

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

Katedra zpracování dřeva



Vliv vybraných technicko – technologických a materiálových faktorů na energetickou náročnost při rovinném frézování

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Štefan Barcík, CSc.

Diplomant:

Tomáš Řehák

Praha 2009



Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra: zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: **Bc. Řehák Tomáš**
obor: **Dřevařské inženýrství**

Název tématu: **Vliv vybraných technicko – technologických a materiálových faktorů
na energetickou náročnost při rovinném frézování**

Název tématu v anglickém jazyce: **The influence of selected technical – technological
and material factors on energy output at plane milling.**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu
2. Teoretická východiska při řešení dané problematiky
3. Experimentální část :
 - a) vliv dřeviny na energetickou náročnost (řezný příkon) při rovinném frézování bukového dřeva s nepravým jádrem a bez nepravého jádra
 - b) vliv posunné a řezné rychlosti na řezný výkon při rovinném frézování bukového dřeva s nepravým jádrem a bez nepravého jádra
 - c) vliv úhlogeometrie nástroje na řezný výkon při rovinném frézování bukového dřeva s nepravým jádrem a bez nepravého jádra
3. Zhodnocení experimentálních výsledků
4. Model využití experimentálních výsledků v praxi





Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

Požgaj, A., Chovanec.D, Kurjatko.S, Babiak.M. : 1997 Štruktúra a vlastnosti dreva 2. vydanie, Nakladateľstvo Príroda, a.s., Bratislav, 1997, 485s.

Prokeš Stanislav : 1982 Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 19984 s.354 – 358. ISBN 04-833-82

Lisíčan, Josef a kolektiv : 1996 Teória a technika spracovania dreva. Zvolen : Mat centrum, 1996.s.486 – 511, s.102 – 104, ISBN: 80-967315 -6 -4

Buda a kol., Souček. Jan, Vasilko Karol : 1983 Bratislav, Teória obrabania, Státní nakladatelství technické literatury. Praha, 1983, ISBN 7789 – 14 - 6

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.

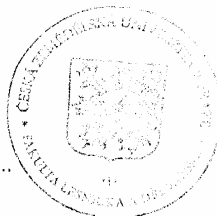
Konzultant diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce:

Termín odevzdání diplomové práce:

doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.

Vedoucí katedry



Prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Děkan

V Praze dne

Zadání diplomové práce

Abstrakt

Práce je zaměřená na poukázání rozdílů v energetické náročnosti při frézování bukového dřeva s nepravým jádrem a bez nepravého jádra, při různých technologických podmínkách, v závislosti na řezné rychlosti, rychlosti posuvu a různých geometriích nástroje.

Klíčová slova:

Buk, nepravé jádro buku, frézování, řezný výkon, energetická náročnost frézování.

Abstrakt

This work is focused on pointing out differences on energy severity in milling of heart beech and but for heart beech, in various technological conditions, in dependence on cutting speed, feed speed and various geometry apparatus.

Key words:

Beech, heart beech, milling, cutting power, energy severity in milling.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně za použití uvedené odborné literatury.

V Praze dne 30. dubna 2009

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Štefanu Barčíkovi Csc. za studijní materiály týkající se diplomové práce, za odbornou pomoc, a za jeho čas při řešení této diplomové práce. Dále děkuji Ing. Martinu Böhmovi Ph.D. za pomoc v oblasti statistického vyhodnocení dat

Dále bych chtěl poděkovat všem kteří mi poskytli rady a pomoc při řešení této diplomové práce.

Obsah

Abstrakt	IV
Abstrakt	V
Prohlášení	VI
Poděkování	VII
Obsah	VIII
Seznam obrázků	XI
Seznam tabulek	XIII
Seznam příloh	XIV
Úvod.....	15
Cíl práce.....	16
1. Současný stav	17
1.1. Stavba jádra dřevin	17
1.2. Pravé jádro, nepravé jádro	17
1.2.1. Pravé jádro.....	17
1.2.2. Nepravé jádro	18
1.3. Dřevo Buku lesního.....	18
1.3.1. Makroskopické znaky.....	18
1.3.2. Mikroskopické znaky	19
1.3.3. Fyzikální vlastnosti.....	19
1.3.4. Mechanické vlastnosti.....	20
1.4. Nepravé jádro u buku.....	20
1.4.1. Makroskopické znaky bukového jádra	20
1.4.1.1. Tvar jádra	21
1.4.2. Mikroskopické znaky bukového jádra	22
1.4.2.1. Obsah buněk v bělovém dřevě.....	22
1.4.2.2. Anatomická charakteristika bukového jádra	22
1.4.2.3. Vlastnosti bukového jádra	24
1.5. Frézování	24
1.5.1. Dělení procesu frézování	25
1.5.2. Kinematické zákonitosti rovinného frézování	28

1.6.	Řezný výkon.....	32
1.6.1.	Metody měření řezného výkonu.....	33
1.6.1.1.	První metoda	33
1.6.1.2.	Druhá metoda.....	34
1.6.1.3.	Třetí metoda	35
1.6.2.	Způsob výpočtu řezné výkonu	36
1.6.2.1.	Technologicko – fyzikální	36
1.6.2.2.	Empiricko – statisticky	37
1.6.3.	Vliv různý činitelů na energetickou náročnost frézování	38
1.7.	Kvalita řezného procesu.....	39
1.7.1.	kvalita frézovaného povrchu	40
2.	Metodika.....	42
2.1.	Příprava vzorků	42
2.2.	Stanovení hustoty a vlhkosti materiálu	43
2.3.	Měření řezného výkonu.....	43
2.3.1.	Charakteristika spodní frézky s podávacím zařízením.....	45
2.3.2.	Charakteristika řezného nástroje	47
3.	Výsledky a vyhodnocení.....	50
3.1.	Hustota bukového dřeva	50
3.2.	Řezný příkon	52
3.2.1.	Vliv materiálu na řezný příkon.....	52
3.2.2.	Vliv podávací rychlosti na řezný příkon.....	58
3.2.3.	Vliv řezné rychlosti na příkon	63
3.2.4.	Vliv úhlu čela na příkon.....	67
4.	Shrnutí.....	72
4.1.	Hustota.....	72
4.2.	Řezný příkon	72
4.2.1.	Druh materiálu	72
4.2.2.	Podávací rychlost.....	72
4.2.3.	Řezná rychlost	73
4.2.4.	Úhel čela.....	73
5.	Přínos pro praxi a vědu	74

6. Závěr.....	76
7. Seznam použité literatury.....	77

Seznam obrázků

obr. 1 Barevný rozdíl nepravého jádra	20
obr. 2 Kinematické varianty frézování a) nesousledné, b) sousledné ¹²	25
obr. 3 Hlavní druhy frézování	27
obr. 4 Způsoby frézování podle polohy osy otáčení a podle tvaru plochy, kterou opisují břity nástroje	28
obr. 5 Prvky teoretického výpočtu tloušťky a délky třísky	29
obr. 6 Prvky a profil třísky odfrézované válcovou frézou ¹⁷	29
obr. 7 Vyčnívání řezné hrany z nožové hlavy	31
obr. 8 Měřicí zařízení A/D převodník.....	34
obr. 9 Části měřicího zařízení ²¹	34
obr. 10 Snímače kroutícího momentu	35
obr. 11 Měřicí zařízení METREL Power Q plus MI 2392 + schéma zapojení	36
obr. 12 Vysušené zkušební vzorky před dalším opracováním	42
obr. 13 Konečné zkušební vzorky	43
obr. 14 Pohled na spodní frézku s podávacím zařízením	46
obr. 15 Podávací zařízení STEFF	47
obr. 16 Frézovací hlava s naznačenými základními parametry	47
obr. 17 Jednotlivé frézovací hlavy	48
obr. 18 Bodový graf hustoty	51
obr. 19 Analýza rozptylu pro závislost hustoty na materiálu	51
obr. 20 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na materiálu	52
obr. 21 Bodový graf řezného příkonu při různých materiálech	53
obr. 22 Závislost řezného příkonu na druhu dřeva	54
obr. 23 Graf analýzy rozptylů vyjadřující vliv podávací rychlosti, řezné rychlosti a úhlu čela na řezný příkon	57
obr. 24 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na podávací rychlosti	58
obr. 25 Bodový graf řezného příkonu při různých podávacích rychlostech	59
obr. 26 Závislost řezného příkonu na podávací rychlosti	60
obr. 27 Závislost řezného příkonu na podávací rychlosti při různých variantách úhlu čela.....	61

obr. 28 Závislost řezného příkonu na podávací rychlosti při různých variantách řezné rychlosti	61
obr. 29 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na řezné rychlosti	63
obr. 30 Bodový graf řezného příkonu při různých řezných rychlostech	64
obr. 31 Závislost řezného příkonu na řezné rychlosti	64
obr. 32 Závislost řezného příkonu na řezné rychlosti při různých variantách podávací rychlosti	65
obr. 33 Závislost řezného příkonu na řezné rychlosti při různých variantách úhlech čela	65
obr. 34 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na úhlu čela	67
obr. 35 Bodový graf řezného příkonu při různých úhlech čela	68
obr. 36 Závislost řezného příkonu na úhlu čela	69
obr. 37 Závislost řezného příkonu na úhlu čela při různých variantách podávací rychlosti	69
obr. 38 Závislost řezného příkonu na úhlu čela při různých variantách řezné rychlosti	70
obr. 39 Naměřené hodnoty pro buk bez nepravého jádra	IV
obr. 40 naměřené hodnoty pro buk s nepravým jádrem	VI

Seznam tabulek

tab. 1 Hustota zkoušeného dřeva při vlhkosti zkoušeného dřeva.....	50
tab. 2 Statistická tabulka materiálu.....	53
tab. 3 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na dřevině při různých variantách podávací rychlosti, řezné rychlosti, úhlu čela	56
tab. 4 Tabulka pro společné hodnoty materiálů.....	56
tab. 5 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na podávací rychlosti, řezné rychlosti a úhlu čela	56
tab. 6 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně podávací rychlosti při různých variantách řezné rychlosti	62
tab. 7 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně podávací rychlosti při různých variantách úhlu čela	62
tab. 8 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně řezné rychlosti při různých variantách podávací rychlosti	66
tab. 9 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela.....	66
tab. 10 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně úhlu čela při různých variantách podávací rychlosti.....	70
tab. 11 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně úhlu čela při různých variantách řezné rychlosti.....	71
tab. 12 Měření hustoty buku bez nepravého jádra	I
tab. 13 Měření hustoty buku s nepravým jádrem	II
tab. 14 Tukeyův test dřevin	VII
tab. 15 Statistické shrnutí	VII
tab. 16 Výsledky vícenásobné regrese	VII
tab. 17 Průměrné příkony při různých podmínkách.....	VIII

Seznam příloh

Příloha I Měření hustoty buku bez nepravého jádra.....	I
Příloha II Měření hustoty buku s nepravým jádrem.....	II
Příloha III Naměřené hodnoty příkonu P [W] pro buk bez nepravého jádra	IV
Příloha IV naměřené hodnoty příkonu P [W] pro buk s nepravým jádrem.....	VI
Příloha V Tukeyův test dřevin	VII
Příloha VI Statistické shrnutí	VII
Příloha VII Výsledky vícenásobné regrese.....	VII
Příloha VIII Průměrné příkony při různých podmínkách	VIII

Úvod

Při snaze využití co nejvíce dřevní hmoty stromu na nejcennější sortimenty se hledá vyšší použití pro kmeny s některými vadami, jako jsou nepravé jádro a zamodráná borovice. Nepravé jádro se celoevropsky nejvíce vyskytuje u buku, který je také hospodářsky nejužívanější listnatou dřevinou.

Některé evropské regiony vytvořily pracovní skupiny sestavené z pilařů, nábytkářů a stolařů, architektů – interiérů, kteří se snaží dosáhnout společného cíle, kterým je zlepšit tržní uplatnění jádrového buku (buku s nepravým jádrem). Aktivitu orientují především na produkci exkluzivního nábytku.

Dnes, kdy se snažíme navracet lesům jejich původní vzhled. Tedy přecházíme od intenzivní monokulturou smrku dříve preferovaného hospodářství k zakládání smíšených hercynských lesů. Tyto lesy sice nemají takovou objemovou produkci jako monokultury, avšak mají nedocenitelnou ekologickou funkci. S tímto souvisí i obmýtní doba porostu která se prodlužuje, a tím se zvyšuje riziko výskytu nepravého jádra u buku.

Při dnešních cenách elektrické energie a při tempu jejího růstu se dostává do popředí otázka energetické náročnosti výroby. Frézování, jakož to i ostatní obrábění dřevěného materiálu je na elektrické energii výhradně závislé.

Účelem této diplomové práce je zjistit při jakých technicko – technologických podmínkách bude nejpříznivější klasifikace energetické náročnosti.

Cíl práce

Základním cílem diplomové práce je posouzení vhodnosti různých technicko – technologických parametrů na energetickou náročnost frézování bukového dřeva bez nepravého jádra a s nepravým jádrem.

Částečné cíle:

K naplnění hlavního cíle vedli následující částečné cíle:

1. zjistit hustotu zkoušeného materiálu
2. experimentálně zjistit příkon stroje při různých úhlech čela nástroje
3. experimentálně zjistit příkon stroje při různých řezných rychlostech
4. experimentálně zjistit příkon stroje při různých podávacích rychlostech
5. vyhodnotit měření řezného příkonu

1. Současný stav

1.1. Stavba jádra dřevin

Po vytěžení stromů jsou na příčném řezu kmenem u různých dřevin patrné jednobarevné, nebo ve středu a po obvodě kmene různě barevné zóny. Podle charakteru a rozmístění barevných zón na vytěženém kmenu se dřeviny obvykle dělí na – bělové, s vyzrálým dřevem, jádrové.

Bělové dřeviny – po vytěžení a vyschnutí mají po celém příčném průřezu kmenem jednobarevnou zónu. U těchto dřevin není výrazný rozdíl mezi vlhkostí středové a obvodové části.

Dřeviny s vyzrálým dřevem – na čerstvě vytěžené kulatině mají po obvodu pás tmavšího dřeva – běl. Bělová část kmene je tmavší z důvodu vyššího obsahu vody než ve středové části. Po vyschnutí se barevný rozdíl mezi oběmi zónami ztratí.

Jádrové dřeviny – ve středu kmene mají výrazně tmavě zbarvenou zónu – jádro, a po obvodě světlejší zónu – běl. Jádro středoevropských dřevin již neobsahuje živé buňky a jeho vodivé elementy jsou u některých dřevin uzavřené. Změnu barvy jádra u jádrových dřevin způsobují jádrové látky¹

1.2. Pravé jádro, nepravé jádro

1.2.1. Pravé jádro

Vnitřní část kmene, obvykle tmavěji zbarvená, bývá výrazně makroskopicky odlišena od vnější světlejší běli. Pravé jádro nemá po obvodu zřetelnou hraniční čáru, obvykle má pravidelný tvar a plynule se zvětšuje. Na rozdíl od běli neobsahuje živé parenchymatické buňky a jeho vodivé prvky (tracheje, tracheidy) jsou převážně pro vodu neprůchodné. Jádro se pokládá za fyziologicky mrtvou tkáň, která ztratila vodivou funkci, zvyšuje však stabilitu kmene. Neprůchodnost

¹ Šlezingerová, J. a kol.: *Nauka o dřevě*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. 184 s.

vodivých elementů způsobuje jejich ucpání thyly a jádrovými látkami. Hranice mezi bělí a jádrem je buď náhlá, nebo pozvolná.

Jádrové látky mají vliv na odolnost proti houbám (zvyšují ji), mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti dřeva. Fyziologicky aktivní jádrové látky ve stopách působí toxicky.

Vznik jádra charakterizujeme jako proces zjadernění. U listnáčů se tím rozumí přirozené odumírání dřevního parenchymu stárnutím. Věková hranice, kdy živé parenchymatické buňky vlivem snižování osmotické hodnoty jsou náchylné k tvorbě thyl, je proměnlivá. Záleží na působení vnějších podmínek biotických a abiotických.²

1.2.2. Nepravé jádro

U některých listnatých dřevin se jádro netvoří jako charakteristický znak druhu, ale vzniká v důsledku porušení fyziologických pochodů za určitého vlivu abiotických a biotických činitelů. Nepravé jádro vzniká zpravidla u dřevin s vyvrálým dřevem (ale i u jádrových) a je řazeno do vad dřeva. Je to tmavěji zbarvená zóna okrouhlého nebo pestře členitého tvaru s výraznou hraniční čarou.

Počátek tvorby jádra je u každého druhu jiný. Záleží na areálu, stanovištních podmínkách, věku jedince, postavení stromu v porostu a tvaru koruny.

Nepravé jádro se vyskytuje v zóně vyvrálého dřeva u dřevin s roztroušeně pórovitou stavbou dřeva – buk, bříza, olše, javor aj.

1.3. Dřevo Buku lesního

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) náleží do řádu *Fagales*, čeledi *Fagaceae*. Roste v Evropě, s výjimkou Skandinávie a stepí východní Evropy.

1.3.1. Makroskopické znaky

Dřevo bez zřetelného tmavšího jádra, celkové zbarvení má pleťově růžové. Po skácení má typické znaky pro dřeviny s vyvrálým dřevem. Patří do skupiny

² Šlezingerová, J. a kol.: *Nauka o dřevě*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. 184 s.

roztrošeně pórovitých dřevin, cévy jsou pouhým okem nezřetelné. Dřeňové paprsky jsou široké, světlé přímky, paprscitě se rozbíhající od dřeně kolmo na letokruhy. Na radiálním řezu jsou viditelné jako světlá zrcátka hustě nad sebou rozložená a na tangenciálním řezu jako temnější, nahnědlé čárky.³

1.3.2. Mikroskopické znaky

Tracheje jsou velmi četné a hustě seřazené, ojediněle nebo po dvou až šesti ve skupinkách. Širší cévy mají v jarní části letokruhu jednoduchou perforaci, užší cévy v pozdním dřevě mají žebříčkovitou perforaci. Stěny cév jsou řídké tečkované, a jen na styku stěn s dřeňovými paprsky jsou tečky hojnější, a jsou poměrně velké. Dřeňové paprsky jsou značně široké a vysoké a jsou ve dvou různých velikostech. Některé z nich jsou jednovrstvé, a menší počet je mnohovrstvých, složených z parenchymatických buněk poměrně tlustostěnných. Na hranici letokruhu jsou vždy rozšířené. Dřevo obsahuje velmi četné vláknité tracheidy, které tvoří přechod k libriformním vláknům. Dřevní parenchym doprovází tracheje i tracheidy a je bohatě rozptýlen mezi dřevní vlákna. Skládá se z protáhlých buněk, drobně tečkovaných, s příčnými stěnami často šikmými.³

1.3.3. Fyzikální vlastnosti

Mezi nejdůležitější vlastnosti dřeva patří hustota dřeva. Na hustotě závisí všechny ostatní fyzikální a mechanické vlastnosti a je užijícím parametrem při použití dřeva. Hustota bukového dřeva se udává 540 – 720 – 910 kg.m⁻³.⁴

Další důležitou fyzikální vlastností pro technologické použití je objemové sesychání. Pro bukové dřevo byly zjištěny hodnoty 14,0 – 17,9 – 21,0%.⁴

³ Balabán Karel.: *Nauka o dřevě - Anatomie dřeva*, SZN Praha, 1955, 216 s.

⁴ Wagenführ Rudi. *Dřevo – obrazový lexikon*. Grada Praha, 2002. 348 s.

1.3.4. Mechanické vlastnosti

Mezi nejvýznamnější mechanické vlastnosti patří pevnost v tlaku a pevnost v ohybu. Tyto pevnosti jsou pro technologické použití bukového dřeva, a nejen jeho, zásadní.

Hodnoty těchto vlastností pro bukové dřevo jsou: pevnost v tlaku 41 – 62 – 99 MPa, pro pevnost v ohybu 74 – 123 – 210 MPa.⁵

1.4. Nepravé jádro u buku

Buk je jednou ze dřevin které mají sklon k tvorbě nepravého jádra. Buk ve střední Evropě tvoří jádro až od šedesáti let stáří.⁶

1.4.1. Makroskopické znaky bukového jádra

Vedle jader jednoduchých, která se dají přirovnat k jádru (např. dubu), se vyskytují, a to dosti často případy kdy je možno pouhým okem rozeznat na příčných řezech jader, vnitřní kresby. Ani na podélných řezech je nelze přehlédnout, zde však probíhají více nebo méně rovnoběžně s osou kmene. Podle makroskopického charakteru jsou jádra s vnitřní kresbou vlastně soubory jader jednoduchých. Proto se označují jako jádra složená.

Barva bukového jádra je složena z mnoha odstínů laděných do červena nebo do hněda. Za základní barvu se dá považovat červenohnědá(obr. 1.).



obr. 1 Barevný rozdíl nepravého jádra

⁵ Wagenführ Rudi. *Dřevo – obrazový lexikon*. Grada Praha, 2002. 348 s.

⁶ Nečesaný Vladimír. *Jádro buku – struktura, vznik a vývoj*. SAV, 1958. 231 s.

Vnitřní část jádra je obklopena hraničním pláštěm a tím izolovaná proti běli nebo u vnitřních pásem složených jader proti okolnímu jádrovému dřevu, což se považuje za důkaz individuality jednotlivých dílčích jader. Je charakteristické svým zbarvením, resp. odstínem. Odstín je pravidelný v rámci téže vnitřní části stejný, je známkou, že pokud se nezměnila tvrdost, tak nenastal rozklad buněčných stěn. Pokud je dřevo měkké tak, že se v něm utvoří rýha od nehtu, je to známka hniloby.

Hraniční čára je výrazné ohraničení jádra proti okolnímu dřevu. Jejich barva bývá od hnědočerné a červenohnědé až po odstíny šedozelené. Hraniční čára se objevuje postupem sušení, u čerstvě skácených kmenů chybí. Hraniční čáry jádra by se neměly zaměňovat s hraničními čarami hniloby, které jsou tenké a výrazně černé.⁷

Okrajová část kmene buku - běl, je světlá, nikoliv bílá, po skácení se jeví jako žlutobílá, postupem vysychání se barva mění v růžově nebo okrově bílou až okrovou. Nedojde-li k pozvolné oxidaci, např. při rychlém vysoušení, změní se žlutobílé zbarvení čerstvé bukové běli v lehce růžově bílé.

Barva bukového jádra je různá, z mnoha barevných odstínů a tónů jsou téměř všechny laděny do červena nebo do hněda. Za základní barvu se dá považovat červenohnědá, což je barva tzv. zdravého jádra. Tím se rozumí barva těsně po skácení, oxidací se zbarvení stává méně zřetelným a šedne. Přechodné odstíny částí jader složených a mrazových se označují jako žlutohnědé.

Pařením se zbarvení jader zesiluje do okrově červeného tónu. U dřeva s méně výrazným jádrem může nastat vyrovnání okrové barvy u běli a jádra. Na čelních řezech kulatinou nastává vlivem povětrnosti a přítomností plísní zbarvení tmavší. Naopak jádra s nižší vlhkostí a delším oxidačním působením vzduchu a vymýváním deštěm blednou a jsou světlejší než stará vyschlá běl.⁷

1.4.1.1. Tvar jádra

A) Okrouhlá jádra

- jednoduché jádro s jednou jednobarevnou zónou, víceméně okrouhlého tvaru, barva plochy jádra je světle červenohnědá až světlehnědá.

⁷ Nečesaný Vladimír. *Jádro buku – struktura, vznik a vývoj*. SAV, 1958. 231 s.

- dvojité jádro skládající se ze dvou nebo více okrouhlých červenohnědých ploch, uložených koncentricky.
- mramorovité (mozaikovitě) jádro složené z různého množství nepravidelně okrouhlých jader, zřetelně odlišených hraniční čarou.

B) Paprskovitá jádra

- hvězdicovitá jádra jsou okrouhlého tvaru s hvězdicovitými výběžky směrem k obvodu.
- plamencovitá jádra jsou excentricky uložená jednoduchá jádra s výběžky, které směřují radiálně podél dřeňových trhlin.⁸

1.4.2. Mikroskopické znaky bukového jádra

1.4.2.1. Obsah buněk v bělovém dřevě

Většina buněk bukového bělového dřeva postrádá mikroskopicky pozorovatelný obsah. Jenom ve dřevě z letního nebo podzimního kácení jsou v buňkách dřeňových paprsků a dřevního parenchymu obsažena škrobová zrna. Dřevo ze zimní a jarní těžby škrob postrádá. Kromě škrobu jsou v parenchymatických buňkách ne příliš často obsaženy krystaly šťavelanu vápenatého.

Přítomnost škrobu je důkaz, že buňky byly při kácení stromu živé. Živé buňky se neomezují jen na nejmladší letokruhy, ale zasahují i značně hluboko. Byla zjištěna škrobová zrna ještě v 70. letokruhu od kambia.⁶ Od obvodu kmene směrem do středu škrobu ubývá.

Škrobová zrna nejsou stejně obsažena ve všech buňkách dřeňového paprsku. Soustřeďují se v buňkách, které jsou v bezprostřední blízkosti cév a nemají vyvinuty široké oválné tečky.⁸

1.4.2.2. Anatomická charakteristika bukového jádra

Jádrové dřevo buku se od bělového moc neliší. Jadernění je druhotným jevem, vznikajícím uvnitř kmene ve dřevě již dávno vytvořeném. Jde-li o buněčnou stavbu, není mezi bělím a jádrem, obecně u všech dřevin s vyzrálým

⁸ Nečesaný Vladimír. *Jádro buku – struktura, vznik a vývoj*. SAV, 1958. 231 s.

dřevem, žádný rozdíl. Teprve když dřevo napadnou dřevokazné houby, změní se již existující struktura. Potom již se nemluví o jádře, ale o hnilobném jádře, ovšem pokud hniloba zasáhne jenom jádrové dřevo.

Nelze očekávat, že jádro tak makroskopicky odlišné od bělí se neprojevílo mikroskopickými změnami ve dřevě. Rozhodující jsou sekundárně vzniklé útvary v buněčných dutinách: thyly v cévách a shluky jádrových látek v parenchymatických buňkách. Přítomnost thyl a jádrových látek se považuje vedle makroskopického zbarvení za závazné mikroskopické znaky bukových jader.⁹

Dalším podstatným mikroskopickým znakem bukového jádra jsou jádrové látky. Jsou to zrnité nebo kompaktní tmavě zbarvené útvary vyskytující se v parenchymatických buňkách. Synonymem jádrových látek jsou "dřevní gummy", tvořící se v zapařeném jádrovém dřevě. Jsou podstatněji zastoupeny v dřevňových paprscích v místě průchodu letním dřevem. Hranici letokruhu lze tak snadno určit právě podle výrazného rozdílu v obsahu buněk. Ve světle zbarvených jádrech je jádrovými látkami vyplněna jen část paprsku, v tmavých jádrech obsahuje jádrové látky většina buněk paprsku.

Jádrové látky pronikají i do buněk, ze kterých se vytvořily thyly, případně pronikají i do cév. Pronikají sem nejspíš v tekutém stavu, takže tvoří pouze povlak, nikdy však nevyplňují cévy úplně. Jádrové buňky nejdříve vyplňují dřevňové paprsky a posléze dřevní parenchym. V době, kdy jsou jádrové látky v dřevním parenchymu zřetelně vyvinuty, jsou jimi dřevňové paprsky dokonale zaplněny. Jádrové buňky se mohou ještě dostat do vláknitých buněk.⁹

Vzhled jádrových buněk nelze v celé šíři jednoznačně definovat pro značnou tvarovou rozmanitost. Jediným společným znakem je jejich žlutá až červenohnědá barva. Tvarem jsou to někdy kapkovité až zrnkovité útvary, jindy působí jako amorfní hmoty nepravidelně vyplňující lumina buněk, někdy mají vzhled hmoty se zrnitou strukturou. V buňkách hraničních čar se vytvářejí nepravidelné měchýřkovité útvary, které nesmíme zaměňovat s thylami.

Jádrové látky jako hmota se zrnitou strukturou můžeme zjistit v dobře vybarvených jádrech v paprskovitém parenchymu, ale ještě častěji v dřevním

⁹ Nečesaný Vladimír. *Jádro buku – struktura, vznik a vývoj*. SAV, 1958. 231 s.

parenchymu. Často je nacházíme vedle souvislé zrnité hmoty ve stavu rozpadajícím se na drobná zrníčka.

V cévách jsou jádrové látky vázány jako amorfni nebo nepravidelná zrnitá hmota především na blány thyl, často se však dostávají i mimo ně a lpí pak většinou na stěnách cév. Tu pak tvoří nesouvislý povlak těžko definovaného vzhledu.¹⁰

1.4.2.3. Vlastnosti bukového jádra

Fyzikální, mechanické a technologické vlastnosti bukového jádra neprojevují žádné rozdíly od bukového vyvrátého dřeva. Vlastnosti jádra a vyvrátého dřeva se mohou prezentovat jako téměř srovnatelné.

Při některých zkouškách se prokázaly vyšší pevnostní a tuhostní vlastnosti u jádrového dřeva. A to především v surovém stavu. V tomto stavu se také prokázala vyšší Brinellova tvrdost. Také bylo prokázáno nižší bobtnání jádrového dřeva.¹¹

1.5. Frézování

Frézováním nazýváme činnost při obrábění materiálu otáčejícími se nástroji (frézou, frézovací hlavou) při kterém se nominální tloušťka třísky mění během záběru od nuly do $h_{f\ max}$ (frézování nesousledné), nebo od $h_{f\ max}$ do nuly (frézování sousledné), a posuv je konán ve směru kolmém na osu otáčení nástroje.¹² Frézováním se získává kvalitní hladký povrch, přesné rozměry obrobku, rovinná nebo tvarovaná plocha. Vzhledem k rotačnímu pohybu řezné hrany a přímočarému rovnoměrnému pohybu obrobku je výsledný pohyb řezné hrany tvoří cykloidu.¹¹

¹⁰ Nečesaný Vladimír. *Jádru buku – struktura, vznik a vývoj*. SAV, 1958. 231 s.

¹¹ Evelyn Pöhler, Abt. *Rotkernige Buche – Technologische Eigenschaften, Verklebungsverhalten und Farbbeständigkeit*. Zürcher Wald 6/2005, 16 – 20 s.

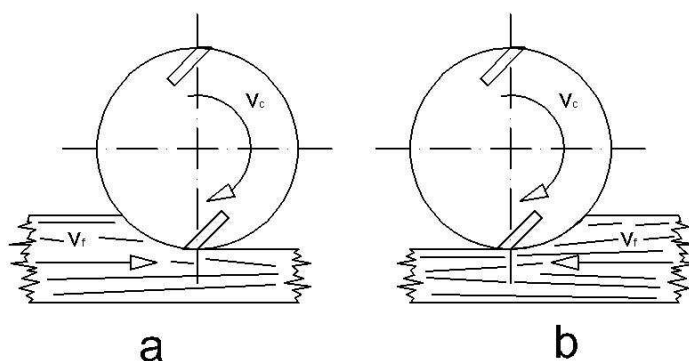
¹² Prokeš Stanislav. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. Praha SNTL, 1965. 369 s. ISBN 04-806-65

1.5.1. Dělení procesu frézování

Základní dělení procesu frézování je podle směru otáčení frézovacího nástroje, zde mluvíme o frézování souběžném (obr. 2b), kdy se nástroj pohybuje ve směru posuvu a o frézování nesouběžném (obr. 2a), kdy se nástroj otáčí proti směru posuvu.

Dále se proces frézování dělí na čtyři *základní způsoby*.¹³

- Rovinné (srovnávání, tloušťkování)
- Úhlové frézování (frézování úhlovou frézou)
- Profilovací (frézování tvarovou frézou)
- Speciální (např. frézování reliéfu apod.)



obr. 2 Kinematické varianty frézování a) nesousledné, b) sousledné¹²

Srovnáváním nazýváme vytvoření jedné rovny plochy na křivém dílci, podle kterého se dílec v následující operaci frézování opracuje na přesnou tloušťku (obr. 3a).

Tloušťkování je operace následující za operací srovnávání jedné křivé plochy dílce, kterou se dílec položí na stůl a nožová hřídel posazená nad stolem

¹³ Lisičan, Jozef a kol.: *Teória a technika spracovanie dreva*. Zvolen: Mat centrum, 1996, 102 s ISBN 80-967315-6-4

ofrézuje protější rovnoběžnou plochu a zkalibruje ho na požadovanou tloušťku (obr. 3b).

Na rovinné frézování se používají nejčastěji válcové nožové hlavy a frézovací kotouče, ale frézování je možné také vykonávat pomocí kónických nožových hlav, čelními frézami nebo frézami stopkovými.

Zakřivené plochy na obrobku je možno frézovat jeho vedením okolo kotoučové frézy pomocí šablony a kopírovacích kroužků upevněných na hřídeli. Křivého tvaru na ploše lze také dosáhnout vedením dílce se šablonou okolo nožového válce a nakláněním zadního stolu na rovinné frézce.

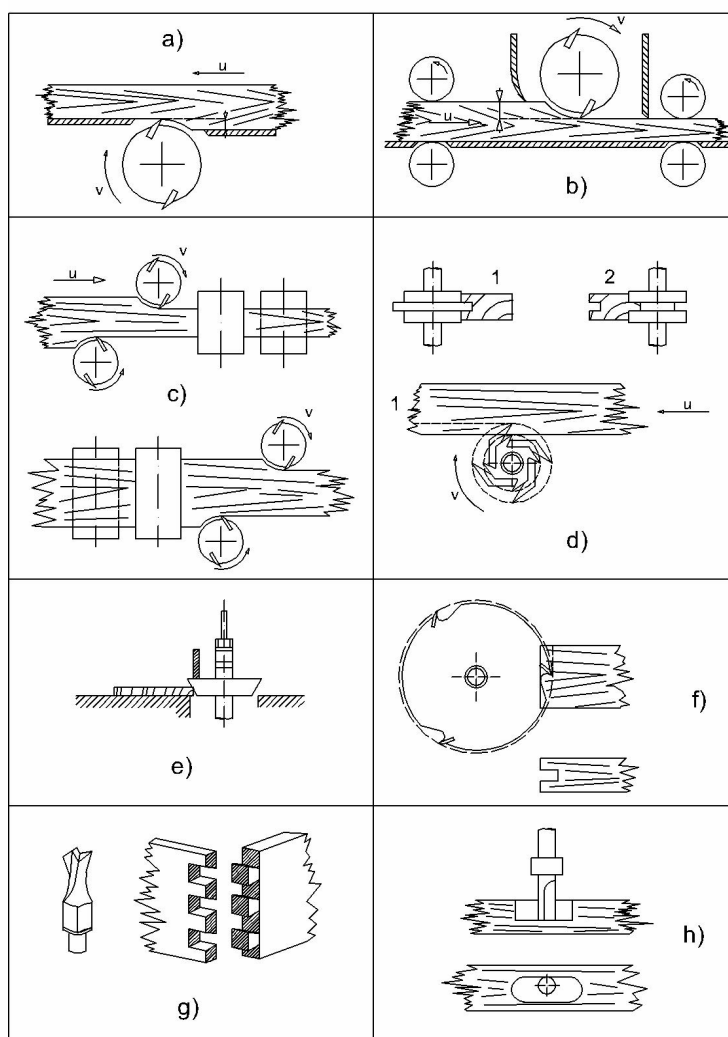
Různé profily na dílci se dosahují kotoučovými frézami s tvarovanými řeznými hranami na frézovacím noži. Jednoduché tvary se dají frézovat úpravou jednoduchých fréz, nebo stopkovými profilovacími frézami.

Při speciálním frézování, např. vytváření reliéfů se používají pouze stopkové frézy.

Způsoby frézování podle polohy osy otáčení a podle tvaru trajektorie kterou při frézování opisují břity nástroje¹⁴

- Válcové frézování – osa otáčení nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou a břity nástroje opisují válcovou trajektorii (obr. 4a).
- Kuželovou – osa otáčení nástroje je sklopená pod určitým úhlem k obráběné ploše, břity opisují kuželovou trajektorii. Princip oddělování třísek je stejný jako u válcového frézování (obr. 4b).
- Čelní frézování – osa otáčení nástroje je kolmá k obráběné ploše, břity opisují válcovou trajektorii. Boční pracují na principu válcového frézování, to přibližně kolmo ke směru vláken, čelní břity jsou rovnoběžné s odvodovým povrchem. Tento způsob se používá u některých tvarových a stopkových fréz (obr. 4c).
- Čelní kuželové frézování – osa rotace nástroje je kolmá k obráběnému povrchu, na rozdíl od předchozího způsobu jsou břity skloněné k obráběnému povrchu pod určitým úhlem (obr. 4d).

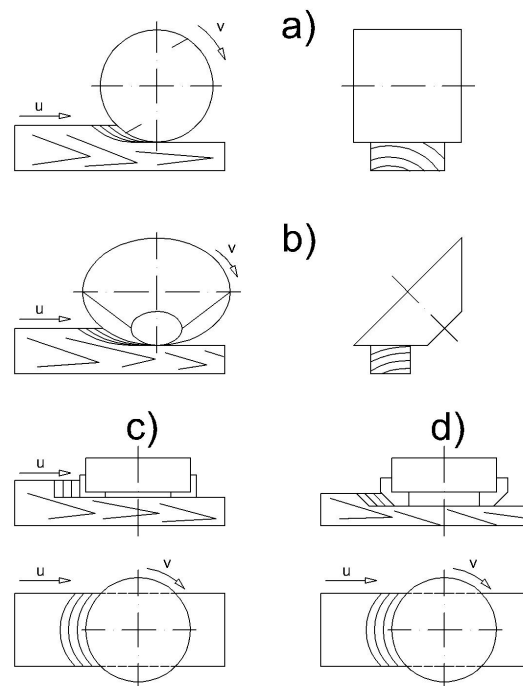
¹⁴ Prokeš, Stanislav: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982, s. 354 – 358, ISBN 04-833-82



obr. 3 Hlavní druhy frézování¹⁵

a) srovnávání, b) tloušťkování, c) dvoustranné frézování d) frézování (1) pera a (2) drážky, e) frézování úhlovou frézou, f) čepování, g) frézování stopkovou frézou, h) frézování vrchní frézou

¹⁵ Prokeš Stanislav. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha SNTL, 1965. 369 s
 ISBN 04-806-65



obr. 4 Způsoby frézování podle polohy osy otáčení a podle tvaru plochy, kterou opisují břity nástroje ¹⁶

1.5.2. Kinematické zákonitosti rovinného frézování

Při konstantní řezné rychlosti a podávací rychlosti má zaznamenaný pohyb řezné hrany tvar cykloidu. Skutečný tvar pohybu řezné hrany se od nominálního tvaru může lišit. Odlišnosti nasávají při otupení břitu, nepřesnosti chodu vřetena, nepravidelnosti chodu podávacího zařízení, odchylkami břitů od řezné kružnice, odštipováním nebo nesourodosti hmoty obrobku. ¹⁷

¹⁶ Prokeš, Stanislav: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982, s. 354 – 358, ISBN 04-833-82

¹⁷ Prokeš Stanislav. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha SNTL, 1965. 369 s ISBN 04-806-65

Řezná rychlost

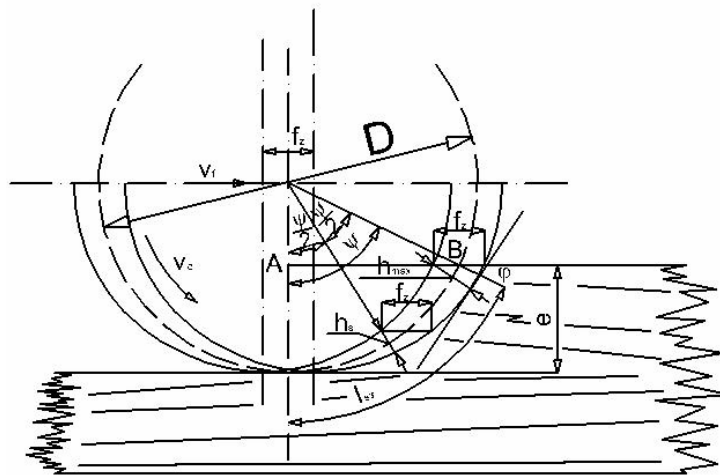
$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

D – průměr nástroje [mm]

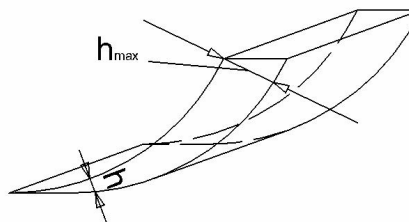
n – počet otáček [min^{-1}]

Tvar a rozměry třísky

Velikost třísky je proměnlivá od $h_f = 0$ do $h_{f \max} < f_z$, vztah pro velikost třísky vyplývá z obr. 5.



obr. 5 Prvky teoretického výpočtu tloušťky a délky třísky¹⁸



obr. 6 Prvky a profil třísky odfrézované válcovou frézou¹⁷

¹⁸ Lisičan, Jozef a kol.: *Teória a technika spracovanie dreva*. Zvolen: Mat centrum, 1996, 102 s ISBN 80-967315-6-4

$$\frac{h_{f \max}}{f_z} = \sin \psi \quad h_{f \max} = f_z \cdot \sin \psi$$

$$h_{f \max} = \frac{2 f_z}{D} \cdot \sqrt{e(D - e)} \quad [\text{mm}]$$

$h_{f \max}$ – maximální velikost třísky (obr. 6.)

f_z – posuv dílce na zub [mm]

ψ – středový úhel natočení řezné hrany rotujícího nástroje [°]

e – výška řezu [mm]

protože

$$f_z = \frac{v_f}{nz}$$

$$h_{f \max} = \frac{2 v_f}{D n z} \cdot \sqrt{e(D - e)} \quad [\text{mm}]$$

$$h_{f \text{ str}} = \frac{1000 v_f}{n z} \cdot \sqrt{\frac{e}{D}} \quad [\text{mm}]$$

z – počet břitů

v_f – rychlost posuvu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

$h_{f \text{ str}}$ – střední velikost třísky

n – frekvence otáček stroje [min^{-1}]

Délka třísky je daná délkou řezného oblouku a její znalost je potřebná při analýze řezné hrany. Břit je během jedné otáčky v záběru na délce l , která přísluší středovému úhlu $\psi' + \psi$.

$$b = b_2 + b_1 = R \arccos(\psi_2 + \psi_1) \quad [\text{mm}]$$

R – poloměr řezné kružnice [mm]

b – délka třísky

kde

$$\psi_2 = \arcsin \frac{v_f}{D} \arcsin \frac{\pi v_f}{60 v_c}; \psi_1 = \arccos \frac{R - e}{R}$$

v_c – řezná rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

Stanovení optimální posuvné rychlosti v_f a úběru e

$$v_f \leq \frac{h_{f \max} D n z}{2 \sqrt{e(D-e)}}$$

$$v_{f \max} = \frac{x n z}{1000} \quad [m \cdot \min^{-1}]$$

x – vyčnívání řezné hrany z tělesa nástroje [mm](obr. 7)

z – počet břitů

Posuv na otáčku

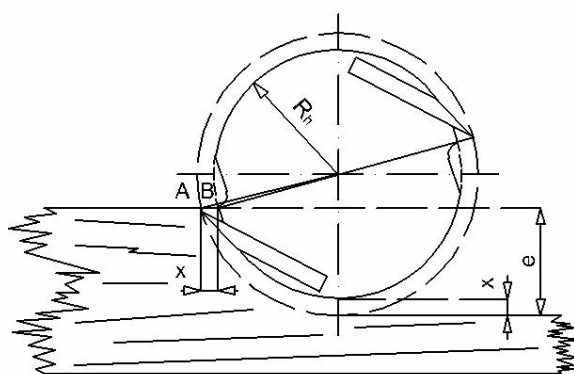
$$v_f = \frac{v_c \cdot 1000}{n}$$

Posuv na břit

$$v_f = \frac{v_c \cdot 1000}{n z} \quad [mm]$$

v_f – posuvná rychlost [$m \cdot \min^{-1}$]

n – počet otáček [\min^{-1}]



obr. 7 Vyčnívání řezné hrany z nožové hlavy¹⁹

¹⁹ Lisičan Jozef. Obrábanie a delenie drevných materiálov. Zvolen: Editačné stredisko VŠLD, 412 s. ISBN 85-1644-88

1.6. Řezný výkon

Při hodnocení dřevoobráběcích strojů se rozeznává příkon a výkon. Příkon motoru P_p je definován jako součin napětí, proudu a účinníku $\cos\varphi$ t.j. výkon odebraný ze sítě. Příkon je parametr potřebný pro určení energetických nákladů a nebo pro dimenzování elektrické rozvodné sítě ke stroji.

Řezný výkon P_c je výkon potřebný na vyvolání adekvátní řezné síly potřebné k odebrání třísky při dané technologické operaci. Jinak definováno je to množství práce vynaložené ze jednu sekundu.

- Při experimentálních měření je možnost zaznamenat dva druhy příkonů: příkon motoru při volnoběhu P_{PO} , který se měří na stroji při práci bez materiálu. Tato hodnota zahrnuje výkon potřebný k překonání elektromechanických ztrát motoru a ztrát v převodech a vedení stroje.
- Příkon motoru při technologické operaci P_{PR} , tedy když stroj reálně opracovává materiál, hodnota zahrnuje P_{PO} společně s prací vynaloženou k samotné technologické operaci.

Při znalosti řezného výkonu je potom možné odvodit řeznou sílu, kterou chápeme jako sílu kterou je potřeba působit na nástroj, aby se mohl překonat odpor materiálu a vykonat se třískotvorný proces.

$$F_c = \frac{P_c}{v_c} \quad [\text{N}]$$

Řezný výkon lze vypočítat také z množství práce vynaložené za jednu sekundu

$$P_c = \frac{A_c}{t} \quad [\text{W}]$$

Při znalosti obou těchto příkonů a akceptaci předpokladu, že absolutní ztráty v motoru stroje pracujícího na volnoběh a motoru při reálné práci jsou rovněž velké, pro výpočet řezného výkonu lze použít tato rovnice.

$$P_c = \frac{P_{pr} - P_{po}}{\eta_c} \quad [\text{W}]$$

η_c – celková účinnost stroje

Celkovou účinnost je možné vypočítat podle vztahu

$$\eta_c = \eta_{el} \cdot \eta_{re}$$

η_{el} – účinnost elektromotoru

η_{re} – účinnost řemenového převodu

Řezný výkon je přímoúměrný objemu dřeva [cm^3] přeměněnému na třísky za jednu sekundu.²⁰

1.6.1. Metody měření řezného výkonu

Řezný výkon je možné měřit více metodami a měřicími zařízeními

1. Zapojení A/D převodníku
2. Snímání kroutícího momentu
3. Měřicím zařízením na analyzování kvality elektrické sítě

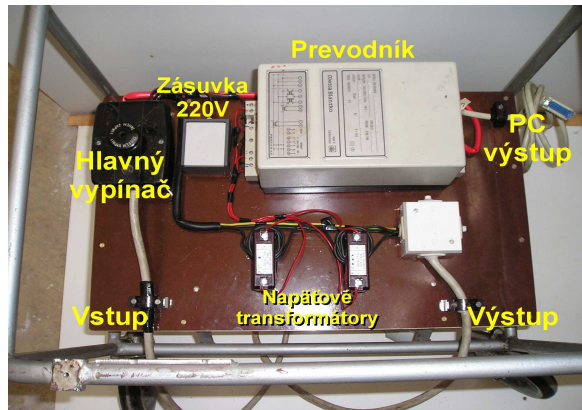
1.6.1.1. První metoda

Jedná se o zapojení převodníku do elektrické sítě před vstupem do dřevoobráběcího stroje. Ve vyhodnocovacím zařízení je umístěný A/D převodník.

Princip měření je založený na změně proudu poháněcího elektromotoru stroje ze sítě. Převodník výkonu (obr. 8) snímající změnu odběru proudu ze sítě převádí tyto hodnoty na analogový signál, který je A/D převodníkem v PC přetransformovaný do číselné formy a zpracovaný program Suchomel.²¹ Program Suchomel zaznamenává hodnoty řezného příkonu v časovém intervalu 0,5 s.

²⁰ Lisičan Jozef. Obrábanie a delenie drevných materiálov. Zvolen: Editačné stredisko VŠLD, 412 s. ISBN 85-1644-88

²¹ Siklienka a kol. *Vplyv presahu pílového kotúča a rýchlosti posuvu na rezný výkon*. In.: Zborník prednášok 7. medzinárodnej vedeckej konferencie. Transfer 2005 využívanie nových poznatkov v strojárskkej praxi. Trenčín 2005, s. 460 – 464.



obr. 8 Měřící zařízení A/D převodník²²

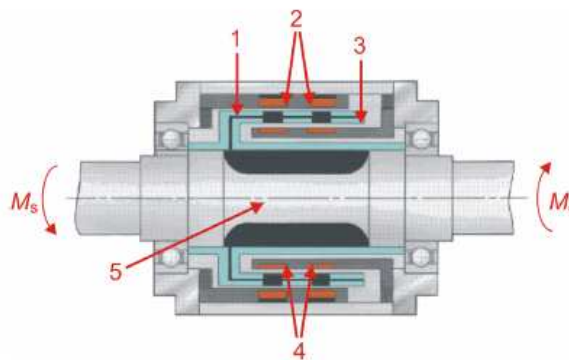
1.6.1.2. Druhá metoda

Princip měření je založený na snímání kroutícího momentu na hřídeli hnacího setrvačnicku.

Měřící zařízení se skládá z částí zobrazených na obr. 9. Zařízení snímá změnu kroutícího momentu a převádí ho na elektrický signál. Vyhodnocovací elektronika převádí elektromagnetickou sílu na napětí v rozsahu ± 10 V, co závisí na směru působení kroutícího momentu.

Velikost kroutícího momentu M_k se dá vyjádřit vztahem

$$M_k = F \cdot r \quad [\text{Nm}]$$



obr. 9 Části měřícího zařízení²¹

- 1 – vnější válec, 2 – sekundární cívka, 3 – vnitřní cívka, 4 – primární cívka, 5 – deformační zóna

²² Hajník Igor. Vplyv vybraných technicko-technologických parametrov na kvalitu pílenia bukového dreva na kmeňovej pásovej pile. Zvolen, 2008. 121 s. Dizertační práce na Technické univerzitě ve Zvolenu fakultě Dřevařské

Snímače mohou být v různých konstrukčních provedeních (obr. 10).



obr. 10 Snímače kroučícího momentu²³

1.6.1.3. Třetí metoda

Na měření řezného výkonu, v tomto případě přesněji, měření řezného příkonu je postavené a přizpůsobené měřící zařízení na analyzování kvality elektrické sítě. Jedná se o zapojení typu Metrel Power Q Plus MI 2392 do elektrické sítě před vstup jednotlivých fází do hlavního elektromotoru strojního zařízení (obr. 11).

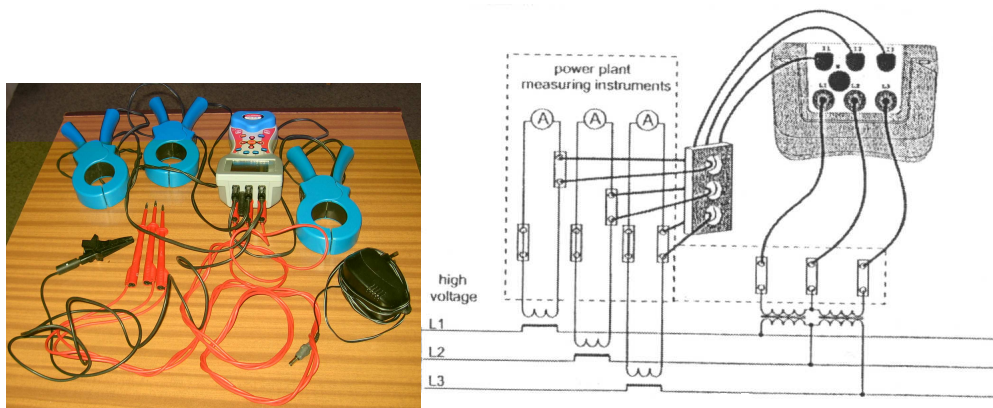
Princip měření je založený na změně odebíraného proudu elektromotorem ze sítě. Metrel Power snímá změnu odebíraného proudu I , aktuální hodnotu napětí U a na základě nasnímaného fázového posunu je zařízení schopné vypočítat příkon elektromotoru.

Hodnoty jsou zaznamenány v intervalu 1 sekundy, přičemž v průběhu této sekundy je naměřených 1024 hodnot, které jsou zprůměrovány a tato hodnota je podkladem pro vyhodnocení.

Pro lepší vyhodnocení se v rámci této sekundy zobrazují minimální, maximální a průměrná hodnota všech naměřených hodnot. Vzhledem k tomu, že řezný proces je velmi rychlý a je dost obtížné zachytit hodnoty řezného příkonu během tohoto krátkého časového úseku. Proto je výhodou při vyhodnocování, když je možno rozpoznat v čase jedné sekundy minimální i maximální hodnot.

²³ Hajník Igor. Vplyv vybraných technicko-technologických parametrov na kvalitu pílenia bukového dreva na kmeňovej pásovej pile. Zvolen, 2008. 121 s. Dizertační práce na Technické univerzitě ve Zvolenu fakultě Dřevařské

Hlavní výhodou tohoto zařízení je, že je schopné analyzovat všechny tři fáze průběžně se všemi charakteristikami elektrické sítě.



obr. 11 Měřící zařízení METREL Power Q plus MI 2392 + schéma zapojení²⁴

1.6.2. Způsob výpočtu řezné výkonu

Pokud je možno naměřit příkon motoru ve volnoběhu a při práci, je možno vypočítat řezný výkon a řeznou sílu. To se pak využívá hlavně pro navrhování síly elektromotorů. Výpočet řezného výkonu P_c je možné vypočítat dvojím způsobem technologicko – fyzikálním, nebo empiricko – statistickým.

1.6.2.1. Technologicko – fyzikální

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{1000} \quad [\text{kW}]$$

$$F_c = \frac{k_c \cdot b \cdot e \cdot v_f}{60 \cdot v_c} \quad [\text{N}]$$

F_c – řezná síla [N]

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

k_c – řezná síla na jednotku plochy řezu [MPa]

b – šířka řezné spáry

e – řezná výška

v_f – rychlost posuvu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

²⁴ Hajník Igor. Vplyv vybraných technicko-technologických parametrov na kvalitu pílenia bukového dreva na kmeňovej pásovej pile. Zvolen, 2008. 121 s. Dizertační práce na Technické univerzitě ve Zvolenu fakultě Dřevařské

Řezná síla na jednotku plochy řezu k_c se určí z tabulkové hodnoty k_{cT} a jednotlivých faktorů vlivu podle vztahu.

$$k_c = k_{cT} \cdot K_d \cdot K_w \cdot K_m \cdot K_\delta \cdot K_e \quad [\text{N.mm}^2]$$

K_d – faktor vlivu dřeva

K_w – faktor vlivu vlhkosti

K_m – faktor vlivu opotřebení

K_δ – faktor vlivu řezného úhlu

K_e – faktor vlivu řezné výšky

Řezný výkon je možno vypočítat také pomocí kroutícího momentu

$$P_c = \frac{2 \cdot M_k \cdot v_c}{D} \quad [\text{W}]$$

M_k – kroutící moment [N.m]

D – průměr nástroje [m]

1.6.2.2. Empiricko – statisticky

řezný výkon P_c podle empirického vztahu

$$P_c = C_r \cdot f_z^a \cdot e^k \cdot v_c^{1,2} \cdot \delta^{1,4} \cdot r_n^{0,28} \cdot \rho^{1,45} \cdot b^m \cdot w^{0,05} \quad [\text{kW}]$$

f_z – posuv na zub [mm]

e – výška řezné spáry [mm]

v_c – řezná rychlost [m.s^{-1}]

δ – řezný úhel [$^\circ$]

r_n – poloměr zaoblení řezné hrany [μm]

ρ – hustota dřeva [g.cm^{-3}]

b – šířka řezu [mm]

$$C_{rY} = 9 \cdot 10^{-7} \quad C_{rD} = 7 \cdot 10^{-7}$$

$$a_Y = 0,88 \quad a = 0,97$$

$$k_Y = 1,41 \quad k = 1,43$$

$$m_Y = 1,7 \quad m = 1,6$$

Řezný výkon byl sledovaný také pomocí výpočtu z naměřené řezné síly F_c . Ze statistického vyhodnocení řezného výkonu získaného pomocí wattmetrů a pomocí výpočtu z řezné síly vyplývá, že hodnoty mají vzájemně vysoký korelační koeficient. Z tohoto důvodu nám dovoluje stanovovat řeznou sílu na základě změřeného řezného příkonu.²⁵

1.6.3. Vliv různých činitelů na energetickou náročnost frézování

Vliv řezné rychlosti. Specifický řezný odpor se zvyšuje při řezných rychlostech vyšších 45 m.s^{-1} .²⁶ Nárůst řezného odporu s sebou přináší i větší energetickou náročnost. Je to způsobeno tím, že nástroj se rychleji otáčí, a tedy se i rychleji obrábí materiál, čímž stoupá řezný výkon.

Na energetickou náročnost frézování má základní vliv směr frézovaných vláken. Je zjevné že nejvyšší řezný odpor vzniká při frézování příčném ($\varphi = 90^\circ$). Naopak je jisté že nejnižší řezný odpor vzniká při podélném frézování ($\varphi = 0^\circ$, $\varphi = 180^\circ$). Při frézování po vláknech ($\varphi = 20^\circ - \varphi = 80^\circ$, $\varphi = 110^\circ - \varphi = 170^\circ$) je mírně zvýšený řezný odpor. Je to způsobeno tím, že dělení předbíhající před břitem, prochází směrem od třísky a hřbet nástroje je více namáhán stlačováním dřeva. Při frézování proti vláknům je tomu naopak.²⁵

Energetická náročnost frézování se zvětšuje se zvětšující se tloušťkou třísky $h_{f \text{ stř}}$ a současně i zvětšování rychlosti posuvu v_f . Toto se děje při všech směrech dřevních vlákních, všech řezných rychlostech i při různé geometrii nástroje.

Vlivem zvyšující se měrné hmotnosti dřeva se zvyšuje i energetická náročnost frézování, byly zjištěny rozdíly nejen mezi dřevinami ale i mezi jádrem a bělí.

Svůj podíl na energetické náročnosti při frézování má i vlhkost materiálu. Řezná síla dosahuje maxima mezi 8 – 12% a to při všech tloušťkách, řezných

²⁵ Aguilera, A. Machinig qualification of solid wood of *Fagus silvatica* L. and *Picea excelsa* L.: cutting forces, power requirements and surface roughness. In: Holz als Roh- und Werkstoff 59, Springer – Verlag 2001, s. 483 – 488.

²⁶ Prokeš Stanislav. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha SNTL, 1965. 369 s ISBN 04-806-65

rychlostech i směrech dřevních vláken. Minimum řezné síly potřebné pro frézování je někde v oblasti meze nasycení buněčných stěn. Nad touto mezí je řezný odpor téměř stejný.²⁶

Se zvětšujícím se úhlu čela se řezný odpor a s ním i energetická náročnost postupně snižuje, nejnižší řezný odpor je při $\gamma = 35^\circ$ pro příčné frézování a $\gamma = 40^\circ - 60^\circ$ pro podélné frézování. Uvážíme-li nutný úhel el hřbetu $\alpha = 10^\circ - 15^\circ$, dochází k velmi malému úhlu břitu, který nemůže zajistit jeho dostatečnou pevnost.²⁷

1.7. Kvalita řezného procesu

Celková kvalita obrobku závisí na tvarové, rozměrové a povrchové přesnosti. Tvarová a rozměrová přesnost obrobku jsou ovlivňované tuhostí nástroje, přesností celého řezného a podávacího mechanismu stroje, přesností nastavení nástroje v nástrojové sadě. Povrchová přesnost se může posuzovat buď podle kinematických nerovností (hloubka vlnek a jejich vzdálenosti), nebo podle vytrhaných vláken. Povrchová přesnost vyžaduje zvýšenou pozornost hlavně u dílců u kterých je další technologická operace povrchová úprava.

Frézování z pohledu kvality obrobeného povrchu je možno orientačně rozdělit do třech tříd:

název třídy	f_z [mm]	$h_{f \text{ stř}}$ [mm]	v_f [m.min ⁻¹]
jemné frézování	0,3 – 0,8	0,014 – 0,04	5,4 – 7,2
střední frézování	0,8 – 2,5	0,04 – 0,16	7,2 - 45
hrubé frézování	2,5 – 5	0,16 – 0,4	45 - 90

Uvedené hodnoty se vztahují na $n = 4\ 500 \text{ min}^{-1}$ a čtyř nožovou frézovací hlavu.

²⁷ Prokeš Stanislav. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha SNTL, 1965. 369 s
ISBN 04-806-65

1.7.1. kvalita frézovaného povrchu

Drsnost povrchu při frézování je vytvářena rotačním pohybem řezné hrany nástroje a přímočarým pohybem obrobku. Obrobená plocha se od ploch zadaných ve výkrese liší vlivem

- pružných a plastických deformací v čase tvoření třísky
- kmitáním vznikajícím v technologické soustavě
- třením hřbetu nože o obrobenou plochu
- přesností výrobního zařízení

Na obrobeném povrchu je možno zjistit v rovině kolmé na něj odchylky rozdělující se podle velikosti na

- makrogeometrické
- mikrogeometrické

Makrogeometrické odchylky nejsou zapříčiněny jen nástrojem, ale společným působením soustavy stroj – nástroj – obrobek a kinematikou obrábění.²⁸ Mezi tyto odchylky můžeme zařadit vlnitost, nebo vytrhaná vlákna. Makrostruktura rostlého dřeva se projevuje na ofrézovaném povrchu ve formě žlábkových rýh vzniklé přeřezáním cév a cévic.

Mikrogeometrické odchylky jsou dané stopami, které na obrobeném povrchu zanechává nástroj jsou charakterizovány drsností.⁷ Rozlišuje se drsnost v podélném směru (ve směru řezu), a ve směru příčném (kolmo na směr řezu). V praxi se většinou zjišťuje jen příčná drsnost, která závisí na tvaru řezného klínu a jeho posuvu vzhledem na obrobek.

U vícenožových hlav v důsledku různých hodnot poloměrů řezných hran (R) vznikne ofrézovaný povrch nepravidelnou vlnitostí. V praktických podmínkách lze jen těžko dosáhnout větší přesnosti nastavení nožů v nožových hlavách jak 0,02 mm. Aby v dvojnožových hlavách pracovali oba nože, musí být posuvná rychlost minimálně

²⁸ Javorek, Lubomír – Osvald, Ján: Kvalita povrchu versus technologické podmínky. In Acta facultis technicea 1998. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen 1998, s. 41 – 46. ISBN 80-228-0821-1

$$v_{f \min} = \frac{nz}{1000} \sqrt{\Delta R D_1} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$$

Dvojnožová hlava začne pracovat jen jedním nožem při nepřesnosti nastavení

$$\Delta R \cong \frac{u_n^2 \psi}{360D} \left(1 - \frac{\psi}{360} \right)$$

Při počtu nožů více jak dva a běžných hodnotách $\Delta R > 0,02$ budou pracovat všechny nože při $U_{\min} > 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, čemu odpovídá

$$\Delta R \cong \frac{u_n^2}{Dz} \left(1 - \frac{1}{z} \right)$$

2. Metodika

2.1. Příprava vzorků

Konkrétní zkušební vzorky se vymanipulovaly z fošen přivezených pro účely diplomových prací na Fakultě Lesnické a Dřevařské. Postup získání vzorků byl takový, že se nejprve z fošen 3m dlouhých vybrali ty, které vyhovovali svým zjaderněním a naopak svým nezjaderněním. Po výběru materiálu se vybrané fošny příčně vykrátili na kusy dlouhé 1m s nadměrkou a rozřezali rovnoběžně s vlákny na vlysy o hrubých rozměrech 35mm na výšku a 50 mm na šířku (obr. 12).



obr. 12 Vysušené zkušební vzorky před dalším opracováním

Po rozřezání byly vlysy vyskládány k topení a byly k nim umístěny pohyblivé větráky aby se ve vyskládané hráni více pohyboval vzduch. Hráň byla ponechána čtyři týdny v klidu a vždy po týdnu byla změřena vlhkost vlyců odporovým vlhkoměrem. Když vlhkost dosáhla hodnoty kolem 10% tak se hráň rozebrala a z vlyců se vyrobily zkušební vzorky o rozměrech 30mm na výšku a šířka se nechala v co největších rozměrech pro co nejvyšší využití materiálu na zkoušky (obr. 13).



obr. 13 Konečné zkušební vzorky

2.2. Stanovení hustoty a vlhkosti materiálu

Hustota se stanovovala podle normy ČSN 49 0801 s rozměry tělísek: délky 30 mm (délka je orientována ve směru vláken), šířky 20 mm a tloušťky 20 mm. Vzorky byly připraveny tak aby bylo obsaženo všechno zkoušené dřevo a byly rozděleny na jádrové a bělové.

Hustota se stanovovala při relativní vlhkosti frézovaného dřeva 9,09% u dřeva buku bez nepravého jádra a 9,33% u buku s nepravým jádrem. Nejprve se vzorky změřily a zvážily a poté byla podle vzorce pro objemovou hmotnost vypočítána hustota obou materiálů.

Vzorky se nejprve změřily a zvážily ve vlhkém stavu, poté byly vloženy do sušárny s teplotou $103 \pm 2^\circ\text{C}$, kde se vysušily na vlhkost 0%. Vlhkost 0% nastala tehdy, kdy při třech po sobě jdoucích měřeních v intervalu 1 den se neměnila jejich hmotnost. Takto vysušené vzorky se uložily do nádoby se silikagelem aby již nenavlhly okolní vzdušnou vlhkostí a tam byly ponechány po dobu měření. Vzorky se poté znovu zvážily a ze získaných údajů se vypočítala vlhkost jednotlivých dřevin podle vzorce pro relativní vlhkost.

2.3. Měření řezného výkonu

Experiment byl proveden ve univerzitních dílnách zpracovaných Fakultou Lesnickou a Dřevařskou. Zkušební tělesa byla o rozměrech: délka 1000mm (po směru dřevních vláken), výška 30 mm, šířka byla ponechána pro co největší výtěžnost. Zkušební tělesa byla rozdělena na tělesa obsahující nepravé jádro a tělesa bez nepravého jádra. Vlhkost zkušebního materiálu byla spočítána u buku

bez nepravého jádra na 9,09% a buku s nepravým jádrem na 9,33%. Řezný výkon byl zaznamenáván při nesousledném frézování s použitím podávacího zařízení, za předem zvolených podmínek (řezná rychlost, rychlost posuvu). Při frézování se odebírala vrstva o tloušťce 3 mm. Šířka 3 mm byla nastavena pomocí posuvných pravítek na spodní frézce. Řezný příkon se měřil a zaznamenával pomocí zařízení Metrel Power Q Plus MI 2392. Samotné měření začalo připojením měřícího zařízení na přívod ke spodní frézce. Přívodní kabel se odpojil ze svorek v rozvodné skříňce frézky a připojil se na kabel procházející záznamovým zařízením. Druhý konec kabelu se opět připojil v rozvodné skříňce frézky. Kabel pro měřící zařízení je specifický tím, že má nejen přívod a odchod ale i třetí konec do kterého se umístí kolíky měřícího zařízení. Na hlavním průchodu kabelu jsou jednotlivé žíly rozděleny a na každou fázi se umístí proudové kleště snímající procházející proud. Poté došlo k samotnému měření.

Měření započalo při řezné rychlosti v_c 30 m.s⁻¹ a frézovací hlavě s úhlem čela γ 15°, na těchto dvou parametrech se odzkoušely všechny podávací rychlosti, tedy v_f 4, 8, 11 m.min⁻¹. Při každé kombinaci se zkoušelo jak dřevo buku bez nepravého jádra, tak dřevo buku s nepravým jádrem a každé toto dřevo se nechalo projít frézovacím procesem dvakrát. Poté se změnil úhel čela na γ 20° na také se odzkoušely všechny podávací rychlosti. Pak se ještě změnil úhel čela na γ 25° se všemi podávacími rychlostmi. Po odzkoušení všech kombinací pro řeznou rychlost v_c 30 m.s⁻¹ se na řemenici spodní frézky přendaly řemeny na nižší převodový stupeň.

Po převedení řemenu se pro úhel čela γ 15° změnila řezná rychlost v_c 20, 40 m.s⁻¹ a podávací rychlost v_f 4, 8, 11 m.min⁻¹. Parametry se měnily tak že se při jedné řezné rychlosti odzkoušela podávací rychlost v_f 4 a 8 m.min⁻¹, pak se na ovládacím panelu frézky přepnula řezná rychlost na v_c 40 m.s⁻¹. Poté se vypnula spodní frézka i podávací zařízení a zaměnila se ozubená kola na podávacím zařízení čímž se docílilo změny na podávací rychlost v_f 11 m.min⁻¹ při které se opět zkoušela řezná rychlost v_c 20, 40 m.s⁻¹. Po odzkoušení i těchto kombinací se změnil úhel čela z γ 15° na γ 20° a postupovalo se opačně: nejprve se odzkoušela podávací rychlost v_f 11 m.min⁻¹ při v_c 20, 40 m.s⁻¹, poté se opět zaměnila ozubená kola a zkoušela se podávací rychlost v_f 4 a 8 m.min⁻¹ s řeznou

rychlostí v_c 20, 40 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při dokončení zkoušek na úhlu čela $\gamma 20^\circ$ se změnila frézovací hlava s úhlem čela $\gamma 20^\circ$ za frézovací hlavu s úhlem čela $\gamma 25^\circ$ a postup se opakoval jako při úhlu čela $\gamma 15^\circ$. Po odzkoušení všech kombinací parametrů bylo měřicí zařízení odpojeno od kabelu, a ten byl také odpojen od spodní frézky a vše bylo uvedeno do původního stavu.

Hodnoty byly po celou dobu zkoušky zaznamenány do záznamového zařízení typu Metrel Power Q Plus MI 2392 kde byly vyhodnoceny a ze kterého se po ukončení zkoušky odečetly přímo hodnoty řezného příkonu. Záznamové zařízení z naměřených údajů vypočetlo řezný příkon podle vzorce

$$P_x = \frac{1}{1024} \sum_{j=1}^{1024} U_{xj} \cdot I_{xj} \quad [\text{W}]$$

a celkový příkon

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \quad [\text{W}]$$

Hodnoty odečtené ze záznamového zařízení typu Metrel Power Q Plus MI 2392 byly seskupeny a vyhodnoceny statistickým programem STATISTICA 8 od firmy Statsoft.

2.3.1. Charakteristika spodní frézky s podávacím zařízením

Experiment byl realizován na jednovřetenové spodní frézce typu FVS (obr. 14). Materiál byl do řezu podáván podávacím zařízením STEFF (obr. 15).

Základní údaje o jednovřetenové spodní frézce

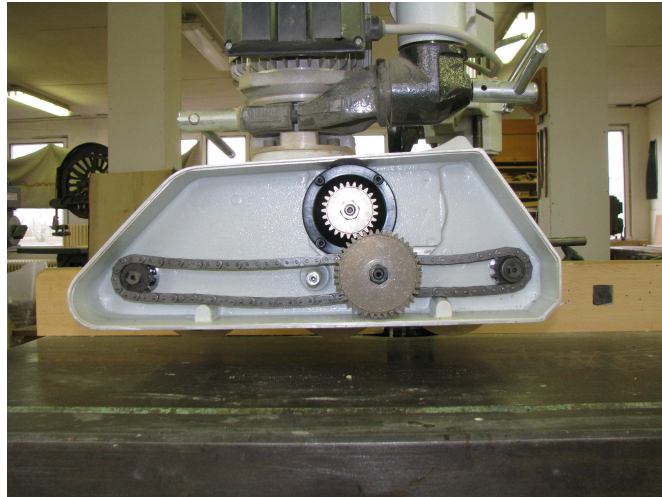
- proudová soustava 360/220 [V]
- kmitočet 50 [Hz]
- příkon 4 [kW]
- rok výroby 1975
- výrobce Československé hudební nástroje Hradec Králové
- otáčky stroje 3000; 4500; 6000; 9000
- řezná rychlost pro \varnothing nástroje 130 mm 20; 30; 40; 60 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]



obr. 14 Pohled na spodní frézku s podávacím zařízením

Základní technické parametry podávacího zařízení

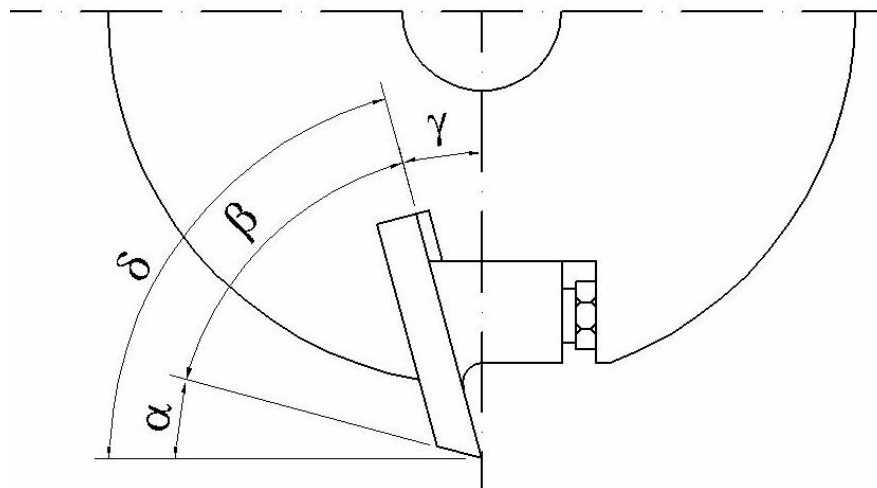
- typ 2034
- motor 400 [V]
- příkon 0,8 – 0,6 [kW]
- otáčky 1400/2800
- podávací rychlosti 4; 8; 11; 22 [m.min⁻¹]
- rok výroby 2005



obr. 15 Podávací zařízení STEFF

2.3.2. Charakteristika řezného nástroje

Jako řezný nástroj byla použita dvojnožová frézovací hlava na dřevo s vyměnitelnými noži. Při experimentu byl v činnosti pouze jeden nůž. Který byl předsazen oproti druhému o 1 mm.



obr. 16 Frézovací hlava s naznačenými základními parametry

α – úhel hřbetu

β – úhel řezného klínu

γ – úhel čela

δ – řezný úhel



obr. 17 Jednotlivé frézovací hlavy

Základní technické parametry frézy:

- | | |
|---------------------------------|----------|
| • průměr frézy | 125 [mm] |
| • průměr frézy s osazenými noži | 130 [mm] |
| • šířka frézy | 45 [mm] |
| • počet osazených nožů | 2 |

Pro experiment byly zvoleny frézovací hlavy s úhlem čela γ 15°, 20° a 25°.
A frézovací nože s úhlem řezného klínu β 45°, čemuž odpovídá úhel hřbetu α 30°,
25° a 20°, a řezný úhel δ 80°, 75°, a 70°.

3. Výsledky a vyhodnocení

3.1. Hustota bukového dřeva

Hustota je asi nedůležitějším ukazatel pro všechny vlastnosti dřeva. Hustota je jedním z hlavních parametrů při rozhodování o použitelnosti dřeva, má také vliv na energetickou náročnost při frézování dřeva.

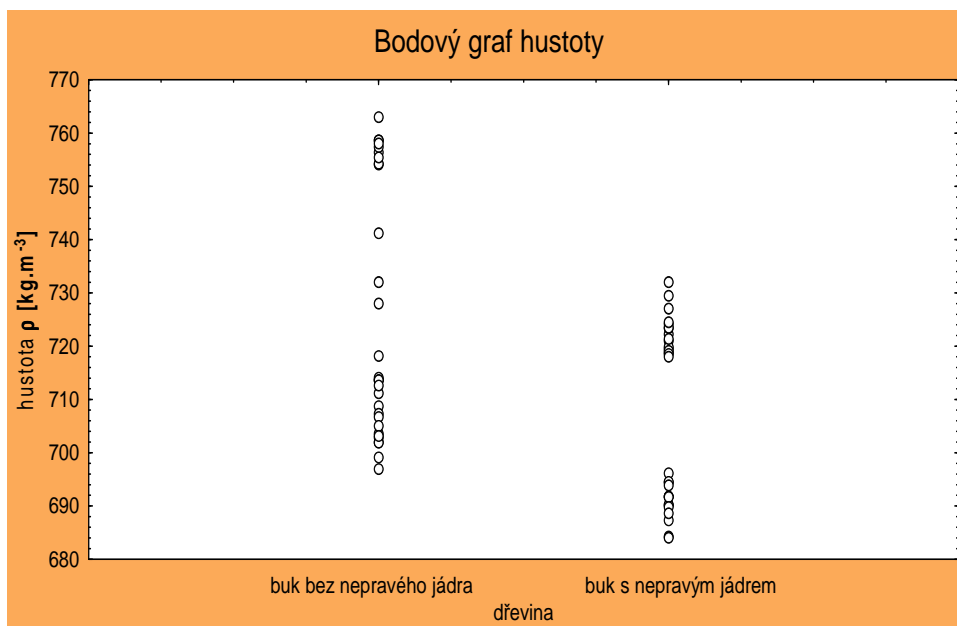
Ze zkušebních vzorků pro zjišťování energetické náročnosti frézování byly vyřezány vzorky pro zjištění hustoty a vlhkosti dřeva.

Jako první byl zkoumán buk bez nepravého jádra. Průměrná hustota souboru je 725 kg.m^{-3} , nejnižší hustota byla $696,9 \text{ kg.m}^{-3}$, největší byla 763 kg.m^{-3} . Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Příloze I.

Současně byl zkoumán i buk s nepravým jádrem, kde byla průměrná hodnota hustoty zjištěna $707,7 \text{ kg.m}^{-3}$. Minimální hodnota 684 kg.m^{-3} a maximální hodnota 732 kg.m^{-3} . Rozdíl mezi průměrnými hodnotami obou dřevin je $17,3 \text{ kg.m}^{-3}$, což představuje rozdíl 2,39% (tab. 1). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze II.

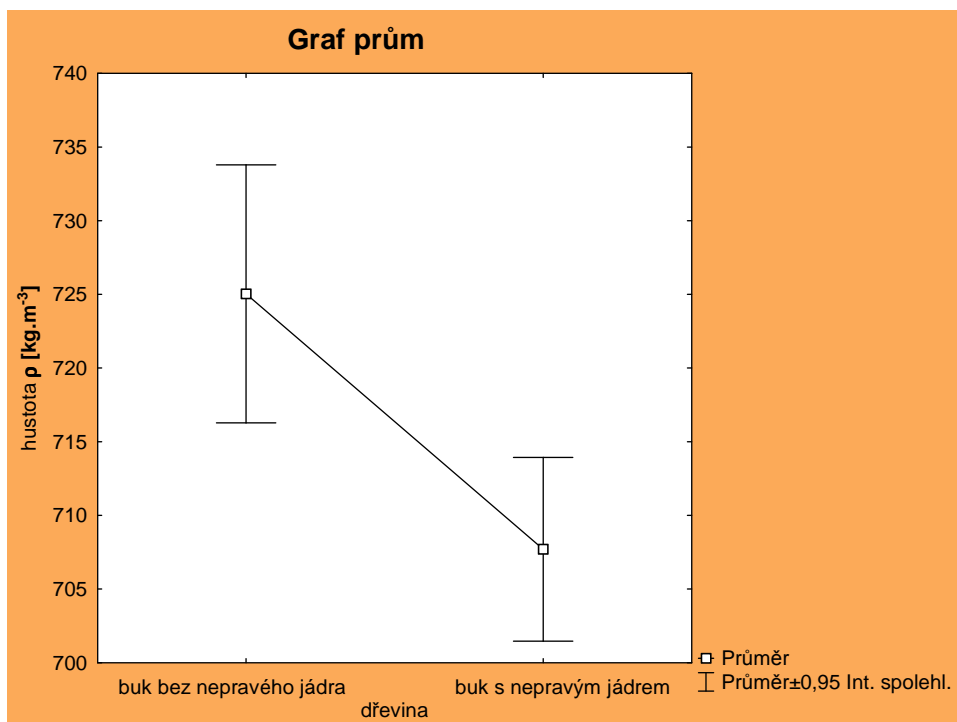
	průměr	s. odchylka	rozptyl	var. Koef.
buk bez nepravého jádra	725,0381	23,0509	531,3443	3,1793
buk s nepravým jádrem	707,6991	16,4249	269,7767	2,320885

tab. 1 Hustota zkoušeného dřeva při vlhkosti zkoušeného dřeva



obr. 18 Bodový graf hustoty

Na obr. 18 jsou znázorněny naměřené hodnoty hustoty zkoušených dřevin. Je vidět, že se oba soubory hodnot rozdělily na dvě skupiny co může být způsobeno použitím dřeva různých stromů.



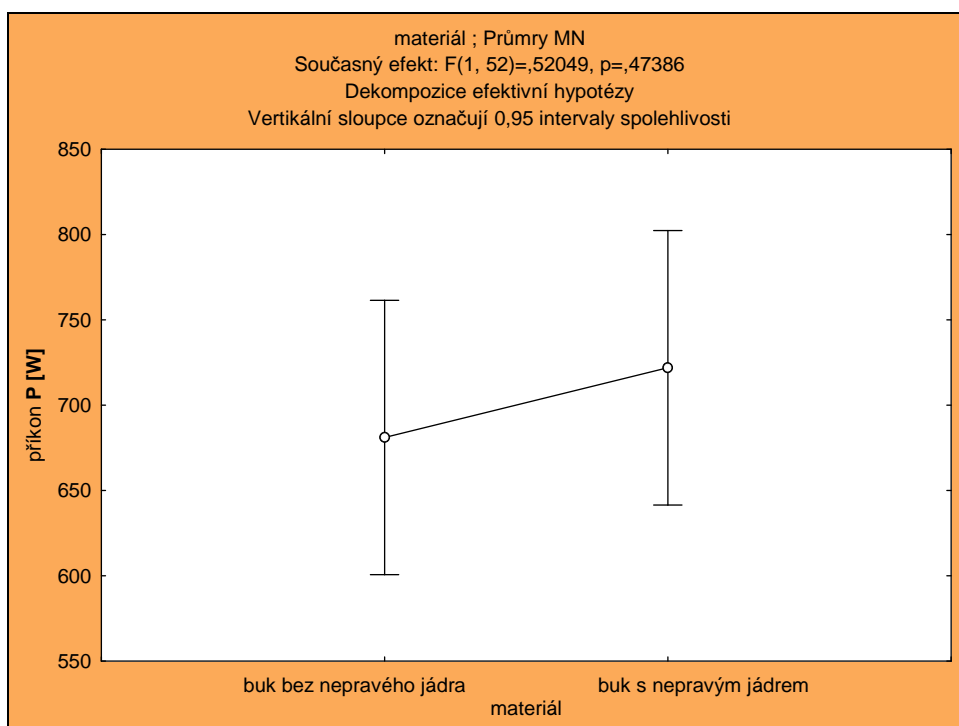
obr. 19 Analýza rozptylu pro závislost hustoty na materiálu

Na obr. 19 je vidět rozložení průměrů hustoty zkoušených materiálů. Ze závislosti je patrné že rozdíl hustoty není velký, z čehož plyne předpoklad, že rozdíl v řezném příkonu mezi dřevinami také nebude velký.

3.2. Řezný příkon

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Příloze III. pro buk bez nepravého jádra, a Příloze IV. pro buk s nepravým jádrem.

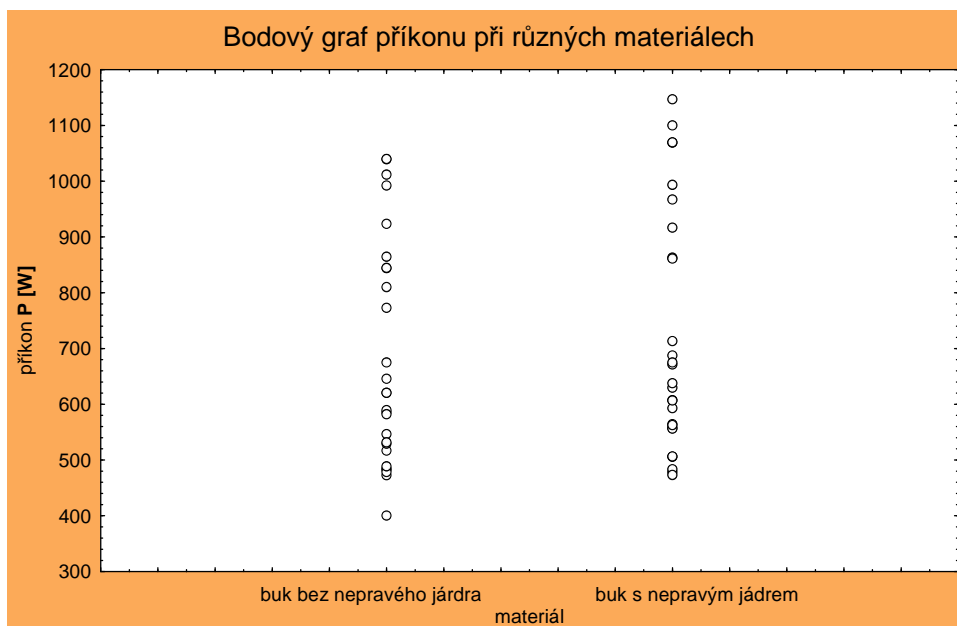
3.2.1. Vliv materiálu na řezný příkon



obr. 20 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na materiálu

Pro zjišťování řezného příkonu byly použity dva soubory. Jeden soubor byl vytvořen z buku bez nepravého jádra, druhý z buku s nepravým jádrem.

Z naměřených hodnot byla nejprve zhotovena analýza rozptylu na dvou souborech dřevin (obr. 20). Provedený Tukeyův test je uveden v Příloze V.

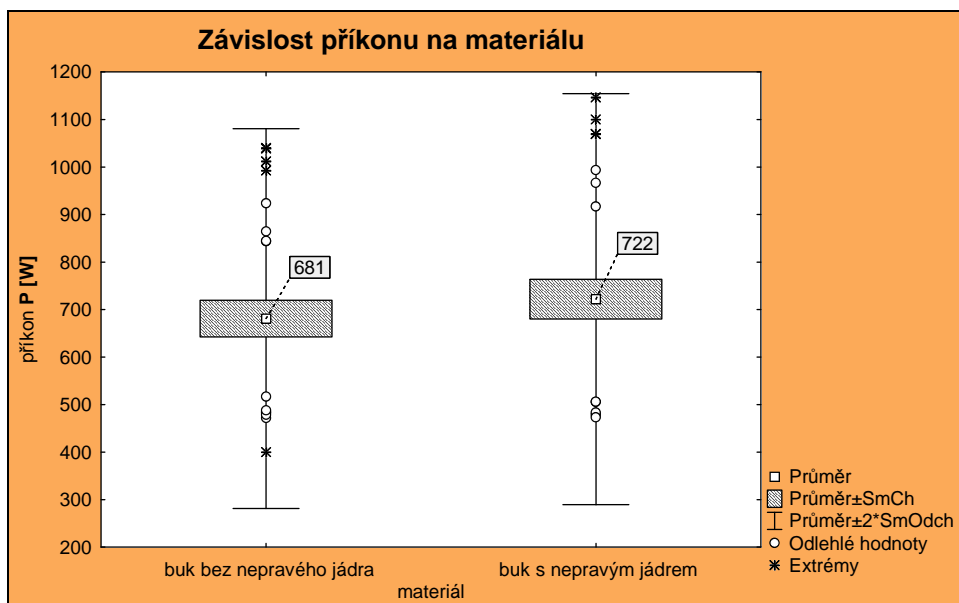


obr. 21 Bodový graf řezného příkonu při různých materiálech

Na obr. 21 je vidět rozložení naměřených hodnot příkonu. Je vidět že se pohybují v téměř shodné oblasti. V každém souboru hodnot je možno vysledovat, že je rozdělen na dvě oblasti. To je způsobeno různými hustotami zkoušených dřevin, nelineárně měněnými parametry, především podávací rychlosti, a malým počtem měření

t-test; grupováno: materiál	
Proměnná	P [W]
Průměr bez nepravého jádra	681,0729
Průměr s nepravým jádrem	721,9625
t	-0,721449
sv	52
p	0,473865
Poč.plat bez nepravého jádra	27
Poč.plat. s nepravým jádrem	27
Sm.odch. bez nepravého jádra	199,9226
Sm.odch. s nepravým jádrem	216,2471
F-poměr Rozptyly	1,169976
p Rozptyly	0,691958

tab. 2 Statistická tabulka materiálu



obr. 22 Závislost řezného příkonu na druhu dřeva

Na obr. 22 je bylo zjištěno, že průměrný řezný příkon je u buku s nepravým jádrem nepatrně vyšší. Z tab. 2 je možno zjistit že i směrodatná odchylka je vyšší u buku s nepravým jádrem, to může být zapříčiněno zkoušením vzorků s větším či menším zjadernění. Rozdíl v řezném příkonu mezi zkoušenými soubory buku bez nepravého jádra a s nepravým jádrem byl minimální. To ověřuje i provedený f-test který ukazuje pouze 16% rozdíl v přesnosti měření, to naznačuje že rozdíl mezi měřenými soubory je, ale ne tak významný. Proto bude v dalším porovnávání materiál posuzován jako jeden parametr.

V tab. 3 je procentuelně vyjádřen rozdíl mezi oběmi dřevinami při různých parametrálních kombinacích při zkoušení.

podávací rychlost v_f [m.min ⁻¹]	úhel čela γ [°]	bez nepravého jádra	s nepravým jádrem	změna
		řezný výkon P [W]	řezný výkon P [W]	[%]
4	15	705,97	760,48	7,17
8		777,96	806,83	3,58
11		799,48	815,84	2,00
4	20	615,13	649,67	5,32
8		676,05	729,03	7,27
11		727,97	779,03	6,55
4	25	566,08	604,80	6,40
8		619,46	682,18	9,19
11		641,56	652,22	1,63

podávací rychlost v_f [m.min ⁻¹]	řezná rychlost v_c [m.s ⁻¹]	bez nepravého jádra	s nepravým jádrem	
		řezný výkon P [W]	řezný výkon P [W]	
4	20	462,96	513,76	9,89
8		528,99	556,55	4,95
11		536,81	568,53	5,58
4	30	535,71	564,39	5,08
8		608,86	637,78	4,53
11		666,67	651,03	-2,40
4	40	888,50	936,81	5,16
8		935,62	1023,70	8,60
11		965,53	1027,52	6,03

řezná rychlost v_c [m.s ⁻¹]	úhel čela γ [°]	bez nepravého jádra	s nepravým jádrem	
		řezný výkon P [W]	řezný výkon P [W]	
20	15	574,13	597,90	3,98
30		679,07	680,11	0,15
40		1030,22	1105,14	6,78
20	20	501,00	551,55	9,17
30		598,29	625,60	4,36
40		919,86	980,58	6,19
20	25	453,64	489,38	7,30
30		533,88	547,50	2,49
40		839,58	902,31	6,95

řezná rychlost v_c [m.s ⁻¹]	podávací rychlost v_f [m.min ⁻¹]	bez nepravého jádra	s nepravým jádrem	
		řezný výkon P [W]	řezný výkon P [W]	
20	4	462,96	513,76	9,89
30		535,71	564,39	5,08
40		888,50	936,81	5,16
20	8	528,99	556,55	4,95
30		608,86	637,78	4,53
40		935,62	1023,70	8,60
20	11	536,81	568,53	5,58
30		666,67	651,03	-2,40
40		965,53	1027,52	6,03

úhel čela γ [°]	podávací rychlost v_f [m.min ⁻¹]	bez nepravého jádra	s nepravým jádrem	
		řezný výkon P [W]	řezný výkon P [W]	
15	4	705,97	760,48	7,17
20		615,13	649,67	5,32
25		566,08	604,80	6,40
15	8	777,96	806,83	3,58
20		676,05	729,03	7,27
25		619,46	682,18	9,19
15	11	799,48	815,84	2,00
20		727,97	779,03	6,55
25		641,56	652,22	1,63

úhel čela γ [°]	řezná rychlost	bez nepravého jádra	s nepravým jádrem	
	v_c [m.s ⁻¹]	řezný výkon P [W]	řezný výkon P [W]	
15	20	574,13	597,90	3,98
20		501,00	551,55	9,17
25		453,64	489,38	7,30
15	30	615,13	649,67	5,32
20		676,05	729,03	7,27
25		727,97	779,03	6,55
15	40	1030,22	1105,14	6,78
20		919,86	980,58	6,19
25		839,58	902,31	6,95

tab. 3 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na dřevině při různých variantách podávací rychlosti, řezné rychlosti, úhlu čela

Z těchto údajů můžeme potvrdit výše uvedený závěr o nepříliš velkém rozdílu řezného příkonu mezi bukem bez nepravého jádra a bukem s nepravým jádrem.

Pro další vyhodnocování výsledků měření se budou používat hodnoty společné oběma materiálům. Statistické vyhodnocení v Příloze VIII.

Proměnná	Popisné statistiky				
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Sm.odch.
P [W]	54	701,5177	400,0000	1146,667	207,3007

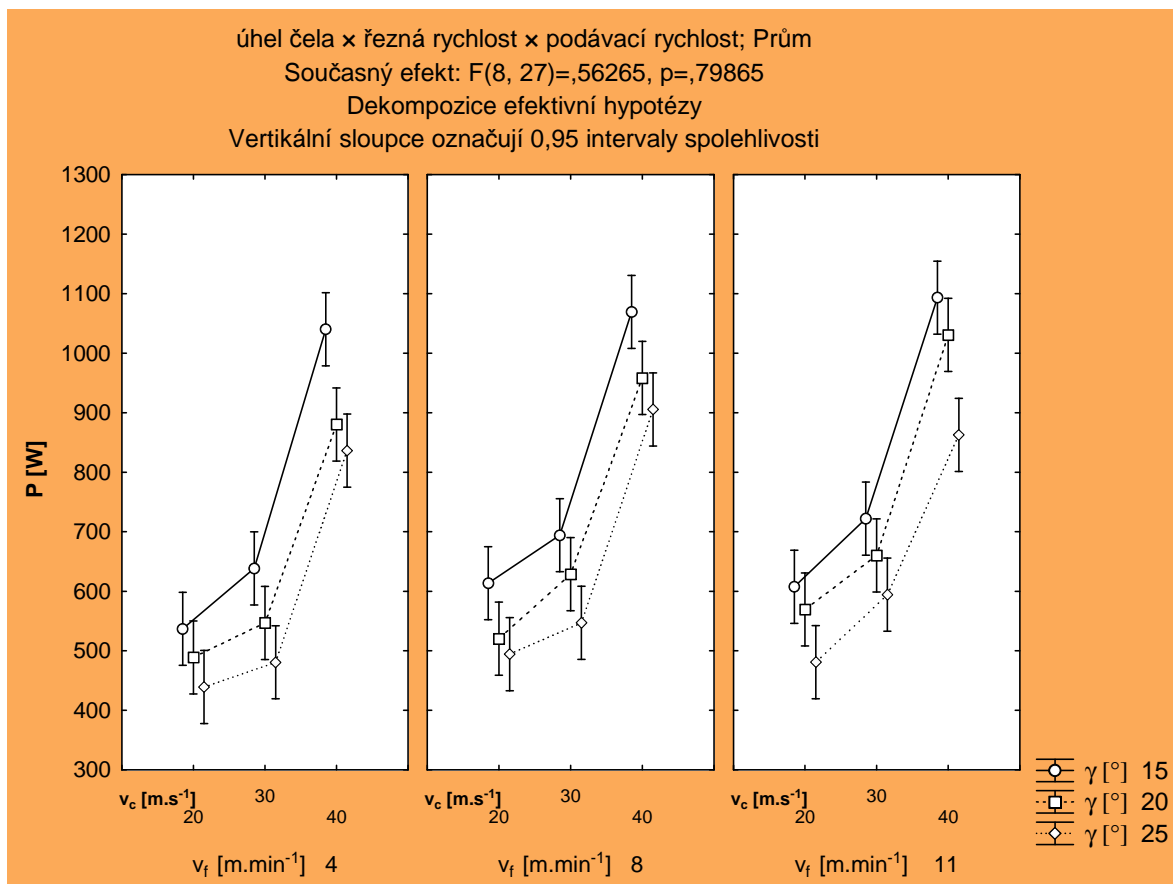
tab. 4 Tabulka pro společné hodnoty materiálů

Ze společných hodnot pro oba materiály byla provedena analýza rozptylu která zkoumá závislosti řezného příkonu na podávací rychlosti, řezné rychlosti a úhlu čela.

	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	26574862	1	26574862	14854,59	0,000000
úhel čela γ [°]	210269	2	105134	58,77	0,000000
řezná rychlost v_c [m.s ⁻¹]	1926095	2	963048	538,32	0,000000
podávací rychlost v_f [m.min ⁻¹]	64417	2	32208	18,00	0,000011
úhel čela x řezná rychlost	11427	4	2857	1,60	0,203811
úhel čela x podávací rychlost	6555	4	1639	0,92	0,468889
řezná rychlost x podávací rychlost	2482	4	620	0,35	0,843870
úhel čela x řezná rychlost x podávací rychlost	8053	8	1007	0,56	0,798650
Chyba	48303	27	1789		

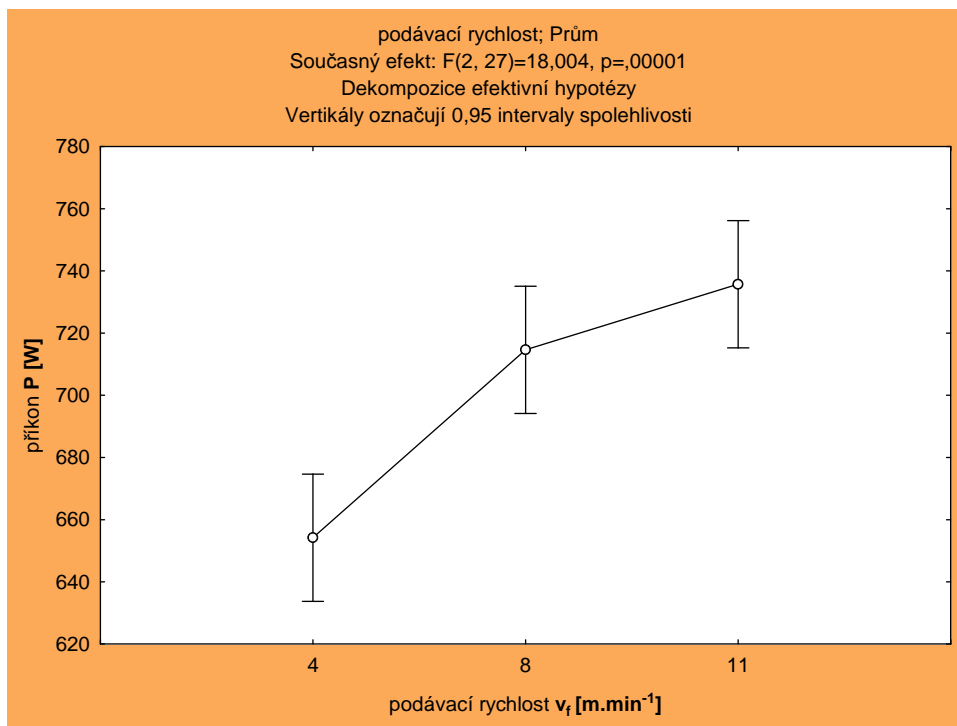
tab. 5 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na podávací rychlosti, řezné rychlosti a úhlu čela

Z tab.5 je vidět že všechny zkoušené parametry jsou na hladině významnosti 100%. Kombinace zkoušených parametrů už takový význam na řezný příkon nemají.



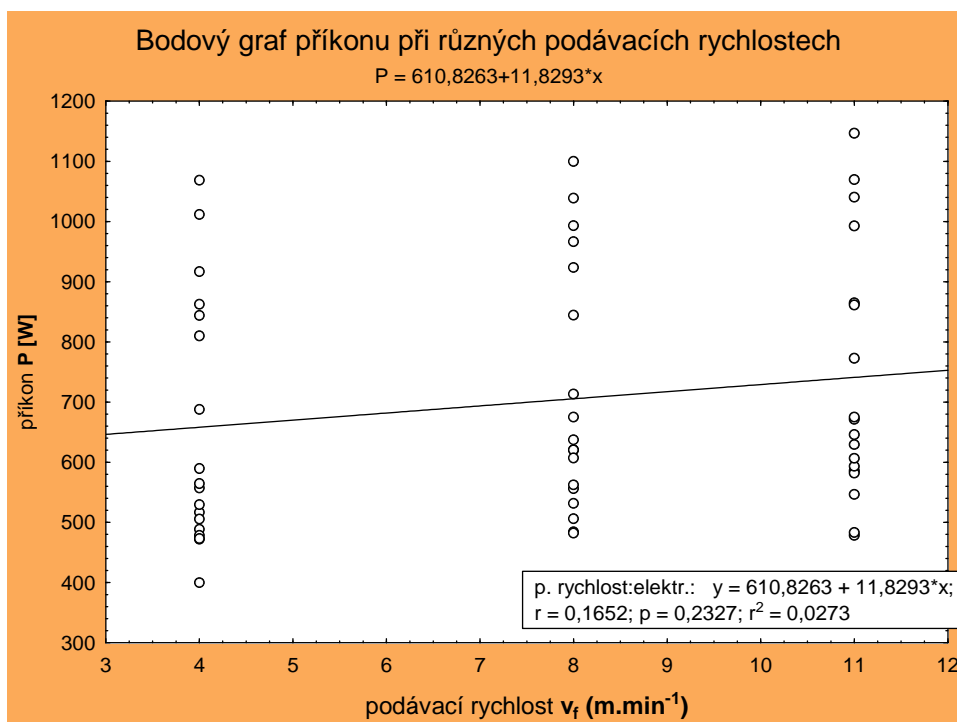
obr. 23 Graf analýzy rozptylů vyjadřující vliv podávací rychlosti, řezné rychlosti a úhlu čela na řezný příkon

3.2.2. Vliv podávací rychlosti na řezný příkon



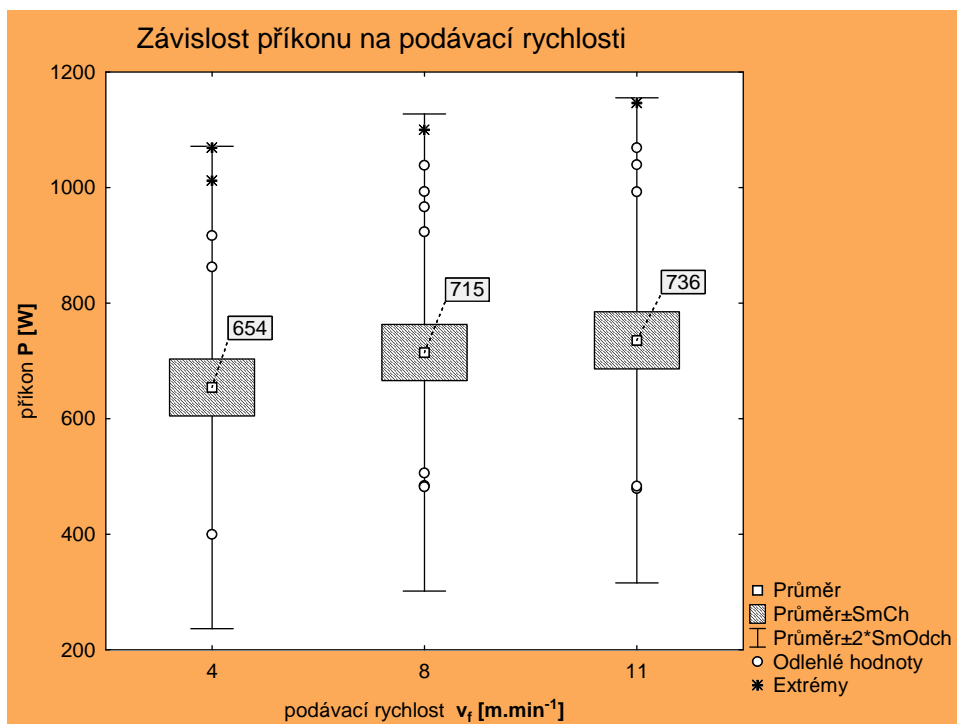
obr. 24 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na podávací rychlosti

Jedním ze zkoumaných faktorů ovlivňujících řezný příkon byla podávací rychlost. Z analýzy rozptylu tab. 5 vyplývá, že působení podávací rychlosti je na řezný příkon významný, kdy změna podávací rychlosti vyvolá změnu řezného příkonu. Obr. 24 nám prozrazuje, že zvýšením podávací rychlosti se zvýší řezný příkon a naopak. Důvod stoupání řezného příkonu se stoupáním podávací rychlosti je ten, že stoupáním podávací rychlosti se zvyšuje přísun materiálu za stejnou časovou jednotku, který je třeba obrobit a na co je třeba více řezného příkonu.



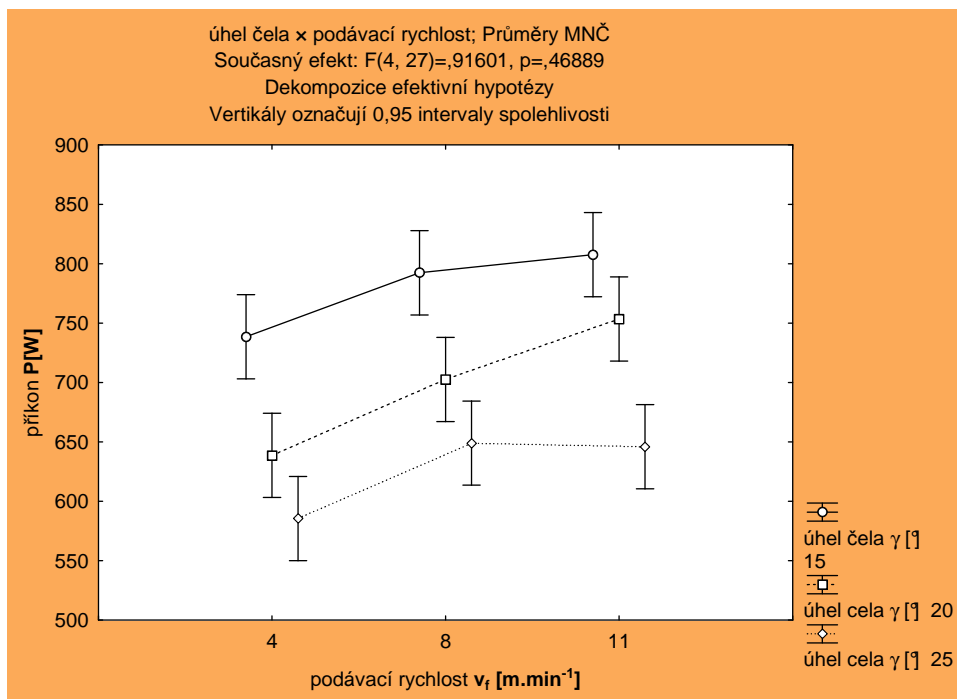
obr. 25 Bodový graf řezného příkonu při různých podávacích rychlostech

Na obr. 25 je vidět rozložení naměřených hodnot řezného příkonu při různých podávacích rychlostech. Soubor hodnot je rozdělen do dvou skupin, kdy skupina s nižšími hodnotami řezného příkonu je objemnější. Rozdělení souboru do dvou skupin je způsobeno hustotou dřevin a nelineární možností nastavení zkoušených parametrů.

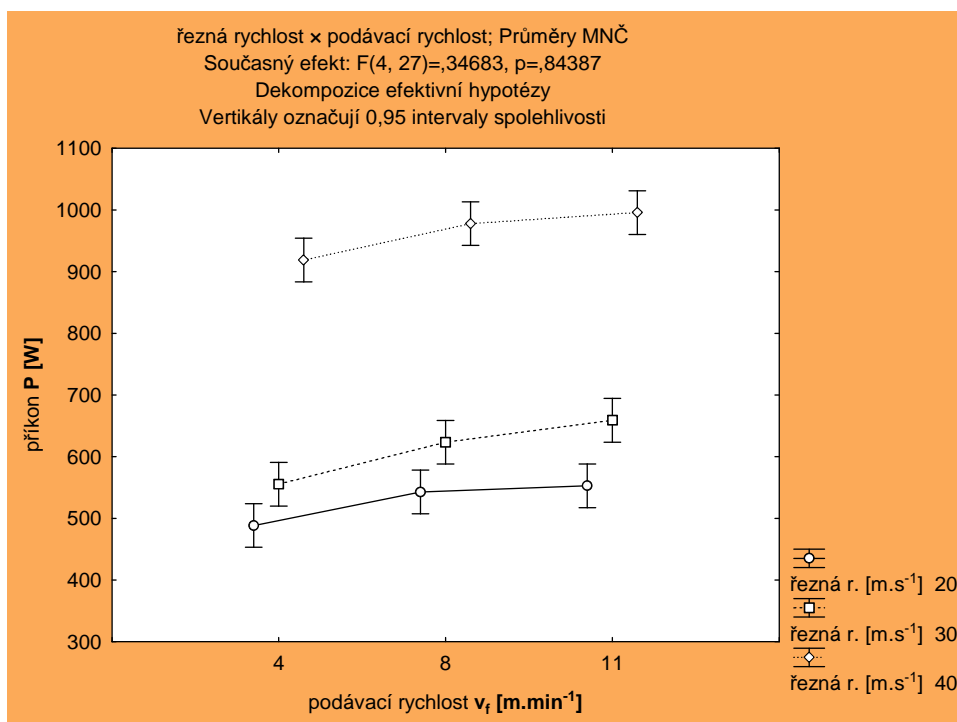


obr. 26 Závislost řezného příkonu na podávací rychlosti

Na obr. 26 je možno vidět, že průměrná hodnota řezného příkonu se zvyšuje společně se zvyšováním řezné rychlosti. Obr. 26 potvrzuje obr. 24 v tom, že řezný příkon se mění především v oblasti změny podávací rychlosti ze 4 m.min⁻¹ na 8 m.min⁻¹. zvýšením podávací rychlosti z 8 m.min⁻¹ na 11 m.min⁻¹ se řezný příkon změní jen nepatrně. Částečně to může být způsobeno i tím že v druhém případě je krok zvýšení podávací rychlosti menší než v případě prvním.



obr. 27 Závislost řezného příkonu na podávací rychlosti při různých variantách úhlu čela



obr. 28 Závislost řezného příkonu na podávací rychlosti při různých variantách řezné rychlosti

Na obr. 27 a obr. 28 je znázorněna závislost řezného příkonu na podávací rychlosti při změně jednotlivých parametrů.

Pro procentuální porovnání vlivu podávací rychlosti na řezný příkon poslouží tab. 6 a tab. 7, jsou to sumarizační tabulky vyjadřující průměrný řezný příkon v závislosti na podávací rychlosti při různých kombinacích řezné rychlosti a úhlu čela.

podávací rychlost z 4 m.min ⁻¹ na 8 m.min ⁻¹				podávací rychlost z 8 m.min ⁻¹ na 11 m.min ⁻¹			
řezná rychlost v_c [m.s ⁻¹]	z P [W]	na P [W]	o [%]	řezná rychlost v_c [m.s ⁻¹]	z P [W]	na P [W]	o [%]
20	488,36	542,77	10,02	20	542,77	552,67	1,79
30	550,05	623,32	11,75	30	623,32	658,85	5,39
40	912,66	979,66	6,84	40	979,66	996,53	1,69

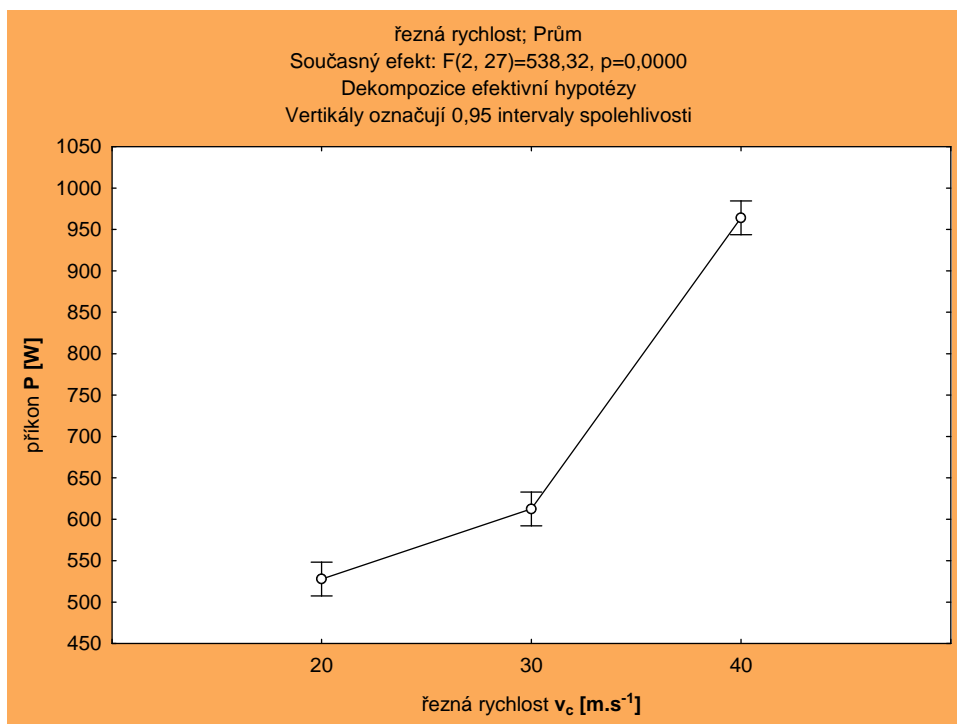
tab. 6 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně podávací rychlosti při různých variantách řezné rychlosti

podávací rychlost z 4 m.min ⁻¹ na 8 m.min ⁻¹				podávací rychlost z 8 m.min ⁻¹ na 11 m.min ⁻¹			
úhel čela γ [°]	z P [W]	na P [W]	o [%]	úhel čela γ [°]	z P [W]	na P [W]	o [%]
15	733,23	792,39	7,47	15	792,39	807,66	1,89
20	632,40	702,54	10,89	20	702,54	753,50	6,76
25	585,44	650,82	10,05	25	650,82	646,89	-0,61

tab. 7 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně podávací rychlosti při různých variantách úhlu čela

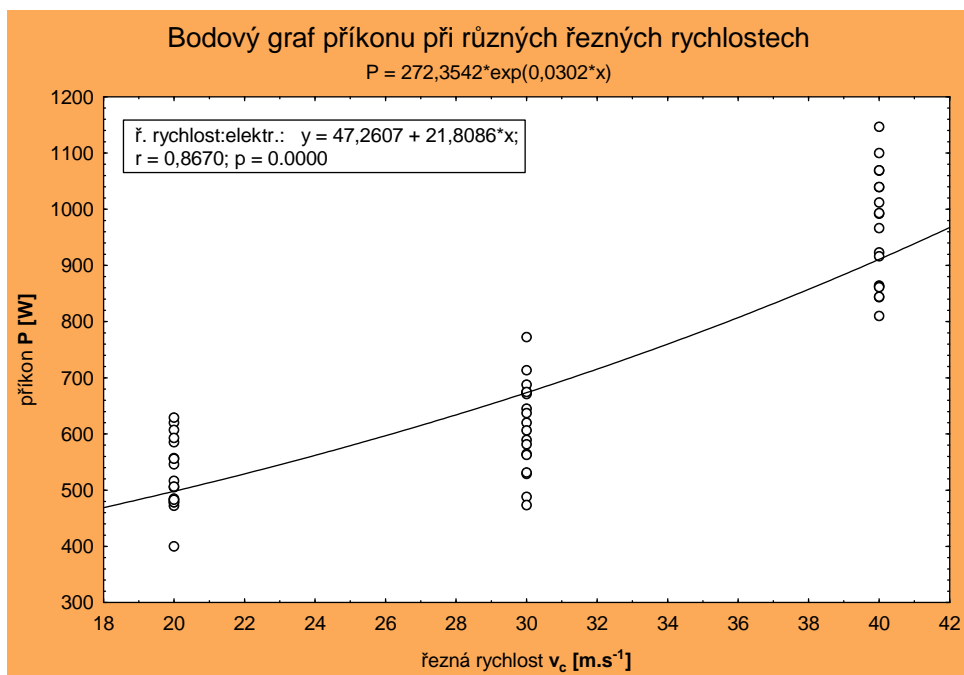
Z těchto prezentovaných výsledků se může usoudit, že velikost přírůstku řezného příkonu je významnější při přechodu ze 4 m.min⁻¹ na 8 m.min⁻¹.

3.2.3. Vliv řezné rychlosti na příkon



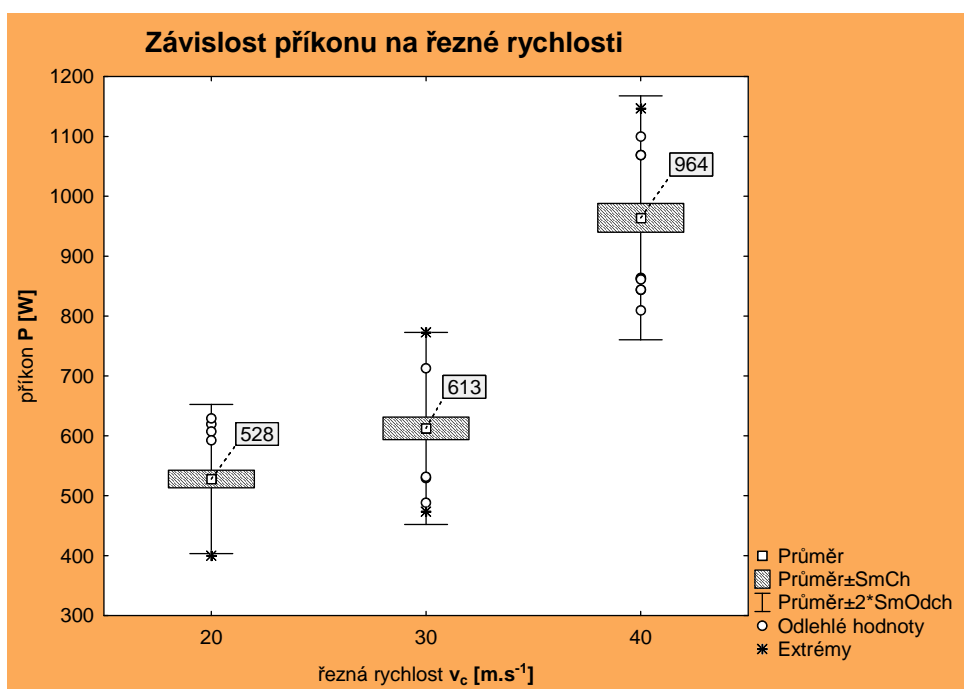
obr. 29 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na řezné rychlosti

Současně s podávací rychlostí byl zkoumán vliv řezné rychlosti na řezný příkon. I zde ukázala analýza rozptylu tab. 5, že působení řezné rychlosti je na změnu řezného příkonu statisticky významné, to znamená že se změnou řezné rychlosti se změní i řezný příkon. Z obr. 29 plyne, že se zvyšující se řeznou rychlostí se zvyšuje i řezný příkon. Minimální řezný příkon je při $20 m.s^{-1}$ a maximální při $40 m.s^{-1}$ řezné rychlosti. Současně je z obr 29. vidět, že řezný příkon roste především nad hodnotou $30 m.s^{-1}$. Důvodem zvyšování řezného příkonu se zvyšováním řezné rychlosti je, že při vyšších otáčkách nástroje dochází k rychlejšímu obrábění materiálu a tedy též k zvýšení.



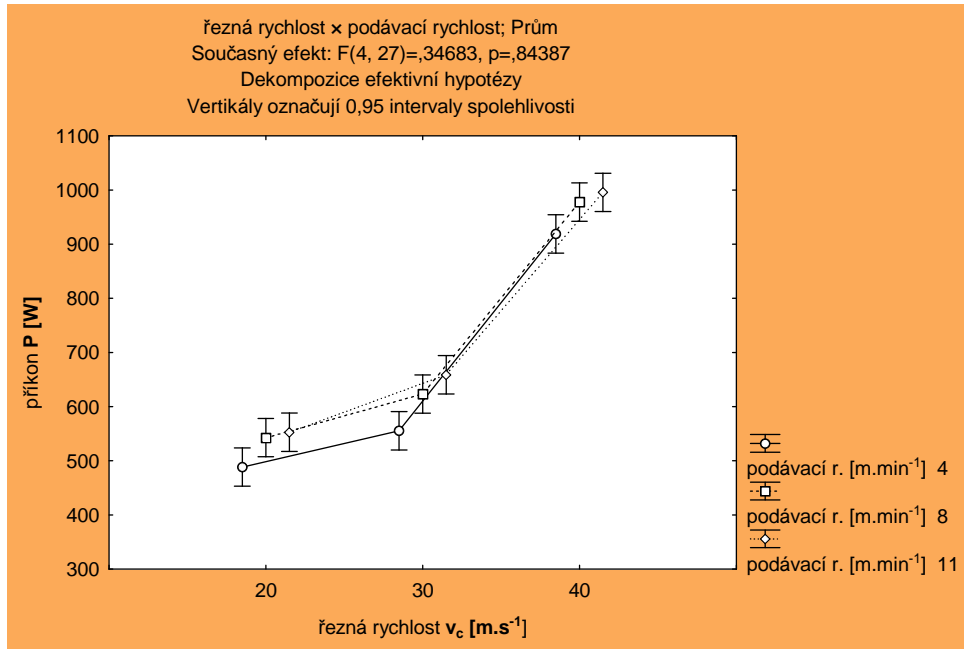
obr. 30 Bodový graf řezného příkonu při různých řezných rychlostech

Na obr. 30 je vidět rozložení naměřených hodnot řezného příkonu při různých řezných rychlostech.

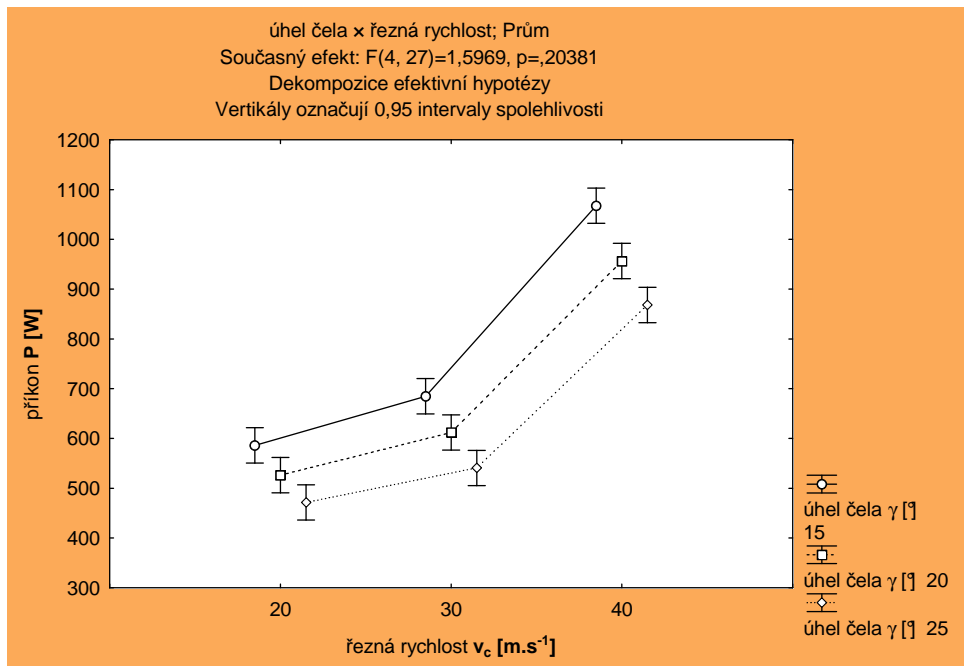


obr. 31 Závislost řezného příkonu na řezné rychlosti

Obr. 31 sleduje průběh řezného příkonu při různých řezných rychlostech a potvrzuje obr. 29 v tom že řezná rychlost více stoupá nad rychlostí 30 m.s⁻¹. Z obr. 31 je také vidět že při měření jsme se dopustili jen malé směrodatné odchylky.



obr. 32 Závislost řezného příkonu na řezné rychlosti při různých variantách podávací rychlosti



obr. 33 Závislost řezného příkonu na řezné rychlosti při různých variantách úhlech čela

Na obr. 31 a obr. 32 je znázorněna závislost řezného příkonu na řezné rychlosti při změně jednotlivých parametrů.

Pro procentuální porovnání vlivu řezné rychlosti na řezný příkon poslouží tab. 8 a tab. 9, jsou to sumarizační tabulky vyjadřující průměrný řezný příkon v závislosti na řezné rychlosti při různých kombinacích podávací rychlosti a úhlu čela.

řezná rychlost z 20 m.s ⁻¹ na 30m.s ⁻¹				řezná rychlost z 30 m.s ⁻¹ na 40 m.s ⁻¹			
podávací rychlost v _r [m.min ⁻¹]	z P [W]	na P [W]	o [%]	podávací rychlost v _r [m.min ⁻¹]	z P [W]	na P [W]	o [%]
4	488,36	550,05	11,22	4	550,05	912,66	39,73
8	542,77	623,32	12,92	8	623,32	979,66	36,37
11	552,67	658,85	16,12	11	658,85	996,53	33,89

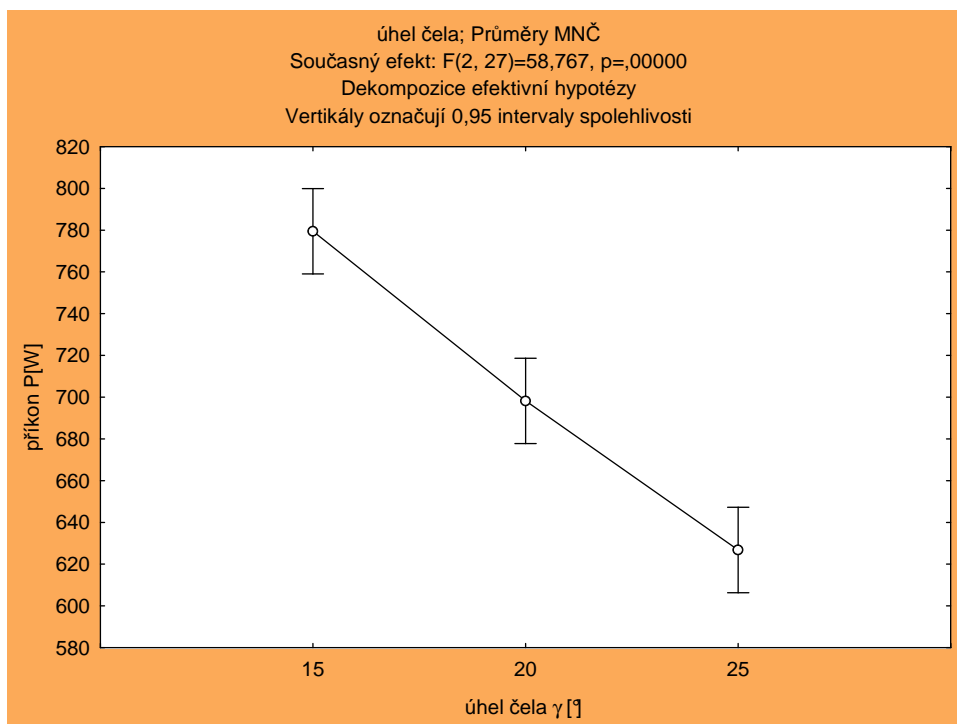
tab. 8 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně řezné rychlosti při různých variantách podávací rychlosti

řezná rychlost z 20 m.s ⁻¹ na 30m.s ⁻¹				řezná rychlost z 30 m.s ⁻¹ na 40 m.s ⁻¹			
úhel čela γ [°]	z P [W]	na P [W]	o [%]	úhel čela γ [°]	z P [W]	na P [W]	o [%]
15	586,01	679,59	13,77	15	679,59	1067,68	36,35
20	526,28	526,28	14,00	20	611,94	950,22	35,60
25	471,51	540,69	12,79	25	540,69	870,95	37,92

tab. 9 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně řezné rychlosti při různých variantách úhlu čela

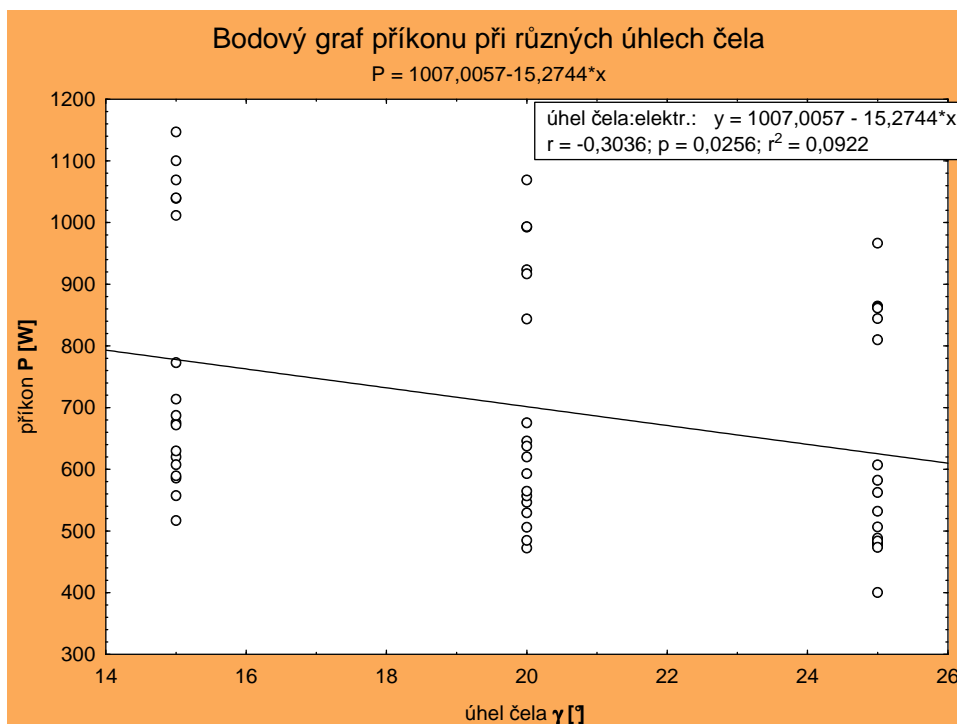
Z hodnot uvedených v tab. 8 a tab. 9 lze vidět že přírůstek řezného příkonu v závislosti na řezné rychlosti je velmi významný nejmenší hodnoty nabývá při podávací rychlosti 4 m.min⁻¹ při přechodu z 20 m.s⁻¹ na 30 m.s⁻¹ řezné rychlosti. Nejvyšší hodnoty nabývá při přechodu z 30 m.s⁻¹ na 40 m.s⁻¹ taktéž při posuvné rychlosti 4 m.min⁻¹. Obecně se opět potvrdilo to, že nad řeznou rychlostí 30 m.s⁻¹ hodnoty řezného příkonu rostou více.

3.2.4. Vliv úhlu čela na příkon



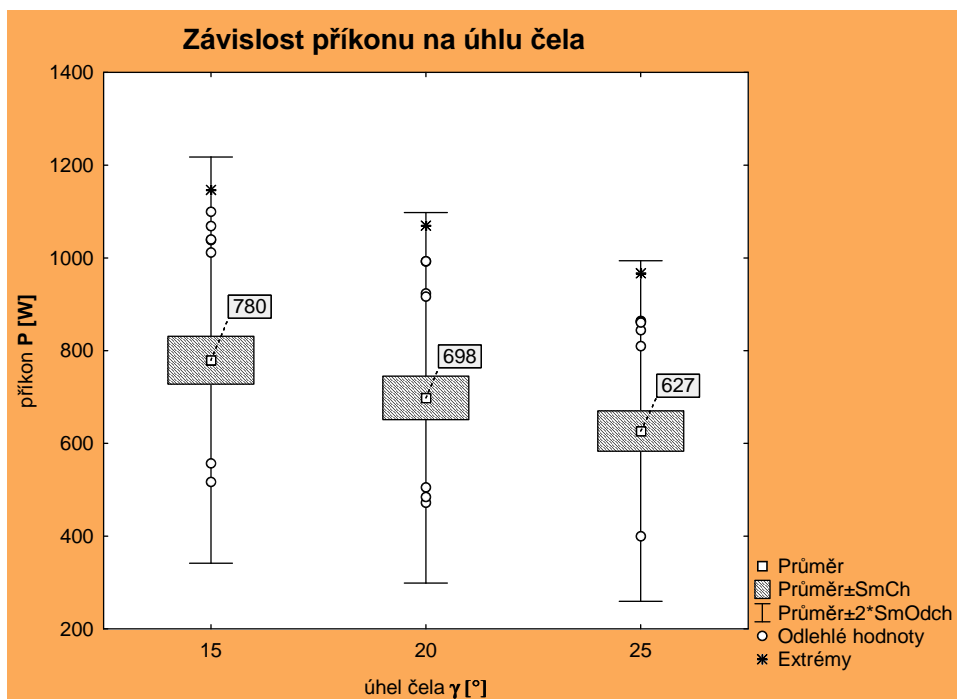
obr. 34 Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na úhlu čela

Jako třetí faktor ovlivňující řezný příkon byl úhel čela. Jak prokazuje tab. 5 i úhel čela je statisticky významným faktorem při změně řezného příkonu. Na obr. 34 který jsme získali z analýzy rozptylu můžeme pozorovat, že zvětšováním úhlu čela se řezný příkon se snižuje. Minimální řezný příkon je při úhlu čela 15° a maximální je při úhlu čela 25°. Rovněž je z obr. 34 vidět, že klesání řezného příkonu se zvyšováním úhlu čela je téměř lineární.



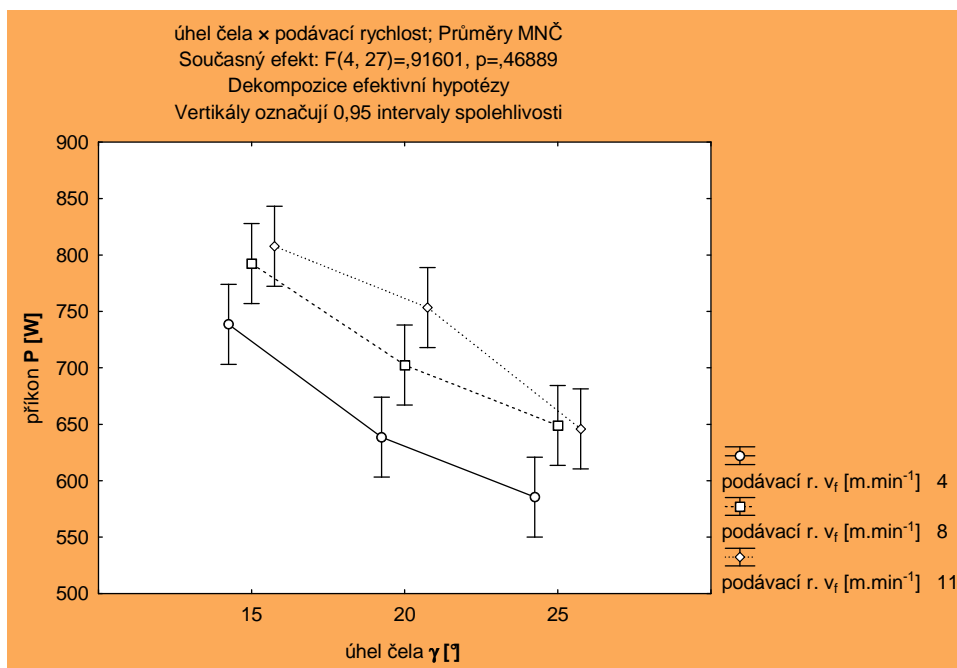
obr. 35 Bodový graf řezného příkonu při různých úhlech čela

Na obr. 35 je vidět rozložení naměřených hodnot řezného příkonu při různých úhlech čela. Soubor hodnot je rozdělen do dvou skupin, kdy skupina s nižšími hodnotami řezného příkonu je objemnější. Rozdělení souboru do dvou skupin je způsobeno hustotou zkoušených dřevin a nelineární možností nastavení zkoušených parametrů.

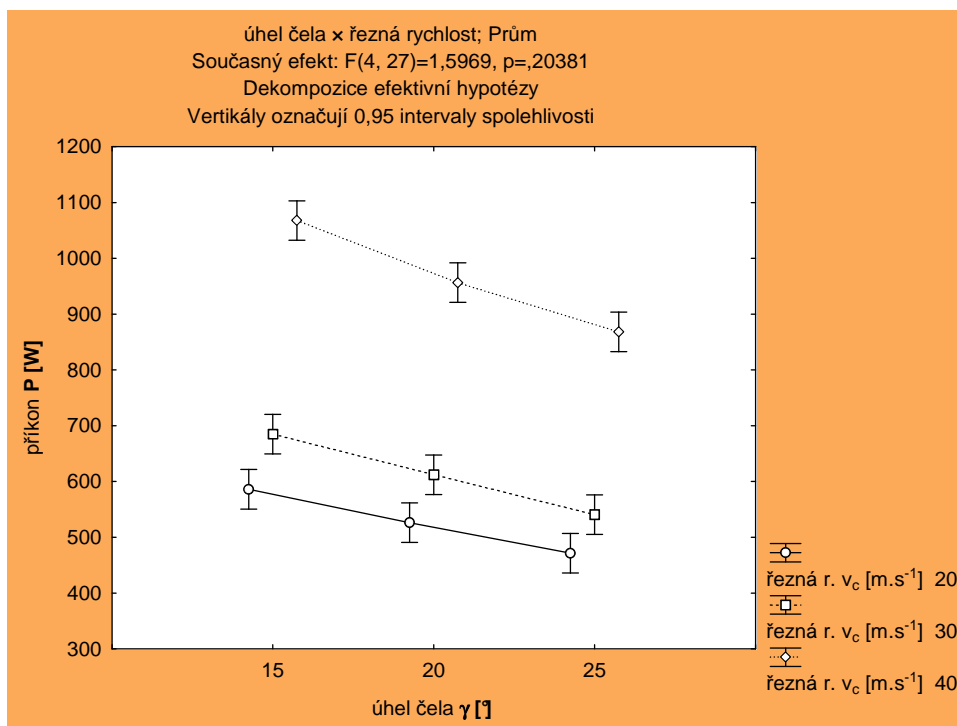


obr. 36 Závislost řezného příkonu na úhlu čela

Na obr. 36 je možno vidět, že průměrná hodnota řezného příkonu se snižuje společně se zvyšováním úhlu čela. Obr. 36 potvrzuje obr. 34 v tom, že řezný příkon se mění téměř lineárně.



obr. 37 Závislost řezného příkonu na úhlu čela při různých variantách podávací rychlosti



obr. 38 Závislost řezného příkonu na úhlu čela při různých variantách řezné rychlosti

Na obr. 37 a obr. 38 je znázorněn průběh přezného příkonu v závislosti na úhlu čela a při různých variantách podávací rychlosti a řezné rychlosti. Oba grafy ověřují obr. 34 v tom, že při zvyšujícím se úhlu čela se řezný příkon snižuje. Na obr. 38 lze sledovat, že křivka řezného příkonu při řezné rychlosti 40 m.s⁻¹. se pohybuje v podstatně vyšších hodnotách což potvrzuje, že nad řeznou rychlostí 30 m.s⁻¹ se řezný příkon zvyšuje mnohem více než pod ní.

Procentuálně je změna řezného příkonu vlivem změny úhlu čela vyjádřena v tab. 10 a tab. 11, tabulky vyjadřují průměrný řezný příkon v závislosti na podávací rychlosti a řezné rychlosti.

úhel čela z 15° na 20°				úhel čela z 20° na 25°			
podávací rychlost [m.min ⁻¹]	z [W]	na [W]	o [%]	podávací rychlost [m.min ⁻¹]	z [W]	na [W]	o [%]
4	733,23	632,40	-15,94	4	632,40	585,44	-8,02
8	792,39	702,54	-12,79	8	702,54	650,82	-7,95
11	807,66	753,50	-7,19	11	753,50	646,89	-16,48

tab. 10 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně úhlu čela při různých variantách podávací rychlosti

úhel čela z 15° na 20°				úhel čela z 20° na 25°			
řezná rychlost [m.s-1]	z [W]	na [W]	o [%]	řezná rychlost [m.s-1]	z [W]	na [W]	o [%]
20	586,01	526,28	-11,35	20	526,28	471,51	-11,61
30	679,59	611,94	-11,05	30	611,94	540,69	-13,18
40	1067,68	950,22	-12,36	40	950,22	870,95	-9,10

tab. 11 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti na změně úhlu čela při různých variantách řezné rychlosti

Z hodnot uvedených v tab. 10 a tab. 11 lze vidět úbytek řezného příkonu v závislosti na zvyšování úhlu. Nejmenší hodnoty nabývá při podávací rychlosti 11 m.min⁻¹ při přechodu z 15° na 20° úhlu čela. 20, naopak nejvyšší hodnoty nabývá při přechodu z 20° na 25° taktéž při posuvné rychlosti 11 m.min⁻¹.

4. Shrnutí

4.1. Hustota

Zkoumané vzorky buku vykazovaly průměrné hodnoty: buk bez nepravého jádra 725 kg.m^{-3} a buk s nepravým jádrem 707 kg.m^{-3} . Vzájemným porovnáním průměrných hodnot hustoty buku bez nepravého jádra a buku s nepravým jádrem byl zjištěn rozdíl 2,39%.

Rozdíl mezi oběma soubory je minimální, a tak se dá tvrdit že v tomto případě zjadernění buku nemělo zásadní vliv na hustotu dřeva.

Naměřené hustoty se shodují s publikovanými výsledky Wagenführa a Lexy kteří uvádějí $540 - 910 \text{ kg.m}^{-3}$ respektive $530 - 880 \text{ kg.m}^{-3}$.

4.2. Řezný příkon

Z vykonaných měření vyplývá, že řezný příkon se při změně parametrů: podávací rychlosti, řezné rychlosti, úhlu čela a dřeviny chová následovně:

4.2.1. Druh materiálu

Řezný příkon při změně dřeva z buku bez nepravého jádra na buk s nepravým jádrem zvýší o 5,68%.

Po porovnávání hustoty i tento ukazatel nevykázal přílišnou rozdílnost mezi bukem bez nepravého jádra a bukem s nepravým jádrem.

Z těchto dvou parametrů se dá usoudit, že rozdíl mezi oběma soubory buků je minimální a tedy se dá počítat jako jeden soubor pro další měření.

4.2.2. Podávací rychlost

Řezný příkon s nárůstem posuvné rychlosti stoupá. Nárůst řezného příkonu je tím větší, čím větší je řezná rychlost. Průměrný nárůst řezného příkonu změnou podávací rychlosti je 6,16%. Vyšší nárůst byl zaznamenán při přechodu z podávací rychlosti $v_f 4 \text{ m.min}^{-1}$ na rychlost $v_f 8 \text{ m.min}^{-1}$ a to 9,5%. Při přechodu z podávací rychlosti $v_f 8 \text{ m.min}^{-1}$ na $v_f 11 \text{ m.min}^{-1}$ byl zaznamenán přírůstek řezného příkonu pouze 2,82%. Rozdíl v nárůstu řezného příkonu při změně řezné

rychlosti nebo úhlu čela je téměř stejný. 6,25% při změně řezné rychlosti a 6,07% při změně úhlu čela.

Důvod stoupaní řezného příkonu se stoupaním podávací rychlosti je ten, že stoupaním podávací rychlosti se zvyšuje přísun materiálu za stejnou časovou jednotku, který je třeba obrobit a na co je třeba více řezného příkonu.

4.2.3. Řezná rychlost

Řezný příkon z nárůstem řezné rychlosti stoupá. Je možné konstatovat, že nad řeznou rychlostí $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dochází k vyššími nárůstu řezného příkonu než pod touto rychlostí. Průměrný nárůst řezného příkonu změnou řezné rychlosti je 25,06%. Mnohem vyšší nárůst byl zaznamenán při přechodu z řezné rychlosti $v_c 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na rychlost $v_c 40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a to 36,64%. Při přechodu z řezné rychlosti $v_c 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na $v_c 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ byl zaznamenán přírůstek řezného příkonu 13,47%. Rozdíl v nárůstu řezného příkonu při změně podávací rychlosti nebo úhlu čela je téměř stejný. 25,04% při změně podávací rychlosti a 25,07% při změně úhlu čela.

Důvodem zvyšování řezného příkonu se zvyšováním řezné rychlosti je, že při vyšších otáčkách nástroje dochází k rychlejšímu obrábění materiálu a tedy též k zvýšení řezného příkonu.

4.2.4. Úhel čela

Řezný příkon při zvětšení úhlu čela klesá. Průměrný pokles řezného příkonu změnou úhlu čela je 11,42%. Nepatrně vyšší pokles byl zaznamenán při přechodu z úhlu čela $\gamma 15^\circ$ na úhel $\gamma 20^\circ$ a to 11,78%. Při přechodu z úhlu čela $\gamma 20^\circ$ na $\gamma 25^\circ$ byl zaznamenán úbytek řezného příkonu 11,06%. Rozdíl v nárůstu řezného příkonu při změně podávací rychlosti nebo řezné rychlosti je téměř stejný. 11,39% při změně podávací rychlosti a 11,44% při změně řezné rychlosti.

Z uvedených výsledků lze tvrdit, že největší nárůst řezného příkonu nastává při změně řezné rychlosti. Naopak nejnižší nárůst nastal při změnách podávacích rychlostí.

5. Přínos pro praxi a vědu

Diplomová práce na základě výsledků by měla pomoci správně zvolit technicko-technologické parametry při frézování dřeva .

- řezný příkon můžeme považovat za stejný jak pro buk bez nepravého jádra, tak pro buk s nepravým jádrem
- podávací rychlost je činitelem změny řezného příkonu a pro sériové využití má velký význam
- řezná rychlost je velmi významným činitelem změny řezného příkonu, změna řezného příkonu při změně řezné rychlosti je tak významná, že se jistě projeví i v malovýrobě
- úhel čela je taktéž činitelem změny řezného příkonu

Z dosažených výsledků je možno tvrdit, že pro praxi je nejlepší nastavení technicko-technologických podmínek z hlediska energetické náročnosti operace frézování na co nejnižší řeznou rychlost a co největší úhel čela. Podávací rychlost je rozporným parametrem, protože čím menší podávací rychlost nastavíme tím menší bude řezný příkon stroje, ale zároveň se obrobí méně výrobků. Pokud ovšem nastavíme podávací rychlost na vyšší stupeň, tak bude rychlejší průchod materiálu strojem, ale zase se nám zvýší řezný příkon stroje. Z výsledků vyhotovené zkoušky ve vidět že nárůst řezného příkonu s přírůstkem podávací rychlosti není tak velký a je tedy otázkou pro jaký typ provozu se budou získané výsledky aplikovat. Pro menší provozy asi bude nejlepší snižovat podávací rychlost a tím i energetickou náročnost výroby, naopak pro sériové provozy bude asi nejvýhodnější nastavení vyšších podávacích rychlostí a zvýšenou energetickou náročnost rozpočítat do objemu výroby.

Pro vědu je tato diplomová práce určující především proto, že je možnost ji rozšířit o další poznatky při řešení energetické a ekonomické optimalizace výroby.

- Nastolení použité metodiky experimentů

- Doplnění informací v oblasti obrábění dřeva (dřeva buku) z pohledu technicko- technologických parametrů na energetickou náročnost
- Tímto experimentem byla dána v potaz rovnice energetické náročnosti vycházející z regrese s závislou proměnnou Příloha VII.

$$P = 262,057 + 15,27 \cdot \gamma + 21,8 \cdot v_c + 11,82 \cdot v_f \quad [\text{W}]$$

- V kontextu s výsledky experimentů je nutné další rozšíření sledované problematiky o jednotlivé vlivy z pohledu geometrie a kvality opracování

6. Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo poukázat na vlivy technicko – technologických parametrů na energetickou náročnost dřeva Buku lesního (*Fagus sylvatica L.*) bez nepravého jádra a s nepravým jádrem.

Závěrem je možno konstatovat, že všechny cíle byli splněny.

Bylo zjištěno, že největší vliv na energetickou náročnost při rovinném frézování má řezná rychlost.

Při práci na této diplomové práci byla nastolena problematika, která má mnohem větší význam nežli se dalo předpokládat. Proto by bylo vhodné tuto problematiku ještě dále rozšiřovat o poznatky s jinými geometrickými vlastnostmi, jinými materiály a jiným hodnocením závislostí energetické náročnosti při rovinném frézování.

Tato diplomová práce poskytuje jisté výsledky vhodné pro další zpracování problematiky, případně může posloužit jako základ porovnávání charakteristik při dodržení stejných podmínek.

7. Seznam použité literatury

Aguilera A.: Machinig qualification of solid wood of *Fagus silvatica* L. and *Picea excelsa* L.: cutting forces, power requirements and surface roughness. In: Holz als Roh- und Werkstoff 59, Springer – Verlag 2001, s. 483 – 488.

Balabán Karel.: *Nauka o dřevě - Anatomie dřeva*, SZN Praha, 1955, 216 s.

Buda a kol.: *Teória obrabania*, Státní nakladatelství technické literatury. Praha, 1983, ISBN 7789-14-6

Evelyn Pöhler, Abt.: *Rotkernige Buche – Technologische Eigenschaften, Verklebungs-verhalten und Farbbeständigkeit*. Zürcher Wald 6/2005, 16 – 20 s.

Hajník Igor.: *Vplyv vybraných technicko-technologických parametrov na kvalitu pílenia bukového dreva na kmeňovej pásovej píle*. Zvolen, 2008. 121 s. Dizertační práce na Technické univerzitě ve Zvolenu fakultě Dřevařské

Javorek Lubomír – Osvald, Ján: Kvalita povrchu versus technologické podmínky. In Acta facultis technicea 1998. Zvolen: Vydavatelstvo TU Zvolen 1998, s. 41 – 46. ISBN 80-228-0821-1

Kminiak Richard: Vlyv vybraných Technicko-technologických faktorov na energetické a kvalitatívne ukazovatele pri rovinnom frézovaní juvenilného topolového dreva. Zvolen, 2007. 129 s. diplomová práce na Technické univerzitě ve Zvolenu fakultě Dřevařské

Lisičan Jozef.: *Obrábanie a delenie drevných materiálov*. Zvolen: Editačné stredisko VŠLD, 1988, 412 s. ISBN 85-1644-88

Lisičan Jozef a kol.: *Teória a technika spracovanie dreva*. Zvolen: Mat centrum, 1996, 102 s ISBN 80-967315-6-4

Nečesaný Vladimír. *Jádro buku–struktura, vznik a vývoj*. SAV, 1958. 231s.

Požgaj A. a kol.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*, Příroda, 1993, 486 s.

Prokeš Stanislav.: *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. Praha SNTL, 1965. 369 s. ISBN 04-806-65

Prokeš Stanislav: *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982, s. 354 – 358, ISBN 04-833-82

Siklienka a kol.: *Vplyv presahu pílového kotúča a rýchlosti posuvu na rezný výkon.* In.: Zborník prednášok 7. medzinárodnej vedeckej konferencie. Transfer 2005 využívanie nových poznatkov v strojárskkej praxi. Trenčín 2005, s. 460 – 464.

Šlezingerová J. a kol.: *Nauka o dřevě,* Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. 184 s.

Torelli N.: *The ecology of discoloured wood as illustrated by beech (Fagus Sylvatica L.).* IAW Bulletin n.s., Vol. 5 (2), 1984

Wagenführ Rudi.: *Dřevo – obrazový lexikon.* Grada Praha, 2002. 348 s.

[www.env.cz/www/ekodisk-new.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/.../\\$FILE/str.%2039-56.pdf](http://www.env.cz/www/ekodisk-new.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/.../$FILE/str.%2039-56.pdf)

Číslo vzorku	rozměry [mm]			objem [cm ³]	váha [g]	hustota [g.cm ⁻³]	váha suchá [g]	W _{abs} [%]	W _{rel} [%]	hustota red. [g.cm ⁻³]	hustota [kg.m ⁻³]
1	20,25	20,11	30,26	12,32	9,13	0,7412	8,28	10,2679	9,3117	0,6722	741,2007
2	20,30	20,15	30,59	12,51	8,93	0,7136	8,12	9,9937	9,0857	0,6488	713,6175
3	20,05	20,06	30,43	12,24	8,73	0,7136	7,94	9,9556	9,0542	0,6490	713,6069
4	19,75	20,07	31,07	12,32	8,61	0,6992	7,84	9,8804	8,9920	0,6363	699,1702
5	20,00	19,96	31,48	12,57	8,97	0,7141	8,16	9,9496	9,0493	0,6494	714,0647
6	19,80	19,98	30,46	12,05	8,57	0,7111	7,80	9,8929	9,0023	0,6471	711,1438
7	20,38	20,00	31,00	12,64	9,02	0,7136	8,21	9,8423	8,9604	0,6497	713,6247
8	20,00	20,04	30,18	12,10	9,15	0,7564	8,30	10,2244	9,2760	0,6862	756,3788
9	19,50	20,30	30,13	11,93	9,03	0,7574	8,20	10,2117	9,2655	0,6872	757,3977
10	20,30	20,12	30,73	12,55	9,19	0,7320	8,36	9,8522	8,9686	0,6663	731,9735
11	20,01	20,05	30,09	12,07	9,16	0,7587	8,31	10,1875	9,2456	0,6885	758,6706
12	20,06	19,75	30,18	11,96	9,07	0,7586	8,22	10,2914	9,3311	0,6878	758,6253
13	19,95	19,80	30,14	11,91	8,98	0,7541	8,15	10,2003	9,2561	0,6843	754,1102
14	19,80	19,95	29,98	11,84	8,39	0,7087	7,65	9,7120	8,8523	0,6460	708,7438
15	19,98	20,10	29,94	12,02	8,46	0,7036	7,71	9,6839	8,8289	0,6415	703,6097
16	20,15	20,06	29,84	12,06	8,41	0,6969	7,66	9,6995	8,8418	0,6353	696,8995
17	20,00	20,20	29,75	12,02	8,50	0,7073	7,75	9,7232	8,8615	0,6446	707,2781
18	20,20	19,85	29,87	11,98	8,41	0,7020	7,66	9,7279	8,8655	0,6398	702,0094
19	20,26	20,04	30,61	12,43	9,05	0,7280	8,23	9,8881	8,9983	0,6625	728,0205
20	20,10	20,15	30,00	12,15	9,16	0,7542	8,32	10,1695	9,2308	0,6846	754,2333
21	20,08	20,40	30,45	12,47	8,96	0,7181	8,15	9,8991	9,0075	0,6535	718,1475
22	20,12	19,70	29,73	11,78	8,33	0,7067	7,58	9,8449	8,9626	0,6434	706,6946
23	20,06	19,98	29,91	11,99	8,45	0,7050	7,70	9,8250	8,9461	0,6419	705,0007
24	20,02	20,03	29,87	11,98	8,42	0,7029	7,67	9,7429	8,8779	0,6405	702,882
25	20,11	20,00	30,40	12,23	8,58	0,7019	7,82	9,7674	8,8983	0,6394	701,8854
26	19,89	20,13	29,95	11,99	8,54	0,7126	7,78	9,8000	8,9253	0,6490	712,5823
27	19,99	20,05	29,78	11,94	8,39	0,7031	7,64	9,8582	8,9736	0,6400	703,1265
28	20,04	20,25	30,10	12,21	9,26	0,7580	8,41	10,1567	9,2203	0,6881	758,0224
29	20,03	20,16	30,10	12,15	9,18	0,7554	8,33	10,2645	9,3090	0,6851	755,4388
30	20,13	19,70	30,00	11,90	9,08	0,7630	8,14	11,5702	10,3704	0,6839	762,9843
průměr	20,04	20,04	30,23	12,14	8,80	0,7250	8,00	10,0028	9,0923	0,6591	725,0381
s. odch.	0,1770	0,1596	0,4147	0,2319	0,3141	0,0231	0,2718	0,3500	0,2866	0,0194	23,0509
V.k.	0,8831	0,7965	1,3717	1,9101	3,5673	3,1793	3,3960	3,4987	3,1518	2,9490	3,1793
rozptyl	0,0313	0,0255	0,1720	0,0538	0,0986	0,0005	0,0739	0,1225	0,0821	0,0004	531,3443

Příloha I Měření hustoty buku bez nepravého jádra

číslo vzorku	Rozměry [mm]			Objem [cm ³]	Váha [g]	hustota [g.cm ⁻³]	váha suchá [g]	W _{abs} [%]	W _{rel} [%]	hustota red [g.cm ⁻³]	Hustota [kg.m ⁻³]
1	20,05	20,10	30,31	12,22	8,79	0,7195	7,99	9,9804	9,0747	0,6542	719,4918
2	20,35	20,05	29,88	12,19	8,49	0,6961	7,68	10,4938	9,4972	0,6300	696,1303
3	20,11	20,12	29,80	12,06	8,32	0,6902	7,54	10,4138	9,4316	0,6251	690,1872
4	20,15	20,15	29,86	12,12	8,37	0,6902	7,58	10,4066	9,4257	0,6252	690,2194
5	20,04	19,93	29,89	11,94	8,26	0,6917	7,48	10,4252	9,4410	0,6264	691,7294
6	19,95	20,06	30,81	12,33	8,99	0,7295	8,15	10,4000	9,4203	0,6608	729,4799
7	19,90	20,00	29,81	11,86	8,21	0,6917	7,44	10,3164	9,3516	0,6271	691,7447
8	20,04	19,89	29,85	11,90	8,23	0,6917	7,46	10,3780	9,4022	0,6266	691,6784
9	20,13	19,94	29,85	11,98	8,32	0,6944	7,54	10,3496	9,3789	0,6293	694,3974
10	19,85	20,11	29,84	11,91	8,22	0,6898	7,45	10,3164	9,3516	0,6253	689,8115
11	20,25	20,07	29,90	12,15	8,44	0,6945	7,65	10,3754	9,4001	0,6292	694,5058
12	19,80	20,15	30,46	12,15	8,78	0,7223	7,95	10,4167	9,4340	0,6541	722,2728
13	20,01	20,10	30,38	12,22	8,78	0,7187	7,97	10,1907	9,2482	0,6523	718,7422
14	19,70	20,00	29,77	11,73	8,03	0,6843	7,28	10,3064	9,3434	0,6203	684,2837
15	20,00	19,85	29,84	11,85	8,22	0,6939	7,44	10,4539	9,4645	0,6282	693,8992
16	20,08	20,22	29,79	12,10	8,27	0,6840	7,51	10,2225	9,2744	0,6206	684,0092
17	20,15	20,16	29,80	12,11	8,32	0,6873	7,54	10,3257	9,3593	0,6230	687,2934
18	20,06	20,00	30,36	12,18	8,39	0,6886	7,60	10,2931	9,3325	0,6243	688,5960
19	20,14	19,95	30,51	12,26	8,87	0,7234	8,05	10,1875	9,2456	0,6566	723,4394
20	20,20	19,85	30,51	12,23	8,82	0,7210	8,01	10,1759	9,2360	0,6544	721,0417
21	20,03	19,92	30,41	12,13	8,82	0,7271	7,99	10,4271	9,4425	0,6584	727,0788
22	19,98	20,04	30,46	12,20	8,83	0,7242	8,00	10,4005	9,4207	0,6559	724,1559
23	19,99	20,11	30,45	12,24	8,86	0,7235	8,01	10,4962	9,4991	0,6547	723,4656
24	19,88	20,15	30,27	12,13	8,73	0,7198	7,93	10,1057	9,1782	0,6538	719,8192
25	19,92	20,05	30,05	12,00	8,63	0,7191	7,86	9,8296	8,9499	0,6547	719,0855
26	19,99	20,12	30,78	12,38	8,97	0,7245	8,13	10,3406	9,3715	0,6566	724,5023
27	20,04	19,91	30,94	12,34	8,91	0,7214	8,07	10,3046	9,3420	0,6540	721,3563
28	20,12	19,80	30,33	12,08	8,68	0,7185	7,89	10,0394	9,1234	0,6530	718,5348
29	19,70	20,05	30,24	11,94	8,58	0,7180	7,78	10,2902	9,3301	0,6510	718,0082
30	19,95	19,88	30,46	12,08	8,84	0,7320	8,02	10,2996	9,3379	0,6637	732,0122
průměr	20,02	20,02	30,19	12,10	8,57	0,7077	7,77	10,2987	9,3369	0,6416	707,6991
s.odch	0,1437	0,1082	0,3465	0,1552	0,2786	0,0164	0,254895	0,1507	0,1241	0,0151	16,4249
V.k.	0,7179	0,5404	1,1478	1,2832	3,2531	2,3208	3,282443	1,4639	1,329	2,3603	2,3208
rozptyl	0,0206	0,0117	0,1200	0,0241	0,0776	0,00027	0,064971	0,0227	0,0154	0,0002	269,77

Příloha II Měření hustoty buku s nepravým jádrem

15°								
20 m.s ⁻¹			30 m.s ⁻¹			40 m.s ⁻¹		
4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹
500	400	500	400	800	800	1000	600	700
500	700	600	600	800	900	1000	1100	1200
500	700	600	600	700	800	1100	1100	1200
500	600	600	500	700	800	900	1100	1200
500	600	600	600	700	800	800	1100	1200
400	600	600	500	800	800	1000	1100	1200
400	700	600	500	700	700	1000	1100	900
500	700	400	500	500	700	1000	1100	500
500	600	600	500	500	700	1000	700	1000
500	600	700	600	700	800	1000	1000	1100
500		600	700	600	700	1000	1100	1200
600		600	600	600		1100	1100	1100
500		700	600	600		1100	1100	1200
500		500	700	700		1100	1100	1200
600			700	700		1100	1100	700
600			700	700		1000	1100	
600			700			1000	1100	
600			600				1000	
			600					

20°								
20 m.s ⁻¹			30 m.s ⁻¹			40 m.s ⁻¹		
4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹
400	400	400	400	600	400	600	600	800
500	500	600	500	600	600	900	800	1000
500	500	600	500	700	700	900	900	1000
500	500	600	500	700	700	900	900	1000
500	500	600	500	700	600	1000	900	1100
500	500	600	500	700	700	1000	900	1100
500	500	400	600	600	600	900	900	700
500	400	500	600	400	700	900	900	1100
400	500	500	500	600	700	700	1000	1000
400	500	500	500	600	700	600	900	1100
400	500	600	500	600	700	900	1000	1100
400	500	600	500	600		800	1000	1100
500	500	600	500	600		800	1000	800
500			600	600		900	1000	
500			600	700		900	1000	
500			600			800	1000	
500			600				1000	
500								

25°								
20 m.s ⁻¹			30 m.s ⁻¹			40 m.s ⁻¹		
4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹
300	400	300	500	400	500	600	600	600
400	500	500	500	600	600	600	600	700
400	500	500	500	600	600	700	900	1000
400	500	500	300	600	600	800	900	900
400	500	600	400	600	600	800	900	800
400	500	600	600	600	500	900	900	900
400	500	500	400	600	700	900	900	1000
400	500	300	600	600	800	900	900	1000
400	400	500	500	400	700	800	600	600
400	500	500	500	300	500	800	600	800
400	500	500	500	500	300	900	700	1000
400	500	500	600	500		800	900	1000
400	500	500	400	600		900	900	1000
500	500	400	500	600		800	1000	800
400	500		500	600		900	1000	
400	500		400	600		800	1000	
400	400		600	600		900	900	
				500		700	1000	
				300		800		
						900		

Příloha III Naměřené hodnoty příkonu P [W] pro buk bez nepravého jádra

15°								
20 m.s ⁻¹			30 m.s ⁻¹			40 m.s ⁻¹		
4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹
500	600	500	600	800	500	1000	700	600
600	700	600	700	800	800	1100	800	1300
600	600	600	700	700	800	1200	1100	1300
500	600	600	600	700	700	1200	1100	1300
500	600	800	700	700	700	1100	1100	1200
500	600	800	700	800	700	1200	1100	1300
500	600	700	600	800	400	900	1100	1100
500	500	700	600	400	500	1100	1200	600
600	600	600	600	700	800	1100	1200	1100
700	600	500	700	700	700	1100	1200	1100
500	600	600	700	700	700	1100	700	1200
600	600	600	600	700	800	1100	1100	1200
600	600	600	700	700	800	1100	1200	1300
700	700	600	600	800	500	1000	1100	1400
600		600	700	700		1100	1200	1200
500		600	700			700	1300	
500		700	600				1300	
500			700				1300	
500								
600								
600								

20°								
20 m.s ⁻¹			30 m.s ⁻¹			40 m.s ⁻¹		
4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹
300	400	600	400	600	700	1000	600	1000
600	500	600	500	700	600	800	1000	1100
600	600	600	500	700	700	1000	1000	1000
600	500	600	600	700	700	900	1000	1100
600	500	600	600	700	700	900	1000	1300
500	500	600	600	700	600	900	1000	1100
500	500	400	500	700	800	900	1000	800
500	500	600	600	500	700	900	900	1200
500	500	600	600	400	700	900	1000	1100
600	700	600	600	600	700	900	1200	1100
500	600	700	600	700	800	1000	1100	1100
500	600	700	600	600	400	1000	1100	1200
600	600	700	600	600		1000	1100	800
500	600	400	600	600		900	1200	
400	700			700		900	700	
400	600			700		800		
500						900		
400						800		
						800		
						800		

						800		
						800		
						800		
						700		

25°								
20 m.s ⁻¹			30 m.s ⁻¹			40 m.s ⁻¹		
4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹	4 m.min ⁻¹	8 m.min ⁻¹	11 m.min ⁻¹
500	300	300	500	600	600	600	600	1100
500	400	500	500	600	600	400	900	1100
500	500	500	500	600	600	1000	1100	1000
500	500	500	500	600	600	1000	1000	600
500	500	600	500	600	600	1000	1000	600
500	400	600	500	500	600	1000	1100	600
500	500	400	500	300	600	900	1100	1000
500	500	500	500	400	600	900	1100	1000
400	500	400	500	600	600	900	1100	1100
400	500	500	500	600	600	900	900	600
500	600	500	500	600	700	900	900	600
500	600	500	400	600	500	900	900	600
400	500		300	600	700	1000	1000	700
500	600		400	600	700	1000	1100	1000
	600		500	600	500	600	1000	1000
	600			600		800	1000	1000
						900	900	1000
						900	900	1000
						800		
						800		
						800		
						900		
						900		
						900		

Příloha IV naměřené hodnoty příkonu P [W] pro buk s nepravým jádrem

	Tukeyův HSD test; průměrná P [W] Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 43366,, sv = 52,000		
Č. buňky	dřevina	{buk bez nepravého jádra} 681,07	{buk s nepravým jádrem} 721,96
1	buk bez nepravého jádra		0,473997
2	buk s nepravým jádrem	0,473997	

Příloha V Tukeyův test dřevin

Statist.	Statistické shrnutí P [W]
	Hodnota
Vícenás. R	0,9334
Vícenás. R2	0,8712
Upravené R2	0,8635
F(3,50)	112,7639
p	0,0000
Sm. chyba odhadu	76,5878

Příloha VI Statistické shrnutí

	Výsledky regrese se závislou proměnnou : příkon P [W] R= ,93339745 R2= ,87123081 Upravená R2= ,86350465 F(3,50)=112,76 p<0,0000 Sm					
N=54	Beta	Sm.chyba beta	B	Sm.chyba B	t(50)	Úroveň p
Abs.člen			262,0573	70,41689	3,72151	0,000503
úhel čela γ [°]	-0,303631	0,050748	-15,2744	2,55293	-5,98309	0,000000
řezná rychlost v_c [m.s ⁻¹]	0,867041	0,050748	21,8086	1,27646	17,08514	0,000000
podávací rychlost v_f [m.min ⁻¹]	0,165163	0,050748	11,8293	3,63470	3,25455	0,002040

Příloha VII Výsledky vícenásobné regrese

Č. buňky	úhel čela x řezná rychlost x podávací rychlost; Průměry MNČ Současný efekt: F(8, 27)=,56265, ρ=,79865 Dekompozice efektivní hypotézy							
	úhel čela γ [°]	řezná rychlost v _c [m.s ⁻¹]	podávací rychlost v _f [m.min ⁻¹]	příkon P [W] Průměr	příkon P [W] Sm.Ch.	příkon P [W] -95,00%	příkon P [W] +95,00%	N
1	15	20	4	536,905	29,90820	475,538	598,271	2
2	15	20	8	613,571	29,90820	552,205	674,938	2
3	15	20	11	607,563	29,90820	546,196	668,930	2
4	15	30	4	638,487	29,90820	577,120	699,853	2
5	15	30	8	694,167	29,90820	632,800	755,533	2
6	15	30	11	722,078	29,90820	660,711	783,444	2
7	15	40	4	1040,257	29,90820	978,891	1101,624	2
8	15	40	8	1069,444	29,90820	1008,078	1130,811	2
9	15	40	11	1093,333	29,90820	1031,967	1154,700	2
10	20	20	4	488,889	29,90820	427,522	550,255	2
11	20	20	8	520,433	29,90820	459,066	581,799	2
12	20	20	11	569,505	29,90820	508,139	630,872	2
13	20	30	4	546,849	29,90820	485,482	608,215	2
14	20	30	8	628,750	29,90820	567,383	690,117	2
15	20	30	11	660,227	29,90820	598,861	721,594	2
16	20	40	4	880,208	29,90820	818,842	941,575	2
17	20	40	8	958,431	29,90820	897,065	1019,798	2
18	20	40	11	1030,769	29,90820	969,403	1092,136	2
19	25	20	4	439,286	29,90820	377,919	500,652	2
20	25	20	8	494,301	29,90820	432,935	555,668	2
21	25	20	11	480,952	29,90820	419,586	542,319	2
22	25	30	4	480,784	29,90820	419,418	542,151	2
23	25	30	8	547,039	29,90820	485,673	608,406	2
24	25	30	11	594,242	29,90820	532,876	655,609	2
25	25	40	4	836,250	29,90820	774,883	897,617	2
26	25	40	8	905,556	29,90820	844,189	966,922	2
27	25	40	11	862,698	29,90820	801,332	924,065	2

Příloha VIII Průměrné příkony při různých podmínkách