byl proměnný úhel čela (15 °, 20 °, 25°), dále byla proměnná posuvná rychlost (4 m.min<sup>-1</sup>, 8 m.min<sup>-1</sup>, 11 m.min<sup>-1</sup>), taktéž byla proměnná řezná rychlost (20 m.s<sup>-1</sup>, 30 m.s<sup>-1</sup>, 40 m.s<sup>-1</sup>), kterou jsme si přepočítali z otáček frézy (3000 m.min<sup>-1</sup>, 4500 m.min<sup>-1</sup>, 6000 m.min<sup>-1</sup>). Jednotlivé kombinace nám důkladně vyobrazuje blokové schéma uvedené výše.

### 4.3.1 STROJNÍ VYBAVENÍ

Pro účely tohoto experimentu jsme museli zvolit vhodnou frézku a podávací zařízení.

#### 4.3.1.1 Frézka

K frézování nám posloužila jednovřetenová spodní frézka typu FSV (ED, APT Line II; Tuttlingen, Německo) (viz Obr. 22). Tato frézka je určena k obrábění jak podélného, tak deskového obrábění a v závislosti na zvoleném nástroji lze obrábět masivní, tak aglomerované materiály.

Stroj je poháněn dvourychlostním elektromotorem o výkonu 5,2 kW, při různých otáčkách. Ty je možno měnit přepínačem, který najdeme na centrálním ovládacím panelu. Převodníkem hnací síly je dvojice klínových řemenů, které spojují elektromotor a hnaný vřeteník. Další parametry nám vyjasní tabulka 8.



Obrázek 22 Jednovřetenová spodní frézka FVS s podávacím zařízením

Tabulka 7 Parametry spodní svislé frézky FVS, ED, APT Line II (Tuttlingen, Německo)

| <b>Proudová soustava</b> | <b>Příkon</b> | <b>Otáčky [ot*min<sup>-1</sup>]</b> | <b>Řezná rychlost pro průměr hlavy 125 mm [m*s<sup>-1</sup>]</b> | <b>Rok výroby</b> |
|--------------------------|---------------|-------------------------------------|--|-------------------|
| <b>360/220 V</b>         | 4 kW          | 3000, 4500, 6000, 9000              | 20; 30; 40; 60   | 1975              |

#### 4.3.1.2 Podávací zařízení

K podávání nám posloužilo zařízení od firmy MAGGI, STEFF 2034 (Itálie) (viz obr. 23). To je určeno k posuvu dílců, stejně tak může sloužit pro posuv deskového materiálu. Toto podávací zařízení má čtyři základní rychlosti. Jedná se o podávací zařízení válečkové, kdy jsou válečky odpružené a stejně tak pogumované. Možnost volby rychlostí nám zajišťuje výměna dvou převodových kol. Tyto změny se musí provádět pouze při bezpečně vypnutém

stroji. Celé zařízení bylo upevněno na stojanu, který zajistil přesné umístění podle potřeby způsobu obrábění. Přesné parametry tohoto zařízení nám vyjasní tabulka 9.

Tabulka 8 Parametry podavače materiálu MAGGI, STEFF 2034 (Itálie)

| Motor | Příkon kW    | Otáčky<br>[ot*min <sup>-1</sup> ] | Podávací rychlost [m*min <sup>-1</sup> ] | Rok výroby |
|-------|--------------|-----------------------------------|--|------------|
| 400 V | 0,6 – 0,8 kW | 1400/2800                         | 4; 8; 11; 22                             | 2005       |



Obrázek 23 Podávací zařízení Steff umístěné na jednovřetenové spodní frézce

#### 4.3.1.3 Frézovací nůž

Pro frézování posloužil výměnný nůž pro frézovací hlavy. Všechny jeho parametry jsou vyobrazeny v tabulce 10.

Tabulka 9 Technologické parametry výměnného nože

| <b>Nástroj</b>                         | <b>Výměnný nůž pro frézovací hlavy</b> |
|--|--|
| <b>Výrobce</b>                         | Maximus                                |
| <b>Typ</b>                             | Special 55                             |
| <b>Šířka nože</b>                      | 45 (mm)                                |
| <b>Úhel ostří (<math>\beta</math>)</b> | 45 ( $^{\circ}$ )                      |
| <b>Materiál dle ČSN</b>                | 19 855                                 |
| <b>Přísady</b>                         | C 0,7; Cr 4,2; W 18; V 1,5 %           |
| <b>Tvrдость nástroje</b>               | 62 HRC                                 |

#### 4.3.1.4 Frézovací hlavy

Při frézování se postupně vyměnily tři hlavy (viz obr. 24, 25 a 26). Nůž zůstal stejný, měnil se pouze řezný úhel čela. Všechny hlavy jsou od firmy STATON, hlavy měly úhel čela postupně 15°, 20°, 25°. Další parametry jsou k nalezení v tabulce 11.

Tabulka 10 Technické parametry frézovacích hlav

| <b>Nástroj</b>                     | <b>Frézovací hlava</b> |
|------------------------------------|------------------------|
| <b>Výrobce</b>                     | STATON                 |
| <b>Rok výroby</b>                  | 2004                   |
| <b>Průměr nástroje bez nožů</b>    | 125 mm                 |
| <b>Průměr nástroje včetně nožů</b> | 133 mm                 |
| <b>Pracovní šířka nástroje</b>     | 45 mm                  |
| <b>Průměr upínacího otvoru</b>     | 30 mm                  |
| <b>Počet nožů</b>                  | 2                      |
| <b>Úhel čela nože</b>              | 15°, 20°, 25°          |
| <b>Posuv</b>                       | MAC – strojní          |





Obrázek 24 Frézovací hlava Staton s úhlem čela 15°



Obrázek 25 Frézovací hlava Staton s úhlem čela 20°



Obrázek 26 Frézovací hlava Staton s úhlem čela 25°

#### 4.3.2 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ NA MĚŘENÍ

V následujících odstavcích bude popsáno, jakými prostředky se získávala naměřená data.

##### 4.3.2.1 Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra

Měření se konalo za pomoci ocelolitinového stolu, aby byla zajištěna co nejlepší přesnost měření. Výrobce Taylor Hobson (Velká Británie) nám přinesl měřicí přístroj Talysurf Intra 2. Posadil jsem jej na místo, kam se také přesně umisťoval právě měřený vzorek. Umístění vzorku bylo vždy ověřeno pomocí úhelnice. Měřený vzorek a jeho podélná osa byly rovnoběžné s trajektorií pojezdu měřiče.

Ke snímání vlnitosti a drsnosti opracovaného materiálu, a tedy jeho výsledné kvality, jsem využil přístroj Taylor Hobson – Form Talysurf Intra 2 (viz obr. 27), který funguje na principu doteku. Povrch vzorku je snímán raménkem (viz obr. 28) s hrotem osazeným diamantem. Raménko je uloženo v indukčním snímači, ten dále přenáší naměřenou strukturu povrchu do datové podoby. Již zmíněné raménko, které je v indukčním snímači uloženo za pomoci systému břitového a taktéž je zasazeno do pouzdra, převádí zrealizované pohyby na tzv. kotvu, která je obklopená cívkou. Cívka indikuje napětí, které se dále převádí do datového toku, který směřuje do softwarového programu za pomoci USB kabelu.

Správné dosednutí ramínka, které měří sledovanou plochu zajistila pomoc originálního příslušenství měřidla. Výškově nastavitelný adaptér, který má možnost nastavení výšky vzorku. detail měření je zobrazen na obrázku 29.



Obrázek 27 Taylor Hobson – Form Talysurf Intra 2



Obrázek 28 Snímací raménko s diamantovým hrotem



Obrázek 29 Detail při měření

#### 4.3.2.2 Nastavení kontaktního profilometru

Kontaktní profilometr Form Talysurf 50 Intra 2 byl osazen raménkem s diamantovým hrotem  $R=2 \mu\text{m}$ . Zároveň byl použit Gaussův filtr a filtr profilu  $\lambda c$ .

V tabulce 12 je zobrazeno nastavení profilometru dle normy (ČSN EN ISO 4287). V tabulce je použité nastavení zvýrazněno modře.

Tabulka 11 Parametry měření podle normy (ČSN EN ISO 4287)

| <b>Periodické profily</b> | <b>Parametry měření</b> |           |           |                |
|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------------|
|                           | $\lambda c = lc$ [mm]   | $ln$ [mm] | $lt$ [mm] | $r_{tip}$ [mm] |
| $0,013 < RMm \leq 0,04$   | 0,08                    | 0,4       | 0,48      | 2              |
| $0,04 < RMm \leq 0,13$    | 0,25                    | 1,25      | 1,5       | 2              |
| $0,13 < RMm \leq 0,4$     | 0,8                     | 4         | 4,8       | 2/5            |
| $0,4 < RMm \leq 1,3$      | 2,5                     | 12,5      | 15        | 5              |
| $1,3 < RMm \leq 4$        | 8                       | 40        | 48        | 10             |

## 5. VÝSLEDKY A JEJICH ZHODNOCENÍ

Ke zpracování dat nám posloužil program Statistica a MS Excel.

V následujících odstavcích budou graficky, tabulkově vyobrazena naměřená data. Hned za nimi je bude následovat Duncanův test. Všechna data budou vyobrazena jak pro vlnitost, tak pro drsnost.

Grafický přehled nám vyobrazí na první pohled významné rozdíly. Pokud by ovšem nebyl takový rozdíl patrný, poslouží nám Duncanův test, který v příložených tabulkách vyobrazí červeně takové hodnoty, které jsou významně rozdílné.

Po zhodnocení jednotlivých parametrů bude vyhodnoceno vše najednou, tedy kombinace řezné, posuvné rychlosti a úhlu čela.

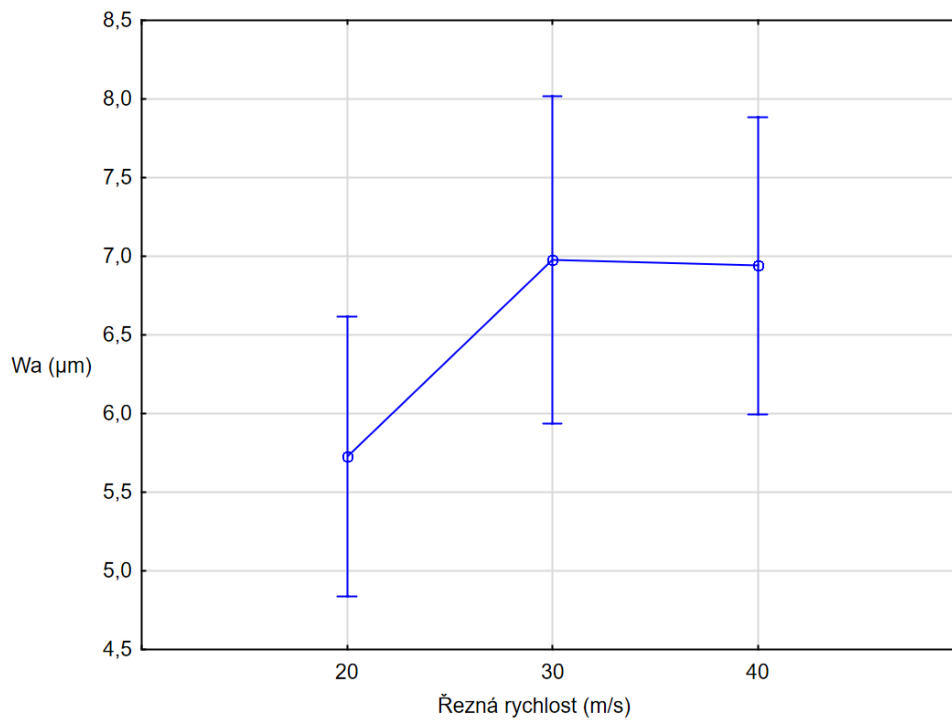
### 5.1 VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA DRSNOST A VLNITOST POVRCHU

V experimentu jsme zkoumali mimo další veličiny řeznou rychlost a její vliv na drsnost a vlnitost povrchu. Řezná rychlost byla postupně nastavena na dvacet, třicet a čtyřicet metrů za sekundu (viz tabulka 13).

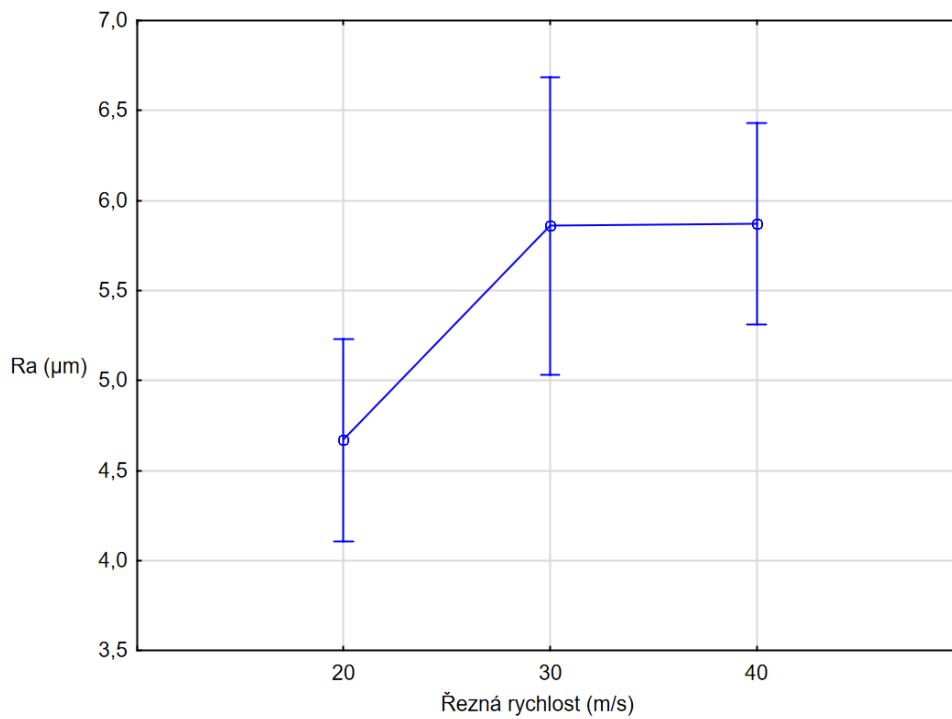
Je patrné, že drsnost se zvýšila při změně řezné rychlosti z 20 na 30  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , výsledná hodnota u 40  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  je téměř stejná, jako u rychlosti 30  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (viz graf 2).

Dále je zřejmé, že vlnitost povrchu (viz graf 1) téměř kopíruje průběh drsnosti. Jediným rozdílem je minimální pokles vlnitosti při přechodu z 30 na 40  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Duncanův test nám ukazuje statisticky významné rozdíly při změně rychlosti. U drsnosti můžeme vidět, že při přechodu z rychlosti 20  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , na 30, či 40  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  jsme vysoké hladině významnosti a je tedy patřičně vyznačena (viz tabulka 14 a 15).



Graf 1 Vliv řezné rychlosti na výsledné hodnoty vlnitosti



Graf 2 Vliv řezné rychlosti na výsledné hodnoty drsnosti

Tabulka 12 Naměřená data a jejich další výpočty při změně řezné rychlosti vztahující se k vlnitosti a drsnosti

| Řezná rychlost (m/s) | Wa (μm) průměr | Wa (μm) směrodatná odchylka | Wa (μm) chyba | Wa (μm) -95% | Wa (μm) +95% | N  |
|----------------------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|----|
| 20                   | 5,729          | 4,248                       | 0,448         | 4,839        | 6,619        | 90 |
| 30                   | 6,977          | 4,965                       | 0,523         | 5,937        | 8,017        | 90 |
| 40                   | 6,941          | 4,516                       | 0,476         | 5,995        | 7,886        | 90 |
| Řezná rychlost (m/s) | Ra (μm) průměr | Ra (μm) směrodatná odchylka | Ra (μm) chyba | Ra (μm) -95% | Ra (μm) +95% | N  |
| 20                   | 4,668          | 2,688                       | 0,283         | 4,105        | 5,231        | 90 |
| 30                   | 5,859          | 3,954                       | 0,417         | 5,031        | 6,687        | 90 |
| 40                   | 5,872          | 2,667                       | 0,281         | 5,314        | 6,431        | 90 |

Tabulka 13 Duncanův test řezné rychlosti s variabilní vlnitostí

| Řezná rychlost | Wa [μm] (1) | Wa [μm] (2) | Wa [μm] (3) |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
|                | 5,729       | 6,977       | 6,941       |
| 20 (1)         |             | 0,064       | 0,058       |
| 30 (2)         | 0,064       |             | 0,954       |
| 40 (3)         | 0,058       | 0,954       |             |

Tabulka 14 Duncanův test řezné rychlosti s variabilní drsností

| Řezná rychlost | Ra [μm] (1) | Ra [μm] (2) | Ra [μm] (3) |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
|                | 4,668       | 5,859       | 5,872       |
| 20 (1)         |             | 0,003       | 0,003       |
| 30 (2)         | 0,003       |             | 0,974       |
| 40 (3)         | 0,003       | 0,974       |             |

## 5.2 VLIV POSUVNÉ RYCHLOSTI NA DRSNOST A VLNITOST POVRCHU

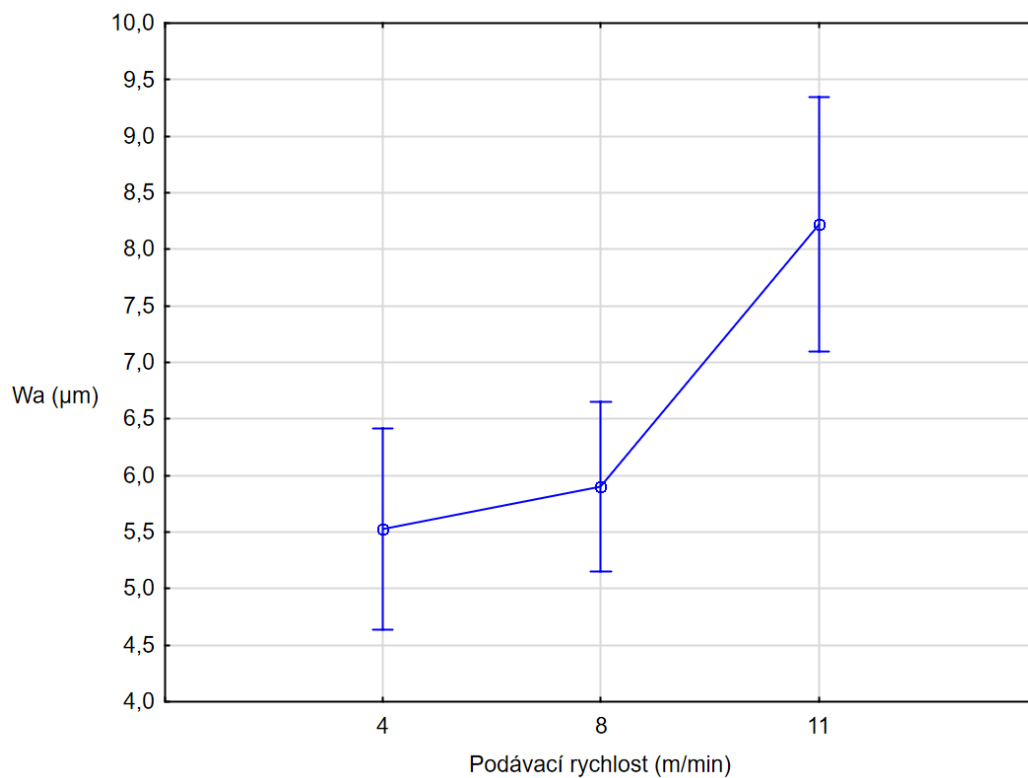
Podávací rychlost měla výrazný vliv na výslednou drsnost a vlnitost povrchu. Postupně se měnily rychlosti 4 m\*min<sup>-1</sup>, 8 m\*min<sup>-1</sup>, 11 m\*min<sup>-1</sup> (viz tabulka 16).

Drsnost povrchu (viz graf 4) se po změně z 4 m\*min<sup>-1</sup> na 8 m\*min<sup>-1</sup> téměř nezměnila. Ovšem enormní nárůst je patrný po zvýšení rychlosti na 11 m\*min<sup>-1</sup>. Po výměně rychlostí z 4 na 11 m\*min<sup>-1</sup> byl nárůst drsnosti 43 %.

Zároveň se zvyšující podávací rychlostí rostla také vlnitost (viz graf 3). Při výměně mezi 4 m\*min<sup>-1</sup> na 8 m\*min<sup>-1</sup>, je patrný mírný nárůst výsledné hodnoty. Poté ovšem nastal velký

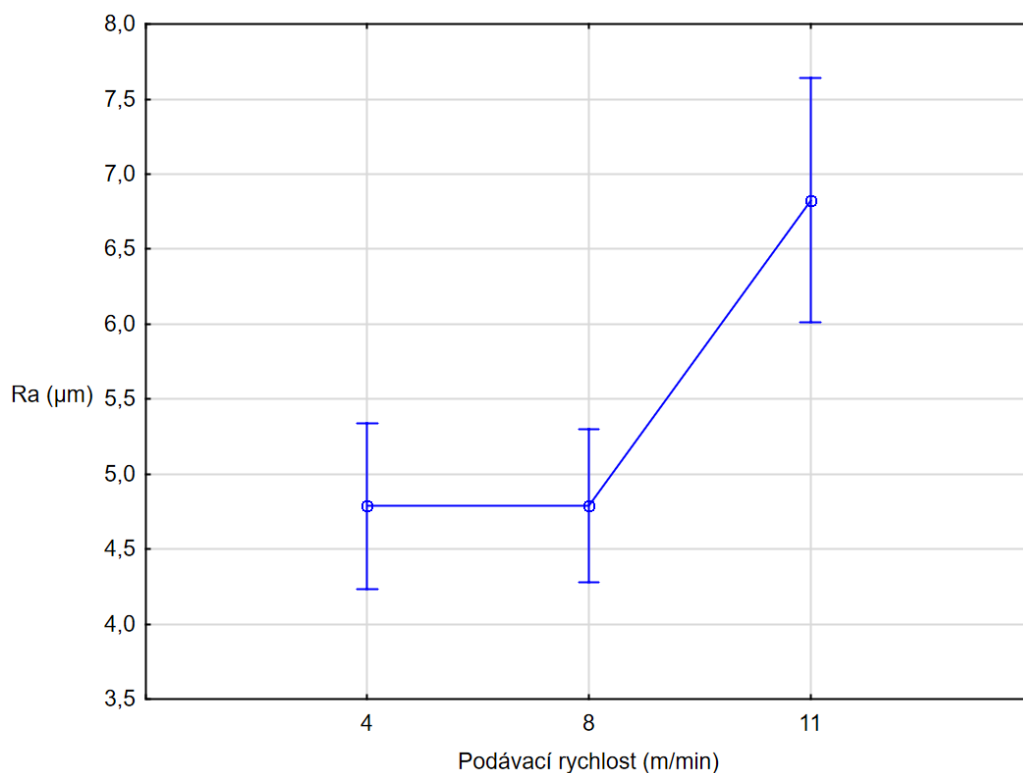
nárůst, a to při zvýšení rychlosti na  $11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Při výměně rychlostí z  $8$  na  $11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  byl nárůst vlnitosti  $39 \%$ .

Z Duncanova testu (viz tabulka 17, 18) lze vyčíst, že u vlnitosti a drsnosti se při změně posuvné rychlosti z  $8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  na  $11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  přesáhla hranice významného rozdílu.



Graf 3 Vliv posuvné rychlosti na výsledné hodnoty vlnitosti





Graf 4 Vliv posuvné rychlosti na výsledné hodnoty drsnosti

Tabulka 15 Naměřená data a jejich další výpočty při změně podávací rychlosti vztahující se k vlnitosti a drsnosti

| Podávací rychlost (m/min) | Wa (μm) průměr | Wa (μm) směrodatná odchylka | Wa (μm) chyba | Wa (μm) - 95% | Wa (μm) +95% | N  |
|---------------------------|----------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|----|
| 4                         | 5,524          | 3,724                       | 0,448         | 4,634         | 6,415        | 90 |
| 8                         | 5,905          | 7,890                       | 0,378         | 5,154         | 6,656        | 90 |
| 11                        | 8,218          | 4,548                       | 0,566         | 7,093         | 9,344        | 90 |
| Podávací rychlost (m/min) | Ra (μm) průměr | Ra (μm) směrodatná odchylka | Ra (μm) chyba | Ra (μm) - 95% | Ra (μm) +95% | N  |
| 4                         | 4,787          | 2,329                       | 0,279         | 4,233         | 5,341        | 90 |
| 8                         | 4,788          | 6,554                       | 0,258         | 4,276         | 5,300        | 90 |
| 11                        | 6,825          | 5,001                       | 0,411         | 6,009         | 7,640        | 90 |

Tabulka 16 Duncanův test posuvné rychlosti s variabilní vlnitostí

| Posuvná rychlost | Wa [μm] (1) | Wa [μm] (2) | Wa [μm] (3) |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
|                  | 5,524       | 5,905       | 8,218       |
| 4 (1)            |             | 0,552       | 0,000       |
| 8 (2)            | 0,552       |             | 0,000       |
| 11 (3)           | 0,000       | 0,000       |             |

Tabulka 17 Duncanův test posuvné rychlosti s variabilní drsností

| Posuvná rychlost | Ra [ $\mu\text{m}$ ] (1) | Ra [ $\mu\text{m}$ ] (2) | Ra [ $\mu\text{m}$ ] (3) |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                  |                          | 4,787                    | 4,788                    |
| <b>4 (1)</b>     |                          | 0,998                    | <b>0,000</b>             |
| <b>8 (2)</b>     | 0,998                    |                          | <b>0,000</b>             |
| <b>11 (3)</b>    | <b>0,000</b>             | <b>0,000</b>             |                          |

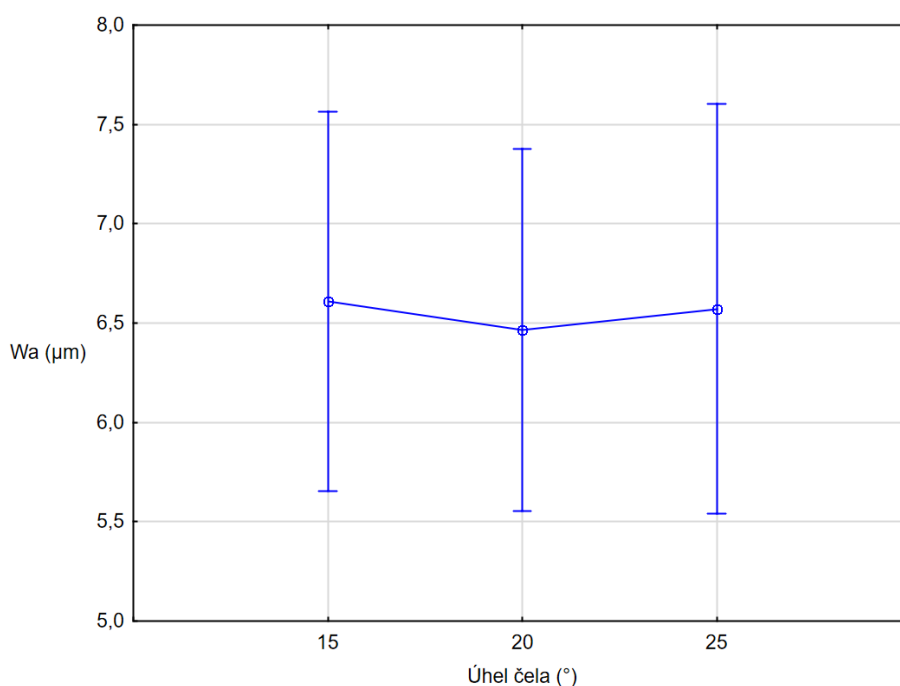
### 5.3 VLIV ÚHLU ČELA NA DRSNOST A VLNITOST POVRCHU

Patrně neméně důležitá také byla změna úhlu čela (viz tabulka 19), kdy se postupně vyměnily úhly 15°, 20°, 25°. Změna úhlu čela má významný podíl na výslednou drsnost. Na profilu vlnitosti se ovšem téměř neprojevuje.

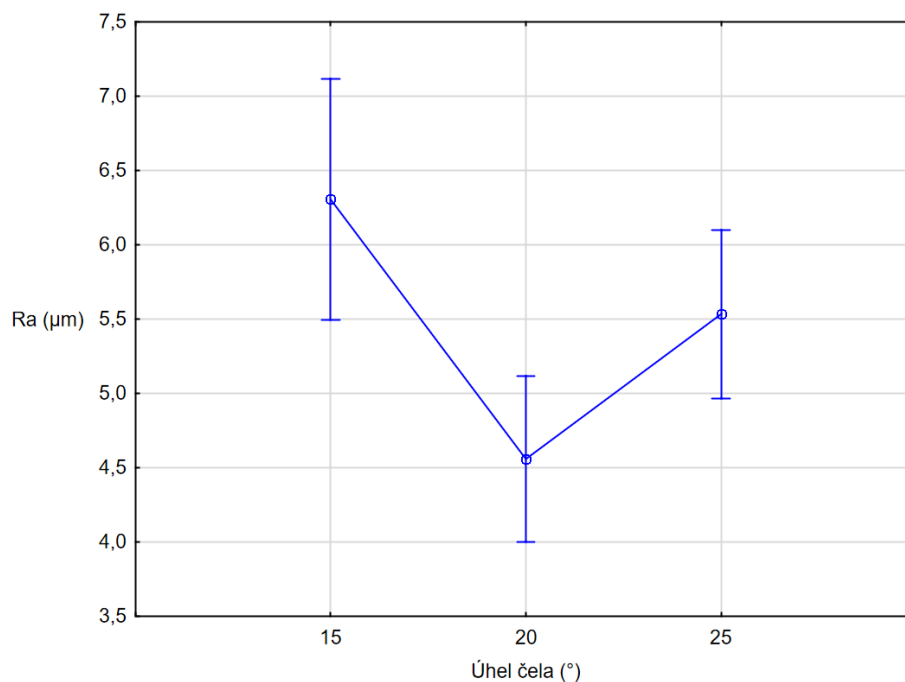
Drsnost povrchu je při 15° na nejvyšší úrovni (viz graf 6). Při poklesu na 20° výrazně klesá a následně, při výměně nástroje na 25° zase stoupá, ovšem nedosáhne úrovně jako při 15° použitým úhlu.

Vlnitost (viz graf 5) se zdá vzhledem k naměřeným hodnotám téměř konstantní, což nám také potvrzuje Duncanův test (viz tabulka 19, 20).

U drsnosti je však zajímavé, že nejlépe vyšel prostřední atribut (20°). Při úhlu čela 15° byla drsnost povrchu nejvýše z naměřených hodnot a při výměně nástroje na 25° drsnost zase stoupla. Při změně úhlu čela z 15° na 20° byl pokles drsnosti 28 %, u vlnitosti pouze o 2 %. Výsledné hodnoty nám také vyobrazuje tabulka Duncanova testu.



Graf 5 Vliv úhlu čela na výsledné hodnoty vlnitosti



Graf 6 Vliv úhlu čela na výsledné hodnoty drsnosti

Tabulka 18 Naměřená data a jejich další výpočty při změně úhlu čela vztahující se k vlnitosti a drsnosti

| Úhel čela (°) | Wa (μm) průměr | Wa (μm) směrodatná odchylka | Wa (μm) chyba | Wa (μm) -95% | Wa (μm) +95% | N  |
|---------------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|----|
| 15            | 6,610          | 4,519                       | 0,481         | 5,655        | 7,565        | 90 |
| 20            | 6,465          | 4,226                       | 0,459         | 5,552        | 7,378        | 90 |
| 25            | 6,572          | 4,424                       | 0,520         | 5,539        | 7,605        | 90 |
| Úhel čela (°) | Ra (μm) průměr | Ra (μm) směrodatná odchylka | Ra (μm) chyba | Ra (μm) -95% | Ra (μm) +95% | N  |
| 15            | 6,306          | 3,595                       | 0,408         | 5,494        | 7,118        | 90 |
| 20            | 4,559          | 2,619                       | 0,280         | 4,003        | 5,115        | 90 |
| 25            | 5,535          | 2,862                       | 0,285         | 4,968        | 6,101        | 90 |

Tabulka 19 Duncanův test úhlů čela s variabilní vlnitostí

| Úhel čela | Wa [μm] (1) | Wa [μm] (2) | Wa [μm] (3) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|
|           |             | 6,610       | 6,465       |
| 15 (1)    |             | 0,833       | 0,953       |
| 20 (2)    | 0,833       |             | 0,867       |
| 25 (3)    | 0,953       | 0,867       |             |

Tabulka 20 Duncanův test úhlů čela s variabilní drsností

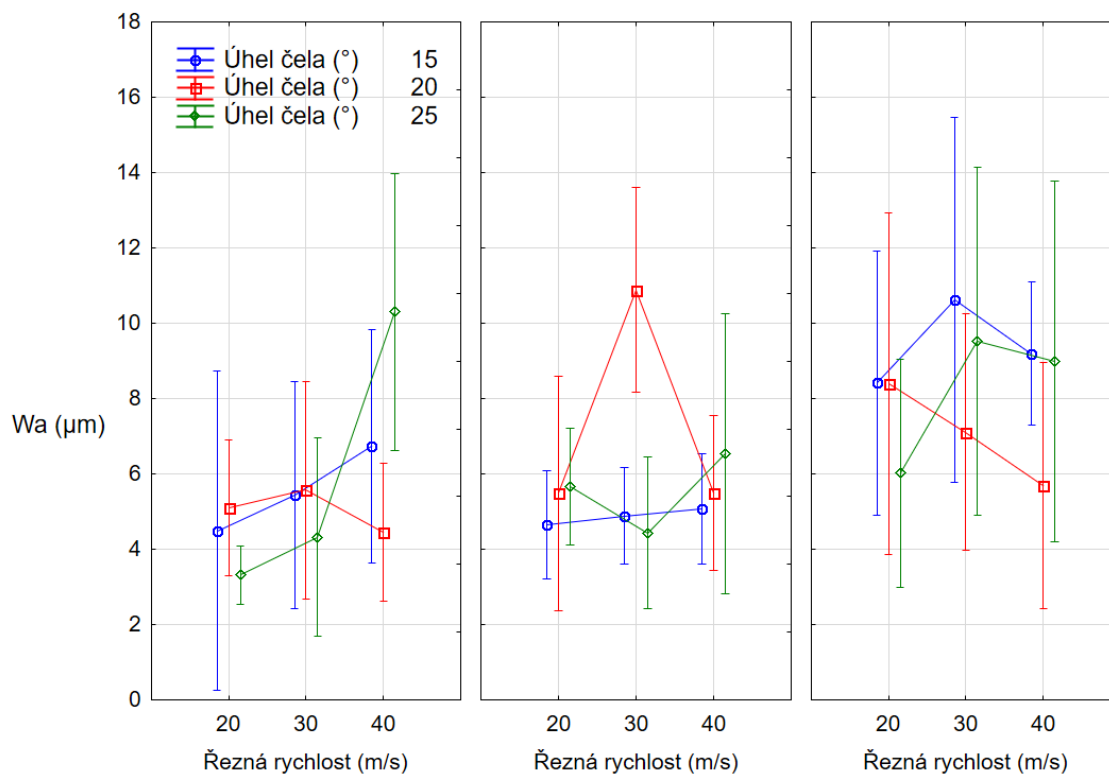
| Úhel čela     | Ra [ $\mu\text{m}$ ] (1) | Ra [ $\mu\text{m}$ ] (2) | Ra [ $\mu\text{m}$ ] (3) |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|               |                          | 6,306                    | 4,559                    |
| <b>15 (1)</b> |                          | <b>0,000</b>             | 0,051                    |
| <b>20 (2)</b> | <b>0,000</b>             |                          | <b>0,014</b>             |
| <b>25 (3)</b> | 0,051                    | <b>0,014</b>             |                          |

#### 5.4 KOMBINACE A VÝSLEDKY VŠECH TŘÍ PROMĚNNÝCH HODNOT

Zde bude popsáno zhodnocení kombinace všech proměnných parametrů. Z důvodu velkého množství naměřených a hodnocených dat, nám pro orientaci poslouží přiložené grafy.

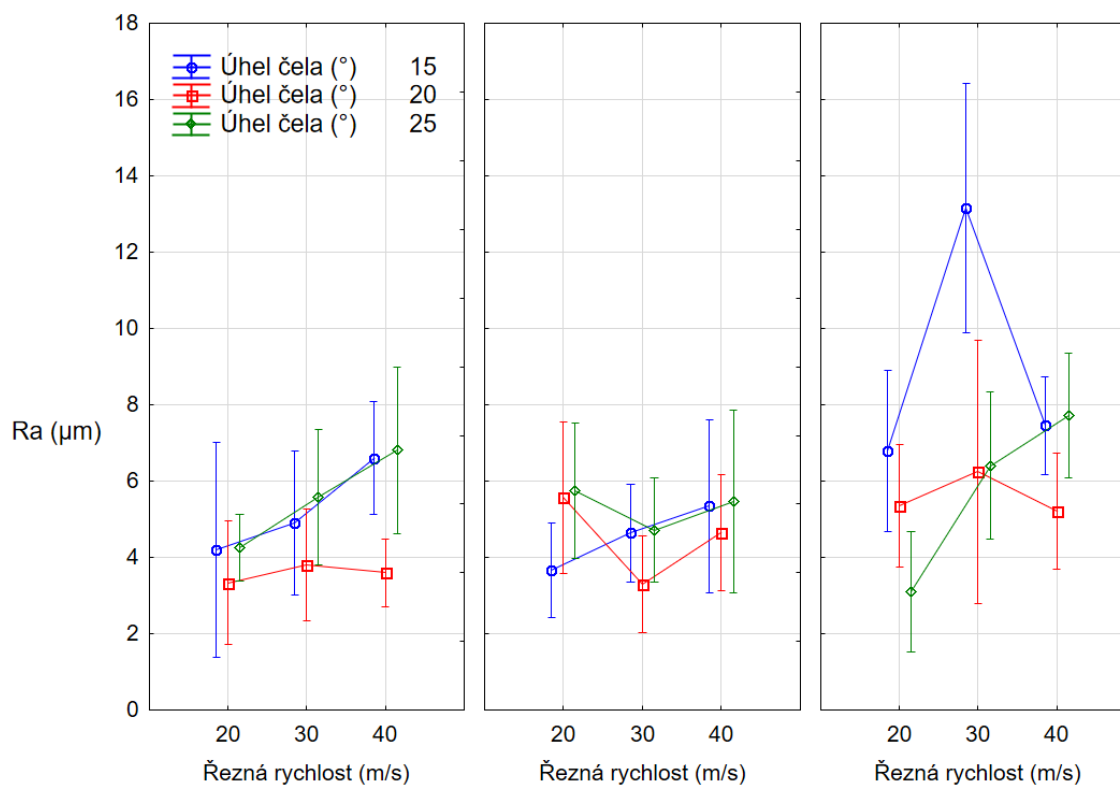
Zhodnotíme si nejdříve úchylku vlnitosti (viz graf 7). Nejlepší kvality bylo dosaženo při kombinaci řezné rychlosti  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlosti posuvu  $4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a úhlu čela  $25^\circ$ . Naopak nejhorších výsledků dosáhly tři podobné kombinace. Řezná rychlost  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlost posuvu  $8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , úhel čela  $20^\circ$ , dále řezná rychlost  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlost posuvu  $11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , úhel čela  $15^\circ$  a řezná rychlost  $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlosti posuvu  $4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a úhlu čela  $25^\circ$ . Pokud ovšem vezmeme v potaz váhu časové náročnosti, kdy nám změna přinese dvakrát kratší dobu obrábění, pak nám vychází nejlépe varianta řezné rychlosti  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlosti posuvu  $8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a úhlu čela  $25^\circ$ .

Dále si vyhodnotíme drsnost (viz graf 8). Vychází nám nejlépe dvě velmi podobné hodnoty, a to v kombinacích  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlosti posuvu  $11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , úhlu čela  $25^\circ$  a řezné rychlosti  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlosti posuvu  $8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , úhlu čela  $20^\circ$ . Nejhůře dopadla varianta s řeznou rychlostí  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlostí posuvu  $11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a úhlem čela  $15^\circ$ .



Podávací rychlost (m/min): 4      Podávací rychlost (m/min): 8      Podávací rychlost (m/min): 11

Graf 7 Kombinace řezné rychlosti, rychlosti posuvu a úhlu čela a jejich vliv na výslednou vlnitost



Podávací rychlost (m/min): 4      Podávací rychlost (m/min): 8      Podávací rychlost (m/min): 11

Graf 8 Kombinace řezné rychlosti, rychlosti posuvu a úhlu čela a jejich vliv na výslednou drsnost

Výsledky nám tedy ukazují, že pokud budeme chtít dosáhnout kompromisu nejlepších výsledných hodnot, vychází nám nejlépe pro oba atributy varianta  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , rychlosti posuvu  $4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a úhlu čela  $25^\circ$ . Pokud však budeme chtít zvýšit rychlost posuvu alespoň na  $8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , pak nám vychází varianta s použitím rezné rychlosti  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a úhlu čela  $20^\circ$ .

## 6. ZÁVĚR

Záměrem teoretické části bylo informovat o problematice frézování, kvalitě obráběného povrchu a o tropické dřevině Iroko (*Milicia Excelsa*). Předním cílem této práce bylo zjistit, jak rozsáhlý vliv mají parametry frézování na výslednou kvalitu obráběného povrchu exotické dřeviny Iroko (*Milicia Excelsa*). Vzorky a jejich následné měření bylo provedeno v profesionálně vybavených laboratořích. Klíčovými výsledky tohoto měření byly především hodnoty kvality povrchu, tedy průměrné aritmetické úchyly vlnitosti a drsnosti. Úchyly byly ovlivněny nastavenými parametry frézování. Z vyhodnocení vyšlo najevo, že nejvíce ovlivňoval výslednou kvalitu povrchu úhel čela. Vzhledem k tomu, že v minulosti již proběhly podobné studie s jinými dřevinami, tento výsledek se dal očekávat.

Výsledné hodnoty nám přiblížily možnosti frézování, které se dají využít pro ideální kombinaci při frézování dřeviny Iroko (*Milicia Excelsa*), či jiné dřeviny s podobnými vlastnostmi. Tato práce může taktéž posloužit pro další výzkumy spojené ať už s tropickými, či domácími dřevinami.

## 7. CITOVANÁ LITERATURA

**ČSN 490231.** *Přidavky na opracování řeziva a přířezů řeziva, drsnost povrchu výrobků ze dřeva a na bázi dřeva.*

**ČSN EN 322.** *Dosky z dřeva: Zisťovanie vlhkosti.* PRAHA : Český normalizační institut.

**ČSN EN 323.** *Dosky z dřeva: Zisťovanie hustoty.* Praha: Český normalizační institut : autor neznámý.

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

**Broun, Jeremy. 1993.** *The Encyclopedia of Wood Working Techniques.* Vancouver : Running Press, 1993. 9781561382095.

**Bumbálek Bohumil, Oštádal Bohuslav. 1989.** *Drsnost povrchu.* Praha : SNTL, 1989. Sv. 1.

**Dixon, Stephen, a další. 2013.** *CABI Encyclopedia of Forest Trees.* 1. Wallingford : CABI Publishing, 2013. ISBN 9781780643588.

**Havránek, Karel. 1952.** *Strojní obrábění dřeva.* Praha : TPP, 1952.

**Houdek, Jaromír. 1953.** *Broušení dřeva.* Praha : SNTL, 1953. Sv. 1.

**Hrušková, Marie. 2017.** *Nejmohutnější stromy naší země.* Praha : Esence, 2017. ISBN 9788075492944.

**Janiček, František. 2000.** *Strojnictví: stroje a zařízení pro zpracování dřeva.* Praha : Sobotáles, 2000. Sv. 2.

**Kocman, Karel. 2011.** *Technologické procesy obrábění.* Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788072047222.

**Kvietková, Monika. 2015.** *Obrábění dřeva.* Praha : ČZU, 2015. Sv. 1. ISBN 9788021326040.

**Ligia Braz, Rondy Isaac a Sandra de Moura. 2017.** *The IROKO Tree.* 1. Stuttgart : Brasiversum and Lulu.com, 2017. ISBN 9781326906139.

**Liščan, J. 1996.** *Teória a technika spracovania dreva.* Zvolen : MATCENTRUM, 1996. ISBN 8096731564.

**Nutsch, Wolfgang a kolektiv. 2006.** *Příručka pro truhláře.* Praha : Europa-sobotáles s.r.o., 2006. Sv. 2. ISBN 9783808540121.

**Patříčný, Martin. 2016.** *Velká kniha o dřevě.* Ostrava : Fortuna Libri, 2016. ISBN 9788075460530.

**Piere, Douglas. 1993.** *Encyclopedia of wood (Art of Woodworking).* Oklahoma : Time-Life Books, 1993. ISBN 9780809499175.

**Prokeš, S. 1982.** *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva.* Praha : SNTL – nakladatelství technické literatury, 1982. ISBN 0483382.

**Rousek, M., a další. 2012b.** *Influence of technology milling on the surface quality of the selected wood.* Warasw : Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology, 2012b. ISSN 18985912.

**Siklienka, M. a Kminiak, R. 2013.** *Delenie a obrábanie dreva.* Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2013. ISBN 9788022826181.

**Thallon, R. 2010.** *Wood handbook - wood as an engineering material.* Oregon : Forest Products Research, 2010. ISBN 9781591241706.



**Tribe, Chris. 2017.** *Vše o práci se dřevem.* Praha : Slovart, 2017. ISBN 9788075293114.

**Vaňák, A. 2007.** *Technologie frézování: pracovní listy.* Šumperk : Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, 2007.