

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ
KATEDRA ZPRACOVÁNÍ DŘEVA



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ**

Studijní obor: **DŘEVAŘSKÉ INŽENÝRSTVÍ**



**Vliv velikosti nastavení nože na energetickou
náročnost podélného krájení dýh**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
doc. Ing. Štefan Barcík, CSc

Autor:
Jiří Sedlák

Praha, leden 2012

Abstrakt

Vliv velikosti úhlu nastavení nože na energetickou náročnost podélného krájení

Diplomová práce poukazuje na různou energetickou náročnost podélného krájení smrkového, dubového a bukového dřeva.

Experiment probíhal při konstantní podávací rychlosti, kdy se na základě řezného odporu měřil řezný příkon stroje, který byl závislý na tloušťce třísky, druhu dřeviny a úhlu nastavení nože.

Klíčová slova

Tloušťka třísky, úhel nastavení nože, řezný klín, energetická náročnost, řezný výkon, řezný příkon

Abstract

Effect of angle blades size on the energy performance of longitudinal slicing veneers

This diploma work shows different energy performance of longitudinal slicing veneers of spruce, oak and beech. The experiment was taken with constant serving speed and cutting input was measured based on cutting resistance. Cutting input depended on splinter thickness, kind of wood and setting of knife angle.

Key words

Splinter thickness, setting of knife angle, cutting wedge, energy severity, cutting power, cutting input.

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Štefanovi Barčíkovi Csc. za odborné konzultace a tím i za jeho čas, který tomu musel věnovat a též za poskytnuté studijní materiály, které mně pomohly při řešení diplomové práce. Dále děkuji Ing. Kamilu Sedlákovi za odbornou pomoc při statistickém vyhodnocení a zpracování naměřených dat.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Štefana Barčíka Csc. a uvedl jsem v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Praze dne:

vlastnoruční podpis autora

Obsah

Seznam obrázků	- 3 -
Seznam tabulek	- 4 -
Seznam grafů	- 4 -
Seznam příloh	- 4 -
1. Úvod.....	- 5 -
2. Teoretická analýza současného stavu	- 6 -
2.1. Elementární řezání	- 7 -
2.2. Teorie tvoření třísky při elementárním řezání	- 9 -
2.3. Tvar a deformace třísky při základních modelech řezání.....	- 10 -
2.3.1. Podélné elementární řezání.....	- 10 -
2.3.2. Příčné elementární řezání	- 11 -
2.3.3. Tangenciální elementární řezání.....	- 12 -
3. Řezný nástroj	- 15 -
3.1. Vliv oddělených třísek na práci nástroje.....	- 16 -
3.2. Úhlová geometrie.....	- 16 -
3.3. Úhlové prvky řezného klínu	- 17 -
4. Základní modely úhlů řezání	- 19 -
4.1. Modely řezání s úhlem $\varphi_0 = 0^\circ$	- 20 -
4.2. Modely řezání s úhlem $\varphi_0 \neq 0^\circ$	- 21 -
5. Řezný výkon a řezný příkon	- 22 -
6. Proces krájení dýh.....	- 24 -
6.1. Krájecí nástroje	- 24 -
6.2. Řezné síly a potřebný výkon pro krájení	- 26 -
6.3. Krájecí stroje na dýhy	- 26 -
7. Metody měření řezného výkonu a řezného příkonu	- 28 -
7.1. První metoda měření:.....	- 28 -
7.2. Druhá metoda.....	- 29 -
7.3. Třetí metoda.....	- 30 -
8. Výpočet řezného výkonu	- 31 -
9. Metodika práce	- 33 -
9.1. Příprava zkušebních vzorků.....	- 33 -
9.2. Příprava strojního zařízení na experiment	- 34 -

9.3. Měření řezného příkonu	- 36 -
9.4. Charakteristika strojního zařízení	- 38 -
9.5. Charakteristika řezného nástroje	- 39 -
10. Výsledky a vyhodnocení	- 42 -
10.1. Výstupní signál	- 42 -
10.2. Řezný příkon	- 44 -
10.3. Vliv materiálu a úhlu φ_0 na řezný příkon při tloušťce třísky	- 45 -
0,1mm	- 45 -
10.4. Vliv materiálu a úhlu φ_0 na řezný příkon při tloušťce třísky	- 47 -
0,2 mm	- 47 -
10.5. Vliv materiálu a úhlu φ_0 na řezný příkon při tloušťce třísky	- 50 -
0,3 mm	- 50 -
11. Shrnutí	- 56 -
12. Přínos pro vědu a praxi	- 57 -
13. Závěr	- 58 -
14. Seznam použité literatury	- 59 -
15. Přílohy	-60-

Seznam obrázků

Obr. 1 Proces řezání.....	- 7 -
Obr. 2 Tříška s jednoduchým záštěpem.....	- 12 -
Obr. 3 Tříška s dvojitým záštěpem	- 13 -
Obr. 4 Tříška se záštěpem pod rovinou řezu	- 13 -
Obr. 5 Tříška se záštěpem nad rovinou řezu.....	- 13 -
Obr. 6 Tříška spirálová (souvislá).....	- 13 -
Obr. 7 Tříška zhuštěná (souvislá)	- 14 -
Obr. 8 Tříška s částečnými prasklinami.....	- 14 -
Obr. 9 Tříška souvislá.....	- 14 -
Obr. 10 Tříška dělená (částicová)	- 15 -
Obr. 11 Tříška souvislá s horizontální trhlinou pod obrobenou plochou	- 15 -
Obr. 12 Ideální řezná hrana.....	- 18 -
Obr. 13 Znázornění hlavních úhlů řezné hrany	- 18 -
Obr. 14 Profily tlakovnic	- 25 -
Obr. 15 Princip podélného krájení	- 27 -
Obr. 16 Části měřicího zařízení	- 29 -
Obr. 17 Snímač krouťicího momentu.....	- 29 -
Obr. 18 Měřicí zařízení A/D převodník.....	- 30 -
Obr. 19 Měřicí zařízení POWER Q PLUS MI 2392	- 31 -
Obr. 20 Schéma zapojení měřicího zařízení Power Q plus MI 2392	- 31 -
Obr. 21 Zkušební vzorky	- 34 -
Obr. 22 Zkušební vzorky	- 34 -
Obr. 23 Měření nepřímé kompenzace.....	- 35 -
Obr. 24 Číselníkový úchylkoměr.....	- 36 -
Obr. 25 Zařízení na měření podávací rychlosti.....	- 36 -
Obr. 26 Vlastní stroj.....	- 39 -
Obr. 27 Kazeta s uloženým nožem	- 40 -
Obr. 28 Nastavení tloušťky řezu.....	- 40 -
Obr. 29 Třmenový micrometr	- 41 -

Seznam tabulek

Tabulka 1 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti tloušťce třísky, úhlu φ_0 a druhu dřeviny	- 52 -
--	--------

Seznam grafů

Graf 1. Výstupní signál	- 42 -
Graf 2 Normální Gaussovo rozdělení	- 43 -
Graf 3 statistické vyhodnocení surových dat	- 44 -
Graf 4 Příkon stroje při hloubce řezu 0,1 mm a úhlu $\varphi_0=90$	- 45 -
Graf 5 Příkon stroje při hloubce řezu a úhlu $\varphi_0=75$	- 46 -
Graf 6 Příkon stroje při hloubce řezu 0,1 mm a úhlu $\varphi_0=45$	- 46 -
Graf 7 Příkon stroje při hloubce řezu 0,2 mm a úhlu $\varphi_0=90$	- 47 -
Graf 8 Příkon stroje při hloubce řezu 0,2 mm a úhlu $\varphi_0=75$	- 48 -
Graf 9 Příkon stroje při hloubce řezu 0,2 mm a úhlu $\varphi_0=45$	- 49 -
Graf 10 Příkon stroje při hloubce řezu 0,3 mm a úhlu $\varphi_0=90$	- 50 -
Graf 11 Příkon stroje při hloubce řezu 0,3 mm a úhlu $\varphi_0=75$	- 51 -
Graf 12 Příkon stroje při hloubce řezu 0,3 mm a úhlu $\varphi_0=45$	- 51 -
Graf 13 Příkon stroje v závislosti na hloubce řezu 0,1 mm, úhlu φ_0 a druhu dřeviny	- 53 -
Graf 14 Příkon stroje v závislosti na hloubce řezu 0,2 mm, úhlu φ_0 a druhu dřeviny	- 54 -
Graf 15 Příkon stroje v závislosti na hloubce řezu 0,3 mm, úhlu φ_0 a druhu dřeviny	- 55 -

Seznam příloh

Příloha 1 Naměřené hodnoty, průměrné hodnoty, směrodatná odchylka σ a 2σ spolehlivostní interval, 1 část	60
Příloha 2 Naměřené hodnoty, průměrné hodnoty, směrodatná odchylka σ a 2σ spolehlivostní interval, 2 část	61
Příloha 3 Číslování naměřených dat	62
Příloha 4 Import dat	63

1. Úvod

Jedním z hlavních požadavků obrábění je dosažení co největší hospodárnosti a produktivity. Proto je nutné zajistit, aby obrábění probíhalo při optimálních pracovních podmínkách. K tomu je tedy zapotřebí analyzovat vliv všech parametrů, jelikož řezný proces je velmi složitý a každý faktor, který se podílí na řezném procesu, ovlivňuje konečné výsledky obrábění.

Dalším aspektem obrábění je jeho energetická náročnost a ta je přímo navázána na správné nastavení pracovních podmínek obrobku, strojního zařízení a v neposlední řadě na nástroji. Otázka energetické náročnosti výroby se dostává do popředí zejména v posledních několika letech, jelikož v těchto letech cena energií dramaticky rostla. Určité zpomalení tohoto trendu bylo vidět s nástupem krize v roce 2008 – 2009. Tento fakt, ale nic nemění na dlouhodobém trendu nárůstu energií. Proto je tedy nutné dbát při procesu obrábění na správném nastavení technicko – technologických parametrů a tím držet energetickou náročnost obrábění v únosných mantinelech.

Hlavním úkolem této diplomové práce tedy bylo analyzovat, která z dřevin (dub, buk a smrk) potřebuje k oddělení dále technologicky zpracovatelné třísky (dýhy) nejmenší řezný příkon, respektive největší řezný příkon. V tomto případě probíhalo vlastní měření na podélné kráječce dých, která je určena zejména k výrobě tenkých dých (mikro-dých) v řádu desetin milimetru. Během vlastního procesu krájení dých docházelo ke změně několika technologických parametrů, které se poté zohledňovaly při vyhodnocování dat a měly částečný vliv na jednotlivé řezné příkony.

2. Teoretická analýza současného stavu

Obrábění je technologický proces, při němž vznikají povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebráním částic. Tento proces probíhá za pomoci fyzikálních a chemických pochodů.

Technologii obrábění lze považovat za jednu z nejstarších výrobních metod, kdy ji člověk použil již v nejrannějších dobách k opracování svých loveckých zbraní. Vznikem prvních nástrojů bylo předpokladem pro rozvoj ručního obrábění.

Pro rozmach strojního obrábění byl významným mezníkem vynález parního stroje (1776), kdy začalo docházet k masivnímu rozvoji metod obrábění, vývoji nových strojů a nástrojů. Po aplikaci nových zdrojů energie pro pohon obráběcích strojů, zejména elektřiny probíhá ruční obrábění jen ve zlomku operací obrábění. ^[1]

Z pohledu pochodů, které probíhají při obrábění lze jej rozdělit:

- Konveční (z obrobku se odebírají částičky materiálu pomocí řezného klínu nástroje ve formě třísek)
- Nekonveční (k obrobení materiálu se využívají chemické, elektrické pochody popřípadě jejich kombinace)

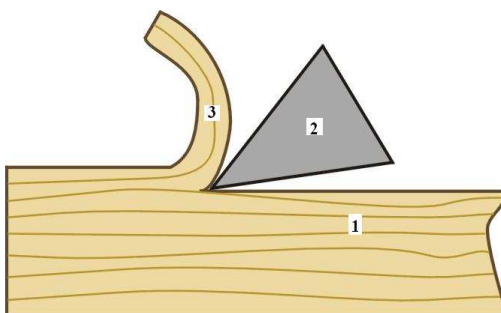
Strojové obrábění je složitý proces při kterém na sebe vzájemně působí celá řada technicko-technologických parametrů, které ovlivňují produktivitu a hospodárnost. Všeobecně lze říci, že s procesem obrábění na sebe vzájemně působí čtyři základní faktory:

- Obráběný materiál (druh a vlastnosti dřeva, druh polotovaru, jakost povrchu)
- řezný nástroj (tvar, tuhost, řezný materiál, způsob ostření, trvanlivost, řezná geometrie)
- obráběcí stroj (výkon, přesnost, pracovní možnosti, stupeň automatizace)
- Pracovní podmínky (posuv obrobku, tloušťka třísky a její průřez, řezná a posuvná síla, úhel φ_2) ^[1,2]

\

2.1.Elementární řezání

Pod pojem řezání si lze představit proces porušování dřevních částic pomocí řezného klínu vnikajícího do dřeva. Současně dochází k oddělení části hmoty od základního tělesa a tím k rozdělení na menší části, získání požadovaného tvaru nebo drsnosti povrchu. Definice vyplývá z níže uvedeného obrázku viz. Obr.1.



Obr. 1 Proces řezání

1- obrobek, 2 – řezný klín, 3 – tříška ^[6]

Řezným klínem lze definovat prakticky každé těleso klínovitého tvaru, které je tvrdší než obráběný materiál. Samostatným řezným klínem lze definovat každou ostrou hranu, odřezávající určitou část materiálu z obrobku. Specifickou vlastností dřevěných materiálů je jejich nehomogenost vlivem uspořádání vláken, letokruhů a dřeňových paprsků. Z tohoto pohledu je proces obrábění ovlivněn nejen technicky a kvalitativně, ale i esteticky (vzniklé kresby a zrcátka na obrobené ploše).

Vzhledem k tomu jakým způsobem je v kmeni stromu uspořádání vláken směrem k jeho vrcholu připadají v úvahu dva typy vedení řezného klínu a to:

- Po vláknech
- Proti vláknům (pro tento způsob obrábění je charakteristický vznik záštěpů a trhlin)

Při vedení řezného klínu po vláknech se obráběná plocha nepoškozuje a nevznikají tedy žádné záštěpy. Tento způsob obrábění se zohledňuje jen u rostlého materiálu tzv. „Masivu“. U aglomerovaných materiálů nelze zohlednit obrábění po vláknech nebo proti vláknům, jelikož se nedá jednoznačně určit směr těchto vláken a to díky jejich dezintegraci. ^[2,3]

Podle působících vlivů na proces řezání jej můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

- Řezání elementární
- Řezání složité

Podle poměru délky ostří k šířce řezu je možné mluvit o třech variantách řezání:

- Řezání otevřené
- Řezání polo-uzavřené
- Řezání uzavřené

Řezání otevřené - Je charakterizováno podmínkou, aby vzniklá tříška mohla volně odcházet. Dále by šířka obrobku měla být užší než délka břitu nástroje.

Řezání uzavřené - Ve většině případů obrábění se jedná o složité řezání a s tím je spojené též uzavřené řezání. Jedná se o to, že nástroj vytvoří při jednom průchodu dvě až tři obrobené plochy. Řezání se účastní také boční břity nástroje, které vytváří spolu s hlavním břitem stěny řezné spáry nebo drážky.^[2,3,4]

Elementární proces je takový proces, který splňuje následující podmínky:

1. Řezná rychlost $v = \text{konst.}$
2. Posuvná rychlost $u = \text{konst. a přímočará}$
3. Tloušťka odřezávané vrstvy $h = \text{konst.}$
4. Vektor řezného pohybu $v = \text{přímocharý}$
5. Odklon ostří od kolmice na vektor $v_0 = 0$
6. Úhel mezi vektorem v a směrem vláken $\varphi_2 = \text{konst.}$
7. Druh řezání: otevřené – délka ostří větší než šířka obrobku

Všeobecně můžeme říci, že výskyt elementárního řezání je velmi malý. Jakmile dojde k porušení alespoň jedné výše uvedené podmínky, už nelze proces považovat za elementární, nýbrž za složitý.^[2]

2.2. Teorie tvoření třísky při elementárním řezání

Pod pojmem teorie tvoření třísek se rozumí část učení o řezání, která se zabývá zákonitostmi procesu dělení třísky ve vzájemném spojení s jevy na kontaktních plochách řezného klínu. Silovým působením nástroje na materiál obrobku a jejich vzájemným relativním pohybem se oddělují z obráběného materiálu částičky ve formě třísky. Charakter řezného procesu, a tím i tvar vytvářené třísky závisí hlavně na vlastnostech obráběného materiálu a na řezných podmínkách. V průběhu tvoření třísky lze pozorovat vznik trhlin a to zejména u nehomogenních materiálů, které mají určitým způsobem orientovaná vlákna.

Správným pochopením vzniku třísek je následná aplikace v procesu řezání pro dosažení technického nebo technologického efektu: snížení spotřeby energie řezného procesu, zvýšení kvality obrobených povrchů a kvality třísky jako poloprojektu – následné využití v jiných technologiích.

Porovnání řezného procesu dřeva a dřevních materiálů ukazují, že nekonečně velké číslo možných kombinací výchozích podmínek řezání vede ke dvěma způsobům tvoření třísek – ustáleného a neustáleného.^[3,4]

Ustálený proces - probíhá nepřerušovaně, není doprovázen rozrušenými zónami tvoření třísek v obráběném materiálu a je charakteristický tvorbou souvislé třísky ve formě pásu nebo spirály.

Neustálený proces – probíhá v opakujících se intervalech, které jsou vyvolané rozrušením zóny tvoření třísek a tím, že plastická deformace odřezávané vrstvy završuje tvoření souvislé třísky a začíná se tvořit částicová tříska, která se skládá z oddělených částic udržujících nebo neudržujících si spojení mezi sebou (řezání pilovými kotouči).^[1,2]

Tvar, rozměry a technologická využitelnost třísky je závislá od:

- Způsobu řezání (podélné, příčné a čelní)
- Řezného úhlu δ
- Druhu dřeva (listnaté, jehličnaté)
- Vlhkosti dřeva
- Úhlu odklonu řezné hrany (λ)
- Úhlu odklonu řezných vláken (φ_1)
- Úhlu přeřezávání vláken (φ_2)
- Úhlu sklonu dřevních vláken (φ_3)
- Poměru zaoblení řezné hrany (r_n)

Tříska je definována zejména průřezem a tvarem. Pokud se mluví o rozměrech a tvaru třísky berou se vždy jen její nominální hodnoty před jejím oddělením z obrobku, jelikož po oddělení dochází k její deformaci jak v podélném, tak v příčném směru. Velikost a tvar třísky se určuje v rovině kolmé k ploše řezání procházející ostřím. Průřez třísky je určen její tloušťkou a šířkou. Nominální délka l se rovná délce průchodu nástroje, kdežto skutečná délka l' je vlivem stlačení menší. Poměr těchto dvou veličin se nazývá koeficientem podélného stlačení. ^[2]

Průřez třísky :	$F = s \cdot b$ [mm ²]	s – tloušťka třísky [mm]
Objem třísky:	$V = s \cdot b \cdot l$ [mm ³]	b – šířka třísky [mm]
		l – délka třísky [mm]

2.3. Tvar a deformace třísky při základních modelech řezání

2.3.1. Podélné elementární řezání

- **Tříska spirálovitá hladká, tenká (souvislá)**
vzniká před řeznou hranou, kdy je tento proces vyvolán tlakovým napětím (např. tlakovnice při loupání dýh). Pro vznik tohoto typu třísky musí být nejprve splněny některé technologické podmínky a to dřevo střední vlhkosti a střední hodnoty řezného

úhlu δ . Přičemž vzniká velmi kvalitní řezná plocha. V důsledku stálého kontaktu ostří s materiálem dochází k rychlejšímu otupování než u jiných typů třísek viz. obr. 6

- **Tříska mnohoúhelníková, polámaná na určité délky (souvislá)**

vzniká při velkých tloušťkách třísky a menších úhlech řezání $\delta = 20 - 70^\circ$, další podmínkou je nízká vlhkost její jednotlivé části jsou přibližně stejně dlouhé a jsou tím delší, čím je tlustší odebíraná tříska. Je charakteristická vznikem záštěpů (trhlin) před ostřím nože. Při velké tloušťce třísky a malé délce obrobku nedochází k odříznutí třísky a následnému zlomu, nýbrž k odštípnutí třísky a zlom se nevytvoří. Důležitým faktorem kvality obrobené plochy je úhel φ_2 . Pokud je nulový (je rovnoběžný s vlákny) nehrozí velké nebezpečí vzniku záštěpů, ale pokud se obrábí s malými úhly φ_2 obrábí „proti vláknům“ jsou záštěpy velké a zasahují pod úroveň ostří do obrobené plochy a tím se jakost této plochy značně zhoršuje viz. obr. .^[2,3]

- **Tříska vydutá (částicová, přerušovaná)**

Vzniká při tloušťkách třísky 1mm a více. Úhel řezu by měl mít $\delta = 70^\circ$ a více stupňů. Při

2.3.2. Příčné elementární řezání

Tříska při čelním elementárním řezání je ovlivněna zejména řezným úhlem a tloušťkou třísky. Při $\delta > 75^\circ$ a tloušťce $h < 0,25$ mm vzniká tříska v takové frakci, že není téměř možné třísku definovat a zařadit. Naopak při $\delta < 75^\circ$ a tloušťce $h > 0,25$ mm vzniká tříska, kdy dochází k defomacím a porušením dřevních částic nad rovinou řezu(před nástrojem), ale i pod ní (praskliny jsou jak podél s vlákny, tak i kolmo na ně).^[2,3]

- **Tříska dělená (částicová)**

viz.obr.10

- **Tříska souvislá (s trhlinami)**

vzniká při malých tloušťkách třísky, ostrém nástroji (respektive malém poloměru otupení řezné hrany r_n) a malém úhlu δ . viz obr. 9

- **Tříska souvislá s horizontální trhlinou pod obrobenou plochou**

Vzniká při velkých tloušťkách třísky, viz obr.11

- **Tříška souvislá s trhlinami přecházející k třísce souvislé s horizontální trhlinou pod obrobenu plochou**

Přirozenou změnou podmínek řezání je vyvolaný přechod z jednoho typu třísky k druhé. Tříška vzniká u dřevin si větší objemovou hmotností a růstem tloušťky třísky, poloměru zaoblení řezné hrany a poklesem vlhkosti dřeviny, viz. obr. 9, 11

2.3.3. Tangenciální elementární řezání

Kolmá složka výslednice tlaku čela zubu na třísku vyvolává napětí v nepříznivém směru kolmo na vlákna, kde má dřevo nejnižší pevnosti. Z toho vyplývá, že tříška je popraskaná podél vláken a k tento proces probíhá zejména v oblasti jarního dřeva, které se vyznačuje menšími pevnostmi. V oblastech zpracování dřeva, kde se chce využít tangenciálního řezání, které má výhodu v menší stříhové pevnosti dřeva oproti čelnímu řezání 3 až 5x je nutné provést hypotermickou úpravu dřeva a použít přítlačnou lištu (tlakovnici). To se odráží v oblasti spotřeby energie a prodloužení trvanlivosti ostří. ^[2,3]

- **Tříška souvislá**

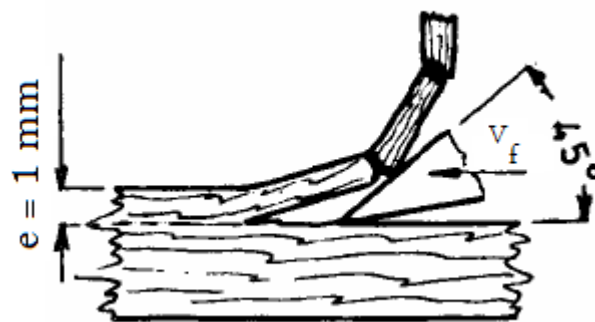
Na vnitřní straně se nachází trhliny, čím je tloušťka třísky větší, tím je i vzdálenost trhlín větší (např. tangenciální loupání, krájení).

- **Tříška dělená (částicová) – smyková**

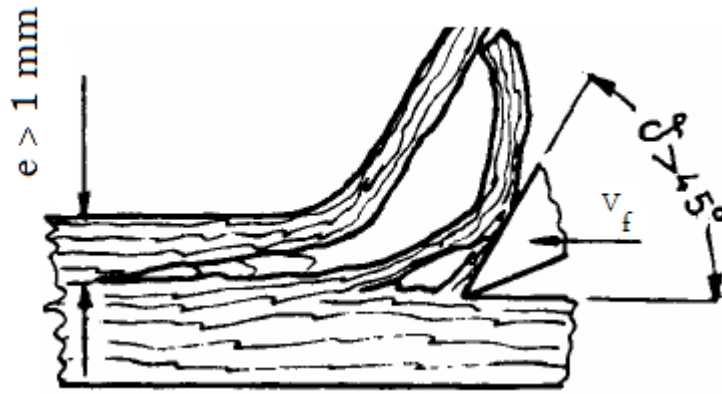
Délka částic je tím větší čím je tříška silnější. Vzniká při obrábění tenkých tlouštěk při úhlu $\delta = 50 - 90^\circ$, viz obr. 2,3,4,5

- **Tříška trhaná**

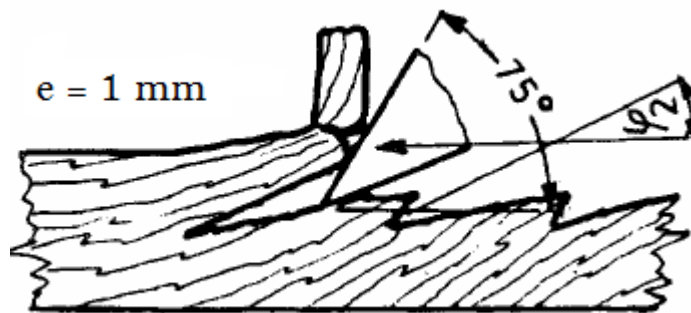
Vzniká při velkých tlouštěkách a velkém úhlu δ , viz. obr.4



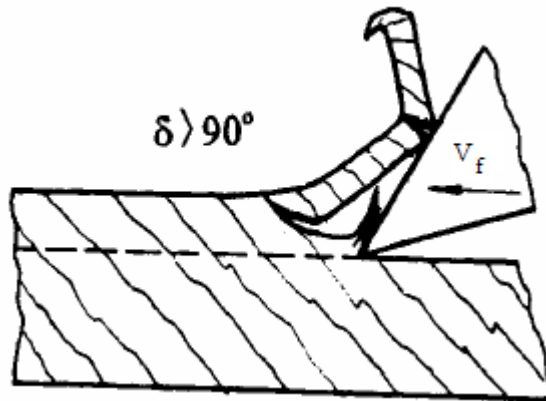
Obr. 2 tříška s jednoduchým záštěpem ^[3]



Obr. 3 tříška s dvojitým záštěpem ^[3]



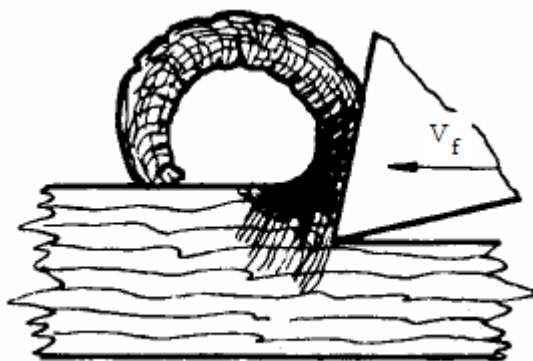
Obr. 4 tříška se záštěpem pod rovinou řezu ^[3]



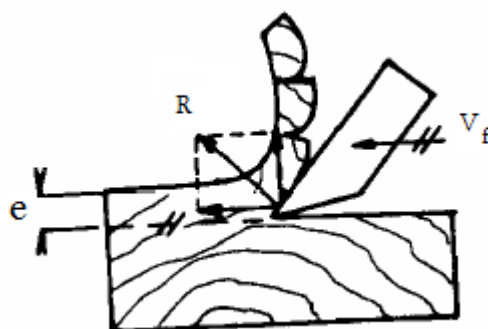
Obr. 5 tříška se záštěpem nad rovinou řezu ^[3]



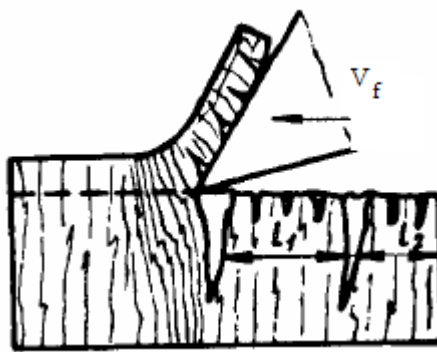
Obr. 6 tříška spirálová (souvislá) ^[3]



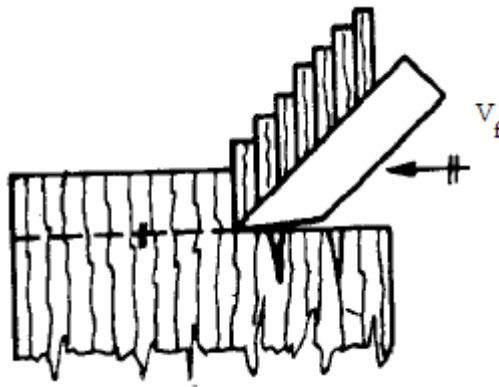
Obr. 7 tříška zhuštěná (souvislá) ^[3]



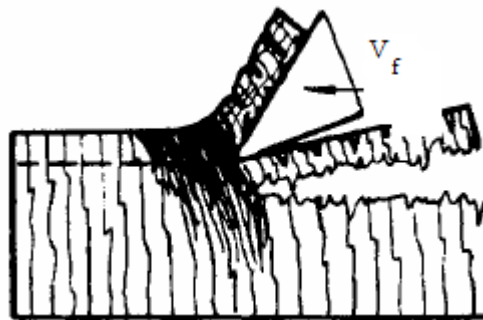
Obr. 8 tříška s částečnými prasklinami ^[3]



Obr. 9 tříška souvislá ^[3]



Obr. 10 tříška dělená (částicová) ^[3]



Obr. 11 tříška souvislá s horizontální trhlinou pod obrobenou plochou ^[3]

3. Řezný nástroj

Lze definovat v praxi jako těleso různého tvaru, na kterém je jedna nebo více řezných hran. Nástroj je možné rozdělit na několik částí a to na funkční část, část upínací a tělo nástroje. Upínací část je napojena přímo na řeznou část nebo zprostředkovaně přes tělo nástroje. Z teoretického hlediska je každý činný řezný klín řezným nástrojem.

Nástroje je možné dělit podle mnoha hledisek, proto uvádím jedno z mnoha, které lze vztáhnout na všechny typy nástrojů.

- Jednobřité – mají jen jeden nůž např. (krájecí nůž)
- Několikabřité – mají několik břitů uspořádaných za sebou ve směru řezného pohybu např. (fréza)
- Mnohabřité – nemají přesně stanovený počet břitů, ale mohou být uspořádány s pravidelnou geometrií, např. pilník nebo nepravidelnou geometrií (brusné pásy)^[1]

3.1. Vliv oddělených třísek na práci nástroje

Při obrábění některými nástroji vzniká tříška, která se nikterak nepodílí na práci nástroje např. (krájecí nůž, frézovací hlava). Naopak je celá řada nástrojů, kde se vzniklá tříška přímo podílí na práci nástroje (např. u pilových kotoučů, vrtáky) a ovlivňují tvar daného nástroje, jelikož nástroj musí pojmout vytvořenou třísku a odvést ji pryč z obráběného místa mimo obrobek.⁸

To ovlivňuje tvar a velikost otvoru mezi zuby. Při konstrukci daného nástroje je třeba zohlednit tento aspekt a dbát na to, aby mezera byla dostatečně velká a pojala veškerou hmotu a to i s dostatečnou rezervou, jelikož tříška je v nakypřeném stavu a má 3x větší rozměry oproti nominální třísce.^[2]

3.2. Úhlová geometrie

Proces, při kterém vzniká tříška, probíhá působením těch částí řezného klínu, které jsou v přímém kontaktu s obráběným materiálem. Geometrický tvar řezného klínu jednoznačně ovlivňuje řezný proces a je funkční částí nástroje. Z tohoto vyplývá, že na tvaru a velikosti klínu závisí velikost řezných sil, trvanlivost ostří, jakosti obrobenej plochy atd.

Hlavní břit je tvořen čelem a hřbetem nástroje. Průsečíkem těchto ploch nazýváme hlavním ostřím. Pokud se mluví o ideálním ostří je dáno také průnikem rovin čela a hřbetu je však jen teoretické. Skutečné ostří má vždy nějaký poloměr zaoblení r_n a to z důvodu nedokonalého naostření, jelikož čím větší záběr připadal na jedno zrno ostřičího kotouče a čím nedokonalejší byly i ostatní podmínky ostření tím vzniká různě velký poloměr zaoblení.

Je ještě zapotřebí se zmínit o bočním ostří, které se uplatňuje u uzavřeného řezání (např. při frézování drážek). Toto ostří je tvořeno průnikem čela a bočními plochami nástroje.

U některých nástrojů s malým úhlem břitu (např. krájecí nože) se pevnost břitů zvýší vytvořením předčelí (fazetky) širokého několik desetin milimetru až 2 mm popř. 3mm.

U pilových kotoučů je možné zbrousit část hřbetu a tím vytvořit plošku širokou několik desetin milimetru, která se nazývá „zábřit“ a zvětšuje úhel břitu. Tímto opatřením se zvětšuje pevnost břitu a zmenší se odchylky od řezné kružnice.

Geometrii řezného klínu je možné popsat staticky pomocí nástrojových úhlů nebo kinematicky a to ve smyslu nástroje a obrobku pomocí pracovních úhlů. Nástrojové úhly slouží převážně ke

konstrukci, výrobě a ostření nástrojů. Pracovní úhly popisují především vztah mezi obrobkem a nástrojem během procesu řezání.^[1,2,3]

3.3. Úhlové prvky řezného klínu

Čelo – je to plocha řezného klínu, po které odchází tříska při svém pohybu z místa řezu. Je tepelně nejvíce zatíženou částí řezného klínu

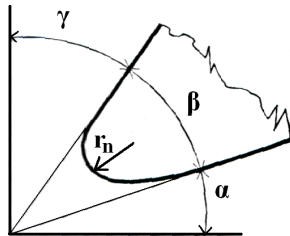
Hřbet – je to plocha řezného klínu, přiléhající k obrobku.

Úhel hřbetu α – tento úhel je uzavřený řezným povrchem a hřbetovou plochou klínu a tím ovlivňuje velikost tření mezi hřbetem a plochou řezu. Když se tento úhel zmenšuje, tím se zvětšuje styková plocha hřbetu s plochou řezu. Z tohoto vyplývá, že dochází k většímu tření mezi těmito plochami, proto je lepší volit úhel co největší, aby se tření snižovalo. Samozřejmě v kontextu s ostatními úhly, jelikož se všechny úhly vzájemně ovlivňují.

Úhel břitu β (úhel řezného klínu) – uzavřený čelní a hřbetovou plochou. Čím je úhel větší, tím se zvětšuje odpor vnikání do dřeva. Z tohoto by se dalo usoudit, že by měl být úhel co nejmenší, ale není tomu tak, jelikož při malém úhlu břitu dochází k rychlejšímu otupování ostří. Všeobecně lze říci, že pro řezání měkkých dřevin se používají menší úhly břitu a u tvrdších dřevin je tomu naopak. Na úhel břitu má také vliv materiál z jakého je nástroj vyroben. U slinutých karbidů je třeba volit větší úhly, jelikož jsou křehčí než nástrojové oceli, kde je možné naopak použít menší úhly břitu.

Úhel čela γ a úhel řezu δ – úhel čela je též nazývaný úhlem třískovým, jelikož přímo ovlivňuje tvoření třísky a její jakost. Je uzavřený čelní plochou a rovinou kolmou na obrobenou plochu. Na řezný proces má největší vliv. Zvětšováním úhlu řezu zmenšuje úhel čela a stoupá odpor dřeva proti vnikání zubu (řezný odpor). Zmenšováním úhlu řezu klesá řezný odpor, ale jen do určité hodnoty úhlu řezu. Pokud se dále snižuje dochází ke ztrátě pevnosti břitu a k rychlému otupování. Úhel čela má vliv i na drsnost povrchu. Úhel řezu se pohybuje v hodnotách od 12° až do 120° . Při úhlu 90° se tříska neodřezává, nýbrž se odškrabává a to i se všemi negativními vlivy.^[1,2,3,4]

Lze říci, že ideální řezná hrana je průsečíkem hřbetové a čelní plochy řezného klínu. Skutečnou, respektive v praxi reálnou řeznou hranou je ploška s poloměrem r_n viz. Obr.12



α – úhel hřbetu

β – úhel ostří

γ – úhel čela

r_n – poloměr zaoblení řezné hrany

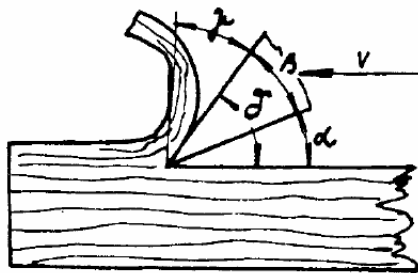
Obr. 12 ideální řezná hrana^[3,6]

Součtem úhlů čela, hřbetu a úhlu řezného klínu dostaneme 90°

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Součtem úhlů hřbetu a úhlu ostří dostaneme řezný úhel, který je značen symbolem δ

$$\alpha + \beta = \delta = 90^\circ - \gamma$$



Obr. 13 Znázornění hlavních úhlů řezné hrany^[3]

4. Základní modely úhlů řezání

Anizotropní vlastnosti dřeva, které jsou způsobeny odlišnými fyzikálně mechanickými vlastnostmi jarního a letního dřeva z velké části ovlivňují proces řezání. Z tohoto pohledu je tedy potřeba definovat jednotlivé směry pohybu břitu vzhledem ke směru vláken a průběhu letokruhů. V základních případech pohybu břitu jde o tyto směry podélný, tangenciální (popř. radiální) a příčný. Pokud jde o podélném řezání nástroj se pohybuje rovnoběžně s vlákny a břit je kolmo na vlákna. V dalším případě se jedná o tangenciální řezání, kde se nástroj pohybuje kolmo na vlákna, ale břit je rovnoběžný s vlákny. Při příčném řezání se nástroj pohybuje ve směru kolmém na dřevní vlákna. Břit je kolmý ke směru vláken. Pod pojmem radiální řez se rozumí řez vedený v rovině procházející osou kmene. Je třeba dodat, že při obrábění dřeva dochází jen v malém počtu případů v základních směrech pohybu. Většinou se jedná o jejich kombinace a proto se zavádí další veličina a to tzv. úhel styku φ , který svírá směr dřevních vláken s vektorem rychlosti nástroje popřípadě směrem ostří.^[2,3]

K definování modelu řezání je nutné zachovat postup od jednoduchého k složitějšímu. Proto se vychází ze základních podmínek definujících elementární řezání, kde $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ mohou mít dvě východiska:

- Kterýkoliv z těchto úhlů může mít krajní hodnotu ($0^\circ - 90^\circ$)
- Kterýkoliv z těchto úhlů je větší než 0° a menší než 90°

φ_0 – úhel mezi polohou ostří a kolmicí na vektor V_c (řezná rychlost)

φ_1 – úhel mezi polohou ostří a směrem dřevních vláken

φ_2 – úhel mezi rovinou řezu a směrem dřevních vláken

φ_3 – úhel mezi směrem vláken dřeva a směrem vektoru (V_c)

V prvním případě se jedná o tyto tři základní modely řezání:

- Podélné
- Příčné
- Tangenciální

V druhém případě vznikají čtyři kombinace výše uvedených modelů:

- Podélně příčné
- Podélně tangenciální
- Tangenciálně příčné
- Podélně tangenciálně příčné

Dělicí rovinou výše uvedené terminologie je úhel 45°

4.1. Modely řezání s úhlem $\varphi_0 = 0^\circ$

Podélné řezání je definované:

- Kolmou polohou ostří k dřevním vláknům ($\varphi_1 = 90^\circ$)
- Rovnoběžným pohybem ostří s dřevními vlákny ($\varphi_3 = 0^\circ$)
- Rovnoběžností plochy řezu s dřevními vlákny ($\varphi_2 = 0^\circ$)

Příčné řezání je definované:

- Kolmou orientací ostří k vláknům ($\varphi_1 = 90^\circ$)
- Kolmostí plochy řezu ($\varphi_2 = 90^\circ$)
- Kolmým směrem vektoru řezné rychlosti na vlákna ($\varphi_3 = 90^\circ$)

Tangenciální řezání:

- Rovnoběžnou polohou ostří s vlákny
- Rovnoběžností plochy řezu s vlákny
- Celková charakteristika je ($\varphi_1 = 0^\circ$), ($\varphi_2 = 0^\circ$), ($\varphi_3 = 90^\circ$)

Kombinované modely řezání $\varphi_0 = 0^\circ$

Podélně – příčné řezání:

$$\varphi_1 = 90^\circ, \quad 0^\circ < \varphi_2 < 90^\circ, \quad \varphi_3 = 0^\circ$$

- Velmi často se vyskytuje jako hlavní ostří pilových zubů, hlavní ostří fréz atd.

Řezání podélně - tangenciální

$$0^\circ < \varphi_1 < 90^\circ, \quad \varphi_2 = 0^\circ, \quad 0^\circ < \varphi_3 < 90^\circ,$$

- Vyskytuje se u krájecích a stříhacích nožů

Řezání tangenciálně příčné:

- Je možné popsat šikmým sklonem roviny řezu k dřevním vláknům a kolmým pohybem ostří na vlákna

$$0^\circ < \varphi_1 = \varphi_2 < 90^\circ, \quad \varphi_3 = 90^\circ$$

- Lze nalézt u bočního ostří pilových zubů u rámových pil s přerušovaným posuvem za volného zdvihu

Řezání podélně – příčné – tangenciální

$$0^\circ < \varphi_1 < 90^\circ, \quad 0^\circ < \varphi_2 < 90^\circ, \quad 0^\circ < \varphi_3 < 90^\circ$$

- Je všeobecným případem řezání, vyskytuje se zřídka

4.2. Modely řezání s úhlem $\varphi_0 \neq 0^\circ$

- Mění základní model řezání v kombinovaný a to v rozmezí hodnot úhlu φ_0 od nuly až 90° .

Tangenciální řezání:

- Probíhá v rozmezí hodnot úhlu $0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$,
- Vzniká přechodem ze základního modelu do kombinace tangenciálně – podélného řezání
- $\varphi_1 = \varphi_0, \quad \varphi_2 = 0^\circ, \quad \varphi_3 = 90^\circ$
- vyskytuje se u krájení a stříhání dých

Příčné řezání:

- jde způsob, kdy se plochy řezu na vlákna ani při úhlu $\varphi_0 \neq 0$ nezmění, jelikož jsou všechny tři úhly pravé. Jediný úhel u kterého došlo k transformaci je řezný úhel a to tím, že se mění sklon pohybu ostří k letokruhům.

Podélné řezání:

Tato modifikace řezání se v podmínkách $\varphi_0 \neq 0$ mění na model podélně – tangenciálního řezání s charakteristikou:

$$\varphi_0 = \varphi_1 < 90^\circ, \quad \varphi_2 = 0^\circ, \quad \varphi_3 = 0^\circ$$

Řezání v kombinovaných modifikacích:

Řezání podélně – příčné

- za podmínky $0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$, přechází tento model do univerzální modifikace podélně – příčné – tangenciálního řezání

Řezání tangenciálně – příčné

- vlivem úhlu $\varphi_0 \neq 0^\circ$ přechází tento model do trojkombinace tangenciálně – příčné – podélného řezání^[2,3]

5. Řezný výkon a řezný příkon

Úsilím každého výrobce je stlačit výrobní náklady na co nejnižší úroveň a proto by se měli zajímat o svoji energetickou náročnost strojního zařízení. Toto platí také pro dřevozpracující průmysl, jelikož toto odvětví je značně náročné na spotřebu elektrické energie. Proto každé snížení energetické náročnosti strojního zařízení se významně projevuje v provozních nákladech. Z tohoto pohledu vlastní energetickou náročnost ovlivňuje více faktorů počínaje obráběnou dřevinou a dále pak zvolením správného materiálu nástroje, úhlové geometrie a stanovení správných řezných podmínek (řezná rychlost, rychlost posuvu a posuv na zub). Správnou aplikací těchto parametrů lze významně ovlivňovat energetickou náročnost strojního zařízení. Ke zjištění nastavení správných řezných podmínek a zvolení optimálního obráběcího nástroje je možné vycházet z přesně definovaných experimentů nebo na základě zkušeností z praxe.^[5]

Příkon motoru P_p – je to součin napětí, proudu, účinníku $\cos \varphi$, jinými slovy se jedná o výkon odebraný ze sítě. Ukazuje zatížení elektrické napájecí sítě a je možné ho vyjádřit vztahem:

$$P_p = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

kde: U – napětí v síti [V]

I – elektrický proud [A]

$\cos \varphi$ – účinník [-]

Pokud je stroj respektive motor zapojený v trojfázové soustavě, příkon elektromotoru lze vypočítat ze vztahu jako tři jednofázové zatížení:

$$P_p = U_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R + U_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S + U_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T \quad [\text{W}]$$

Řezný výkon P_c

Je to výkon, který lze definovat jako výsledek skalárního součinu vektoru síly F_c a vektoru řezné rychlosti v_c v určitém okamžiku, při konkrétní operaci a daných řezných podmínkách. Řezný výkon je možné také definovat jako množství práce vynaložené za jednu sekundu. Jednotkou řezného výkonu je $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Při experimentech je možné sledovat dva druhy příkonů. A to příkon motoru bez zatížení (volnoběhu) P_{po} . Tento příkon se měří na strojním zařízení, kde se neobrábí žádný obrobek a vykonává práci na prázdko. Naměřená hodnota je ovlivněna jen třením v uložení převodů a ztrát motoru.

Druhou veličinou je příkon motoru při technologické operaci P_{pr} . Je to vlastně příkon motoru P_{po} , ke kterému se přičetla práce vzniklá při vlastní technologické operaci.^[2]

Řezný výkon je možné vyjádřit několika způsoby:

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad [\text{W}]$$

kde: F_c - síla [N]

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

Řezný výkon je možné vyjádřit z množství práce vynaložené za jednu sekundu

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

Pokud jsou známy oba příkony a vezme se v úvahu, že absolutní ztráty motoru jsou stejně velké v obou případech tj. na volnoběh a při zatížení obráběným materiálem je možné využít pro výpočet řezného výkonu následující rovnice:

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

η_c - celková účinnost stroje

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

η_{el} – účinnost elektromotoru

η_{re} – účinnost řemenového převodu

6. Proces krájení dýh

Jedním z hlavních znaků tohoto procesu je řezání, které se uskutečňuje pohybem jednoho činitele procesu a to buď nástroje (nože) nebo obrobku. Krájením nazýváme způsob beztržkového obrábění, kdy se odděluje souvislá vrstva dřeva (dýha) o konstantní tloušťce. Vzniklá tříska je hlavním produktem, nikoliv vedlejším.

Řezný proces probíhá v modelech podélně – příčný, příčně – podélný (podélné a příčné krájení dýh).^[5]

Proces krájení dýh má několik variant a lze ho rozdělit do několika technických řešení:

- vodorovný vratný pohyb nože se svislým periodickým posuvem dřeva (o tloušťku třísky)
- svislý – šikmý vratný pohyb nože se svislým periodickým posuvem nože
- stabilní pevný nůž s vodorovně oběžným dřevem (obrobkem), podélné krájení – systém firmy MARUNAKA
- dřevní objekt s periodickým posuvným pohybem o tloušťku destičky
- pohyb nože svisle vratný, s periodickým vodorovným posuvem dřevního objektu

Princip krájení je takový, že dřevní objekt (výřez) se nejprve hydrotermicky upraví, odkorní a pásovou pilou se vytvoří dvě na sebe kolmé plochy, aby bylo možné výřez uchytit do stroje. Tříska (dýha) se odřezává z teplého a mokrého výřezu, jelikož hydrotermickou úpravou dojde k vyšší plasticitě dřeva (poklesu modulu pružnosti) a tím k snadnějšímu odřezání třísky od zbytku dřevní hmoty. Je třeba si uvědomit, že nesprávnou tepelnou přípravou dřeva je jedna z hlavních příčin nevyhovující jakosti povrchu dýh a výskytu trhlin (vlhkost dřeva by neměla klesnout pod 30 %).^[3,5]

6.1. Krájecí nástroje

Všeobecně se dá říci, že krájecím nástrojem je plochý nůž upevněný v suportu krájecího stroje. Nůž je ještě nutné doplnit přítlačnou lištou, která zabraňuje záštěpům a popraskání dýhy, která stlačuje dýhu v oblasti vnikání břitu do dřeva.

Vzájemnou polohu nože a přítlačné lišty vyjadřuje vztah:

$$h = s_0 \cdot \operatorname{tg} \delta \quad [\text{mm}]$$

kde: h – kolmá vzdálenost břitu od prodlouženého čela přítlačné lišty

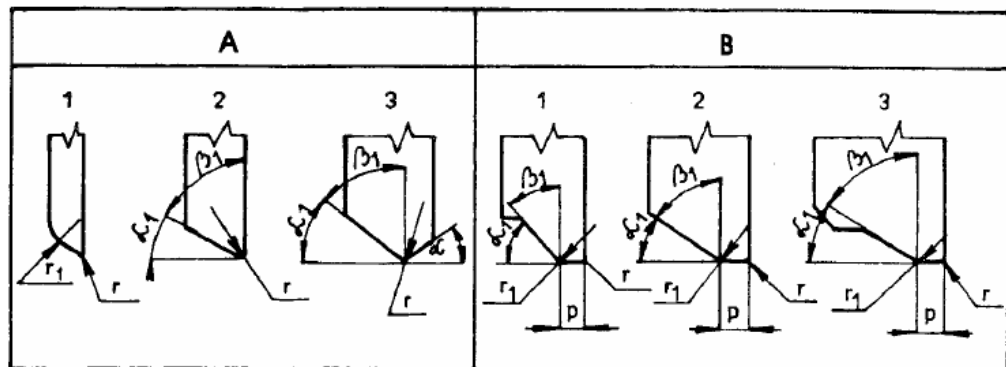
s_0 – vzdálenost hrany tlačné lišty kolmo ke směru řezného pohybu

δ – úhel řezu

Tento vztah vyjadřuje podmínku, že hrana přítlačné lišty je na kolmici k čelu nože vztyčené na břitu nože.

Krájecí nože se vyrábějí z oceli 19711 (Poldi Duplex), která se naplátuje na nosnou část nože. Přítlačná lišta se vyrábí z oceli 19452. Krájecí Nůž má přesně vyfrézované oválné upevňovací otvory pro upevňovací šrouby. Úhlová geometrie nože se pohybuje v rozmezí těchto hodnot úhel ostří $\beta \pm 17 - 18^\circ$, $\alpha \pm 1 - 2^\circ$, $\delta \pm 18 - 20^\circ$. Geometrie nože je podmíněna požadavkem na co nejmenší odklon třísky z její původní polohy, aby vzniklé trhliny v dýze byly co nejmenší, proto se úhel δ volí co nejmenší. Tuto podmínku je nutné brát v potaz v souladu s trvanlivostí ostří.

Doplňujícím nástrojem krájecího nože je přítlačná lišta (tlakovnice), která je též umístěná v suportu a zajišťuje přítlak. Tlakovnice mohou mít různé průřezy a profily viz. Obr.14



Obr. 14 Profily tlakovnic ^[3]

Přítlakem materiálu přítlačnou lištou se trhliny a záštěpy omezují, ale může naopak docházet působením tlakovnice nebezpečí vzniku trhlin na povrchu výřezu a tím se veškeré tyto nedostatky řezání objeví na následující dýze. Správnou funkci může tlakovnice plnit jen pokud je správně naostřená a nastavená vůči noži. ^[2,3,4]

6.2. Řezné síly a potřebný výkon pro krájení

Níže uvedený výpočet je možné použít jak pro krájení dých, tak i pro loupání a krájení destiček.
Postup výpočtu podle Berdšadského [Prokeš 1982]:

Měrný řezný odpor K:

při krájení dubu

$$K = (0,25 - 0,0025t) + (0,027 - 0,00021t)\Delta + \frac{\alpha_g(0,34 - 0,003t)}{s}$$

při krájení buku

$$K = (0,22 - 0,0021t) + (0,023 - 0,00017t)\Delta + \frac{\alpha_g(0,34 - 0,003t)}{s}$$

kde: t – teplota dřeva při krájení

α_g - součinitel otupení nože

Řezná síla P při délce L:

$$P = K \cdot s \cdot L \quad [\text{daN}]$$

Radiální síla R při krájení břízy při teplotě 20°C:

$$R = \left[\frac{0,125}{s^{0,42}} - 0,2 + 0,185(\Delta s)^{0,5} \right] \cdot L \quad [\text{daN}]$$

6.3. Krájecí stroje na dýhy

V zásadě se používají dva principy krájení:

- -příčné krájení prizem
- -podélné krájení prizem

Stroje na příčné krájení prizem jsou nejvíce rozšířeny a vyrábějí se v konstrukčních uspořádáních:

- vodorovné
- svislé
- šikmé

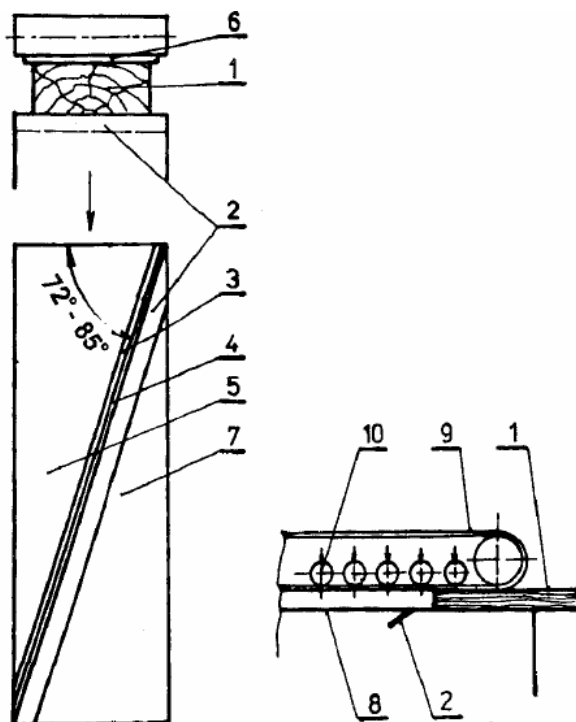
- rotační

Stroje na podélné krájení dýh

Princip systému spočívá v pohybu prizmy k stabilnímu řeznému mechanismu rovnoběžném s vlákny v podélném směru krájené prizmy viz. Obr. 15. Tento způsob krájení vznikl v Japonsku (fy. Marunaka a Takekawa Iron Works).

Nůž je vůči vektoru v postaveny s velkým úhlem φ_0 . Stroj má dva stoly. Přední je výškově přestavitelný a zadním stole je komplet nože s tlakovnicí v rozmezí $72 - 85^\circ$. Podávací mechanismus tvoří gumový pás s odpruženými přítlačnými válci s pneumaticky regulovatelnou silou přítlaku. Takto vzniklá dýha odchází ze stroje pod stolem a dále je zpracována. Pro zvýšení produktivity se krájená prizma vrací a obíhá okolo stroje na začátek procesu. Výrobní kapacita podélných kráječek na dýhy je podstatně nižší než u ostatních systémů i přes fakt, že krájená prizma se neustále vrací na začátek procesu. Tyto strojní zařízení se využívají v malých provozech (malé náklady, malá spotřeba energie, nenáročné na prostor, jednoduchá obsluha).

Kvalitní dýha vzniká už od tloušťky 0,25 mm a je možné krájet tloušťky až 8 mm. ^[3,4]



1 – prizma, 2 – nůž, 3 – tlakovnice, 4 – mezera pro průchod dýhy, 5 – přední stůl, 6 – přítlačný a podávací mechanismus, 7 – zadní stůl, 8 – stůl, 9 – podávací pás, 10 – přítlačný válec

Obr. 15 Princip podélného krájení

7. Metody měření řezného výkonu a řezného příkonu

Řezný výkon a řezný příkon je možné měřit několika způsoby a různými typy zařízení.

- Snímáním kroutícího momentu na hnací hřídeli
- pomocí A/D převodníku propojeného s počítačem
- měřicí aparaturou analyzující kvalitu elektrické sítě

7.1. První metoda měření:

Způsob jakým probíhá vlastní měření je takový, že se umístí snímač kroutícího momentu na hnací hřídel a z naměřených dat je poté možné spočítat daný kroutící moment. Vychází se z působící síly a vzdáleností mezi bodem otáčení a působištěm síly, kdy se tyto dvě veličiny vynásobí. Jednotky kroutícího momentu dle soustavy SI jsou newton metr [N.m].

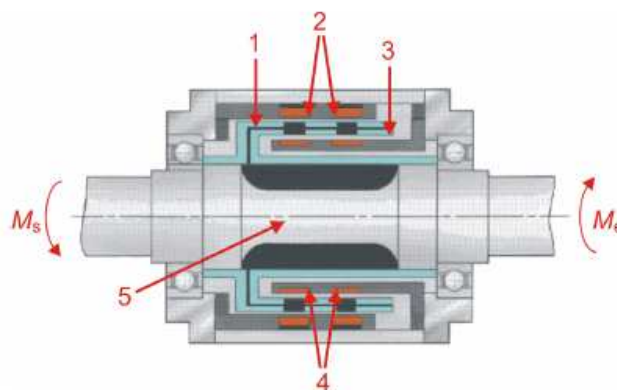
Velikost kroutícího momentu $[M_k]$ je možné vyjádřit vztahem:

$$M_k = F_c \cdot r$$

kde: F_c – řezná síla [N]

r – rameno [m]

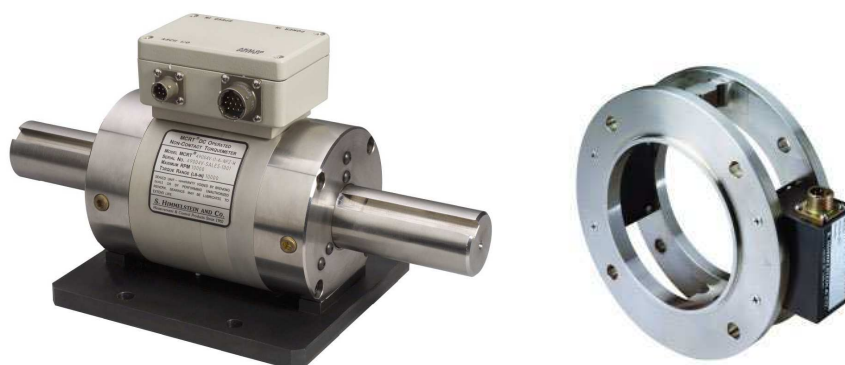
Měřicí zařízení se skládá z několika částí, které jsou na obr. 11. Zařízení snímá změnu kroutícího momentu a převádí ho na elektrický signál. Zařízení tento zachycený signál zpracuje a vyhodnotí pomocí elektroniky, která signál převede na elektromagnetickou sílu na napětí v rozsahu +10 a -10 V. Hodnota napětí je závislá od směru působení kroutícího momentu. ^[6,7]



Obr. 16 části měřícího zařízení [6,7]

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

Zařízení na snímání kroutícího momentu je celá řada a jsou v různých konstrukčních provedeních dle jednotlivých výrobců.

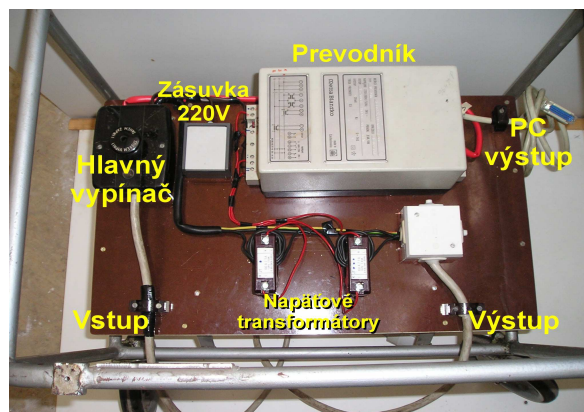


Obr. 17 Snímač kroutícího momentu [6,7]

7.2.Druhá metoda

V tomto případě se jedná o metodu, kdy se do elektrické sítě zapojí převodník, který je nainstalován před vstupem do strojního zařízení. Zařízení, které poté vyhodnocuje naměřená data se nazývá A/D převodník.

Principem tohoto experimentálního měření je systém založený na změně proudu, který pohání elektromotor z rozvodné sítě. Převodník výkonu obr. 8 snímá změnu odběru proudu z elektrické sítě a dále pak tyto hodnoty převádí na analogový signál. Tento signál se zpracovává A/D převodníkem a transformuje ho do číselné podoby programem Suchomel. Program je schopen zaznamenat hodnoty řezného příkonu v časovém rozmezí 0,5 s.



Obr. 18 Měřící zařízení A/D převodník [6,7]

7.3. Třetí metoda

Tato metoda měření řezného výkonu, respektive měření řezného příkonu je založená a postavená na rozboru kvality elektrické sítě. Pro tento účel měření je zkonstruován přístroj (měřící zařízení), který je zapojen do elektrické sítě před vstupem jednotlivých fází do elektromotoru stroje.

Princip měření je založený na změně odebíraného proudu pohonné jednotky podélné kráječky dyh. Měřící zařízení snímá změnu odebíraného proudu I , aktuální hodnotu napětí U a na tomto základě nasnímaného fázového posunu též účinník $\cos \varphi$. Na tomto základě je schopen přístroj vypočítat příkon přístroje. Řezný příkon lze vyjádřit vztahem:

$$P_p = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

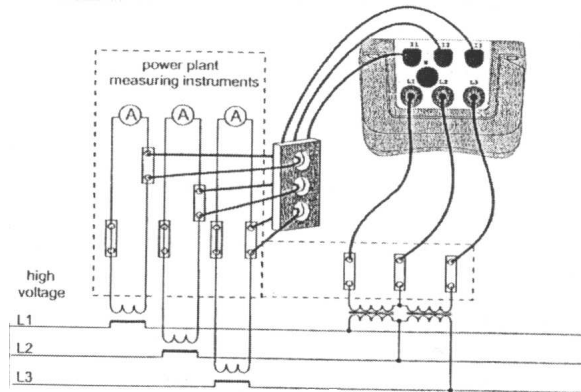
Hodnoty jsou snímány v intervalu jedné sekundy. V této jedné sekundě přístroj zaznamenává 1024 hodnot, které přístroj zprůměruje a tyto hodnoty jsou podkladem k dalšímu vyhodnocení.

Vzhledem k tomu, že proces obrábění je velmi rychlý je velmi obtížné zaznamenat hodnoty příkonu v takto krátkém čase. Proto je toto zařízení výhodné z pohledu zaznamenávání minimálních a maximálních hodnot. Měřící zařízení POWER Q PLUS MI 2392 analyzuje všechny tři fáze průběžně a to i se všemi charakteristikami rozvodné sítě. Propojení přístroje s počítačem probíhá pomocí USB portu a programu POWER Q link.

Přístroj se skládá z proudových kleští, které jsou nastavitelné podle velikosti procházejícího proudu, dále pak z napětíových svorek, napájecího adaptéru a vlastního měřícího přístroje POWER Q PLUS MI 2392. [6,7]



Obr. 19 Měřicí zařízení POWER Q PLUS MI 2392



Obr. 20 Schéma zapojení měřícího zařízení Power Q plus MI 2392 [6,7]

8. Výpočet řezného výkonu

Pokud se mluví o výpočtu řezného výkonu a řezné síly je možné zmínit dva způsoby výpočtu řezného výkonu technologicko – statisticky nebo empiricky. K těmto způsobům se došlo dlouhodobým studiem řezného výkonu. Tyto poznatky se aplikují hlavně při výpočtu dimenzování elektromotorů a jejich síly.

Technologicky – statisticky:

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

$$F_c = \frac{k_c \cdot b \cdot e}{1000} \quad [\text{N}]$$

kde: 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 (mm)

e – řezná výška (mm)

v_f – rychlost posuvu ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)

Řezná síla na jednotku plochy řezu k_c se určí z tabulkové hodnoty k_{ct} a jednotlivých faktorů vlivu podle vztahu (Siklienka, 1994)

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

kde: K_d – faktor vlivu dřeviny

K_w – faktor vlivu vlhkosti

K_m – faktor vlivu opotřebení

K_δ – faktor vlivu řezného úhlu

K_e – faktor vlivu řezné výšky

Empirický (Lubčenko, 1986)

Řezný výkon P_c lze vyjádřit empirickým vztahem:

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

f_z – posuv na zub [mm]

e – výška řezné spáry [mm]

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

δ – řezný úhel [°]

r_n – poloměr zaoblení řezné hrany [μm]

ρ – hustota dřeva [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

b – šířka řezu [mm]

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

$$C_{r\Delta} = 7 \cdot 10^{-7}$$

$$a_Y = 0,88$$

$$a = 0,97$$

$$k_Y = 1,41$$

$$k = 1,43z$$

$$m_Y = 1,7$$

$$m = 1,6$$

V některých případech by se dalo říci, že naměřené hodnoty řezného výkonu shodné s hodnotami řezného výkonu stanovené pomocí teoretických výpočtů.

Z řezného výkonu naměřeného pomocí wattmetru a řezného výkonu zjištěného pomocí výpočtu z naměřené řezné síly vyplývá, že hodnoty řezného výkonu mají vzájemně vysoký korelační koeficient. To nám dovoluje stanovovat řeznou sílu na základě změřeného řezného výkonu.

Z tohoto vyplývá, že je možné stanovit řeznou sílu na základě změřeného řezného příkonu^[2,3]

9. Metodika práce

9.1. Příprava zkušebních vzorků

Vlastní experiment probíhal v dílnách firmy Truhlářství Jiří Sedlák, která se zabývá zakázkovou výrobou celého sortimentu truhlářských výrobků. Firma disponuje běžným strojním zařízením, kterým je vybavena téměř každá truhlářská dílna. Vyjimku ze strojního zařízení tvoří podélná kráječka dých, na které byly prováděny dané experimenty.

Prvním předpokladem pro vznik této práce byla kvalitní příprava zkušebních vzorků. Tyto vzorky byly pořízeny z řeziva zakoupeného ve firmě Truhlářství DOMINO Nezvěstice pro účely diplomové práce. Zakoupený materiál byl ve formě fošen o tloušťce 53 mm a délce 4100 ± 30 mm, který byl přepraven do dílen a dále zpracován. Jednalo se středové řezivo a to z důvodu, aby se zajistil radiální průběh vláken. Poté se z fošen vymanipulovaly potřebné vzorky s příslušnými přídávky na opracování. Způsob jakým se vzorky vymanipulovaly byl příčně – podélný tzn., že se z dané fošny nejprve délkově zkrátily s příslušným délkovým přídávkem (cca. 50 mm) a poté se podélně rozřezaly s vláknem opět s přídávkem na šířku (5 mm). Rozřezávání se provádělo na kotoučové pile s podávacím vozíkem. Další operací, která proběhla bylo přesné ofrézování a zkrácení na přesný rozměr. Vzorky se nejprve srovnaly na srovnávací frézce do pravého úhlu, respektive vznikly dvě na sebe kolmé rovinné plochy. Dále se vzorky vložily do tloušťkovací frézky a egalizovaly se na stanovenou tloušťku. 35x35 mm. Takto vzniklé vzorky se délkově zkrátily na délku 1000 mm a byly připraveny pro vlastní experiment. Byly ve formě hranolků o jmenovitých rozměrech 35 x 35 x 1000 mm. Vzorky byly zhotoveny ve třech variantách dle zadání práce. Jednalo se o tři druhy dřevin a to smrk, dub a buk viz Obr 21,22.



Obr. 21 Zkušební vzorky



Obr. 22 Zkušební vzorky

Nákup a vlastní příprava vzorků proběhla v jednom dni následovaná zhotovením experimentu. V této fázi bylo možné již zahájit přípravu vlastního experimentu a připravit, nastavit dle zadaných parametrů vlastní strojní zařízení na experiment.

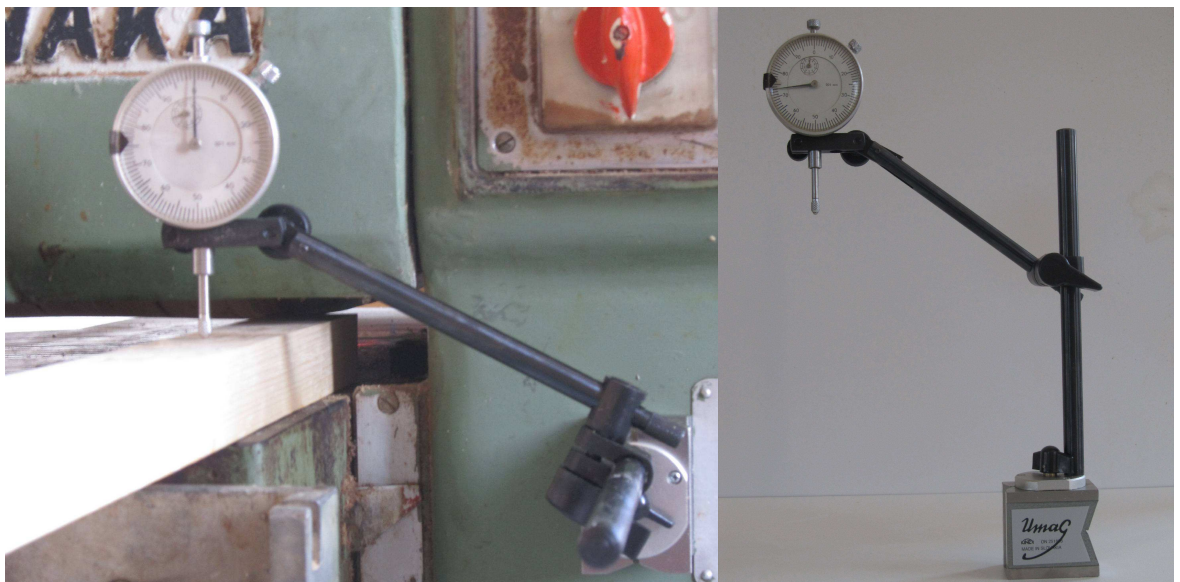
9.2. Příprava strojního zařízení na experiment

Před zahájením experimentu byla potřeba provést celá řada opatření a připravit stroj na měření, jelikož daný stroj není primárně konstruovaný a postavený na experimentální měření, nýbrž je určen pro průmyslové využití. Z tohoto vyplývá, že bylo zapotřebí nainstalovat a připevnit některé držáky na měřicí aparaturu na konstrukci stroje. Jedním ze způsobů připevnění držáku ke konstrukci strojního zařízení je možné použít magnetický stojánek. Tento stojánek je vhodný,

jelikož vybaven dostatečně silným permanentním magnetem, aby po připevnění nedošlo k posunutí po konstrukci stroje vlivem vibrací. Za další výhodu lze považovat to, že není zapotřebí žádným způsobem narušovat konstrukci strojního zařízení. Stojánek je konstruován, tak že má masivní přesně broušenou podstavu, v které je umístěn permanentní magnet. Intenzitu permanentního magnetu je možné snížit pomocí vypínače na únosnou mez, aby proběhla bezproblémová montáž, demontáž. Dále je stojánek složen ze dvou ramínek, která mají na svém konci úchyty na měřicí přístroj a je možné s nimi pohybovat ve všech směrech, respektive ve všech osách (x,y,z).

Ve stojánku byl připevněn číselníkový úchylkoměr, kterým byl měřen úbytek materiálu při krájení, z čehož bylo možné usuzovat na velikost nepřímé kompenzace přítlačné síly. Z důvodu technické náročnosti nebyla měřena absolutní hodnota přítlačné síly. Na základě zkušeností byla zvolena příslušná přítlačná síla, která byla v průběhu celého měření udržována na konstantní hodnotě. Zmiňovaná nepřímá kompenzace probíhala tak, že se obrobek položil na pracovní stůl a nastavil se konkrétní přítlak pomocí otočného kola přes pohybové šrouby, které nastavily konkrétní polohu pracovního stolu vůči podávacímu pásu a tím pádem se nastavil i přítlak obrobku k pracovnímu stolu viz obr. 23. Za předpokladu, že by se tak nestalo, docházelo by k různým přítlakům a tím i k ovlivnění řezných příkonů a následnému zkreslení naměřených dat a výsledků.

Stojánek byl vyroben firmou Kinex, která se specializuje na přesné strojírenské výrobky a v neposlední řadě na přesnou upevňovací techniku pro měřicí přístroje.



Obr. 23 Měření nepřímé kompenzace

9.3. Měření řezného příkonu

Měření řezného příkonu se provádělo na podélné kráječce dýh v dílně firmy Truhlářství Jiří Sedlák. Zkušební tělesa (hranolky) měly přesně stanovené rozměry, které byly předem stanoveny na základě konzultací a tyto rozměry byly 35 x 35 x 1000 mm (šířka x šířka x délka ve směru vláken). Tyto vzorky byly zhotoveny ze středového řeziva a třech druhů dřevin (dub, buk a smrk). Odřezávání dýhy probíhalo v tangenciální ploše a to ve třech tloušťkách dýhy 0,1 mm, 0,2 mm a 0,3 mm. Tloušťka třísky byla nastavena pomocí číselníkového úchylkoměru, pro který byl zhotoven upínací držák viz obr.24.



Obr. 24 číselníkový úchylkoměr

Měření probíhalo při konstantní podávací rychlosti $94,5 \text{ m/min}^{-1}$, která byla zjištěna pomocí přístroje na měření podávacích rychlostí a otáček PHOTO/CONTACT TACHOMETER DT – 2236. Tento přístroj naměřil podávací rychlost kontaktní způsobem tzn. že se přístroj přímo položil na podávací pás a tím byla zjištěna konkrétní hodnota podávací rychlosti viz obr.25



Obr. 25 Zařízení na měření podávací rychlosti

Měření řezného příkonu probíhalo pomocí přístroje Metrel Power Q Plus MI 2392. Tento přístroj zaznamenával jednotlivé příkony v čase. Vlastní měření probíhalo tím způsobem, že se mezi přívodní kabel (16 A/400 V) a strojní zařízení vložil další kabel, který byl uzpůsoben na toto měření a je specifický tím, že má tři konce. Jeden konec se připojil do sítě a druhý konec ke strojnímu zařízení. Do třetího konce se připojily měřící kolíky, které se zasunuly do třech zdírek s fázemi (L_1, L_2, L_3). Kabel má v jedné části odstraněnou vnější izolaci vodičů a jednotlivé vodiče jsou vloženy do kleští. Tyto kleště jsou v podstatě cívky, které měří magnetické pole vodičů a tím nepřímo měří procházející proud. Je třeba dodat, že je nutné zachovat stejné zapojení měřících kolíků a měřících kleští, aby byly zapojeny na stejné fáze, jinak by došlo ke zkreslení měření. V této fázi bylo možné zahájit měření.

Vlastní experiment probíhal po celou dobu při konstantní podávací rychlosti $94,5 \text{ m/s}^{-1}$, jak bylo zmíněno výše. První sada měření probíhala při nastavení tloušťky třísky $0,1 \text{ mm}$ a nastavení úhlu nože vůči obrobku na hodnotě 90° . Při tomto nastavení se provádělo měření na třech dřevinách a to na dubu, buku a smrku. U každé dřeviny se měření provádělo 10x po sobě, aby bylo možné s těmito daty dále pracovat. V této fázi byla první sada měření ukončena a bylo nutné podélnou kráječku přestavit na druhou sadu měření. Nové nastavení proběhlo tím způsobem, že v pracovním stole je uložena kazeta s krájecím nožem a tu bylo zapotřebí vyjmout a přestavit nůž na jinou tloušťku třísky a to na $0,2 \text{ mm}$. Přestavení nože se věnuje kapitola charakteristika řezného nástroje. Takto přestavená kazeta s nožem nastaveným na $0,2 \text{ mm}$ se vrátila zpět do pracovního stolu a zajistila se proti pohybu. Dále se nastavil úhel kazety vůči obrobku na 75° a to tak, že část stolu v kterém je uložena kazeta s nožem je možné otáčet v rozmezí úhlů $45^\circ - 90^\circ$. V této chvíli byl stroj připraven na druhou sadu měření a bylo tedy možné zahájit druhou část experimentu. Tato část měření proběhla v podstatě stejným způsobem, jak je zmíněno u první sady měření, ale za jiných technologických podmínek (tloušťka třísky, úhel φ_0). Po ukončení druhé sady měření proběhlo nové přestavení krájecího nože na $0,3 \text{ mm}$ a zpětné vrácení kazety do pracovního stolu stroje a nastavení úhlu φ_0 na hodnotu 45° . Poté bylo možné zahájit třetí sadu měření. Stejně jako v předchozích dvou případech proběhlo měření u třech dřevin a u každé dřeviny došlo k deseti průchodům strojem.

Po ukončení všech variant parametrů byla měřící aparatura odpojena od kabelu a vše bylo uvedeno do původního stavu před zahájením experimentu.

Záznamové zařízení z naměřených údajů vypočetlo řezný příkon podle vzorce:

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

a celkový příkon:

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

Naměřené hodnoty byly poté staženy z měřicího přístroje METREL POWER Q Plus MI 2392 pomocí programu POWERVIEW. Takto vzniklá data byla exportována do programu Microsoft Excel ve formě přehledných tabulek. Tato data byla dále zpracována a vyhodnocena pomocí programu MATLAB.

9.4. Charakteristika strojního zařízení

Experiment byl proveden na podélné kráječce dřív, typ NEW ROYAL – 10, MARUNAKA viz obr. 26. Jedná se o strojní zařízení rumunské výroby. Konstrukce stroje je v masivním provedení a hlavní nosná část je zhotovena jako litinový odlitek, ve kterém je umístěna pohonná jednotka s převody a dalším nutným zařízením pro chod stroje. Pohon stroje zabezpečuje elektromotor o výkonu 2,2 kW a na podávací mechanismus je přenášen pomocí řemenového převodu. Vlastní podávací mechanismus je v podstatě gumový pás, který zabezpečuje podávání obrobku konstantní rychlostí $94,5 \text{ m/min}^{-1}$. Druhou funkcí podávacího pásu je vytvoření dostatečného přítlaku obrobku k pracovnímu stolu, aby pás neprokluzoval a tím nedocházelo k jeho rychlému opotřebování. Proti pásu ve vertikální ose je pohyblivý pracovní stůl, který je možné výškově přestavovat pomocí otočného kola přes pohybové šrouby až do rozměru obrobku 180 mm. Obrobek je možné volit až do šířky pracovního stolu tj. 275 mm Uprostřed stolu je umístěn kruhový suport, ve kterém je uložena kazeta s krájecím nožem a je možné ji kdykoliv snadným způsobem vyjmout a nastavit tak jinou tloušťku třísky(dřívky). Suport je možné natočit vůči obrobku v rozmezí $45^\circ - 90^\circ$. Důsledkem různého nastavení úhlu se mění řezný odpor a tím i řezný příkon stroje.

Základní technické parametry podélné kráječky dřív, typ NEW ROYAL – 10, licence fy. MARUNAKA:

• proudová soustava	230/400	[V]
• příkon	2,2	[kW]
• kmitočet	50/60	[Hz]
• rok výroby	1975	
• váha	500	[kg]
• výrobce	Made in Romain, UMARO	



Obr. 26 Vlastní stroj

9.5. Charakteristika řezného nástroje

Pracovním (řezným) nástrojem byl plochý nůž, který byl osazen ve vyjímatelné kazetě, kterou bylo možné kdykoliv vyjmout ze stroje viz obr. 27, 28, 29. Nůž byl složen ze dvou dílů navzájem spojených pomocí šroubů. Nože byly vůči sobě vzájemně posunuty a jeden z nich sloužil jako odlamovač třísky. Tloušťka třísky se nastavovala pomocí dvou šroubů, které nůž posouvaly v nosné kazetě a tím se nastavovala i tloušťka třísky. Přesné nastavení tloušťky řezu

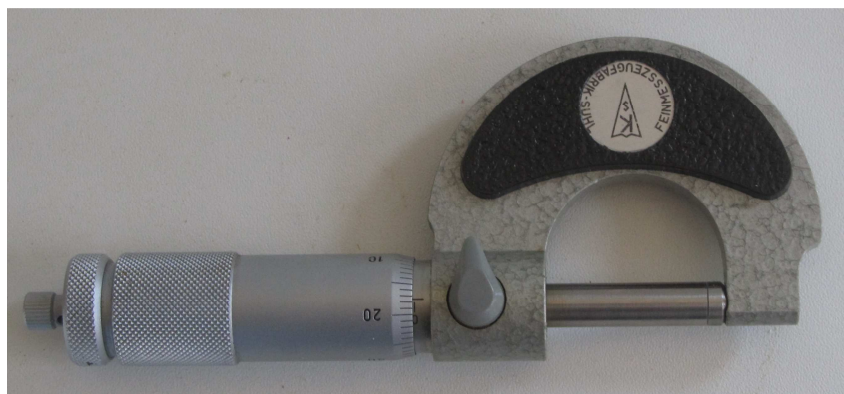
se provádělo pomocí číselníkového úchylkoměru, který byl upevněn v držáku k tomu určenému. Pro kontrolu správného nastavení nože se přeměřovala tloušťka vzniklé třísky pomocí třmenového micrometru a tím bylo možné získat zpětnou vazbu. Pokud tloušťka třísky neodpovídala nastavené tloušťce řezu, provedla se korekce a celý postup se opakoval znovu.



Obr. 27 Kazeta s uloženým nožem



Obr. 28 Nastavení tloušťky řezu



Obr. 29 Třmenový micrometr

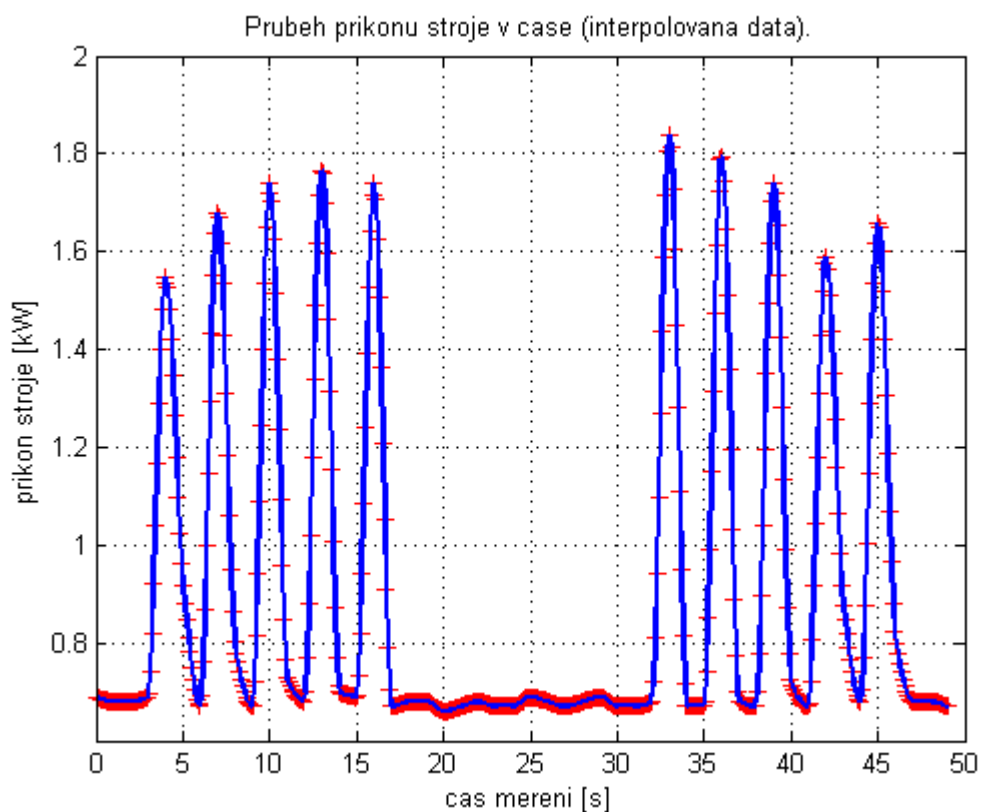
Základní parametry nože:

- šířka nože 620 [mm]
- délka nože 335 [mm]
- tloušťka nože 8 [mm]

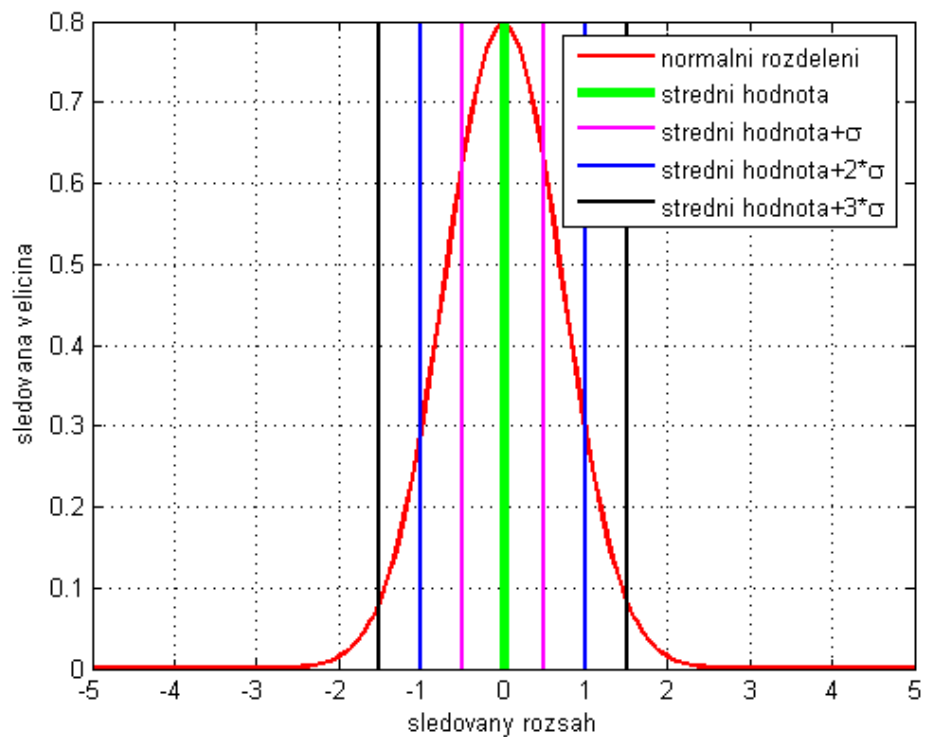
10. Výsledky a vyhodnocení

10.1. Výstupní signál

Tento graf zaznamenává průběh příkonu v čase a je v něm zaznamenán výstupní signál z přístroje Power Metrel Q MI 2392. V tomto formátu byly všechna naměřená data, která se dále zpracovávala. Horní hranice grafu vyjadřuje maximální příkony. Dolní hranice grafu vyznačená červeně ukazuje, kdy stroj běžel na prázdko (bez zatížení) viz. Graf 1

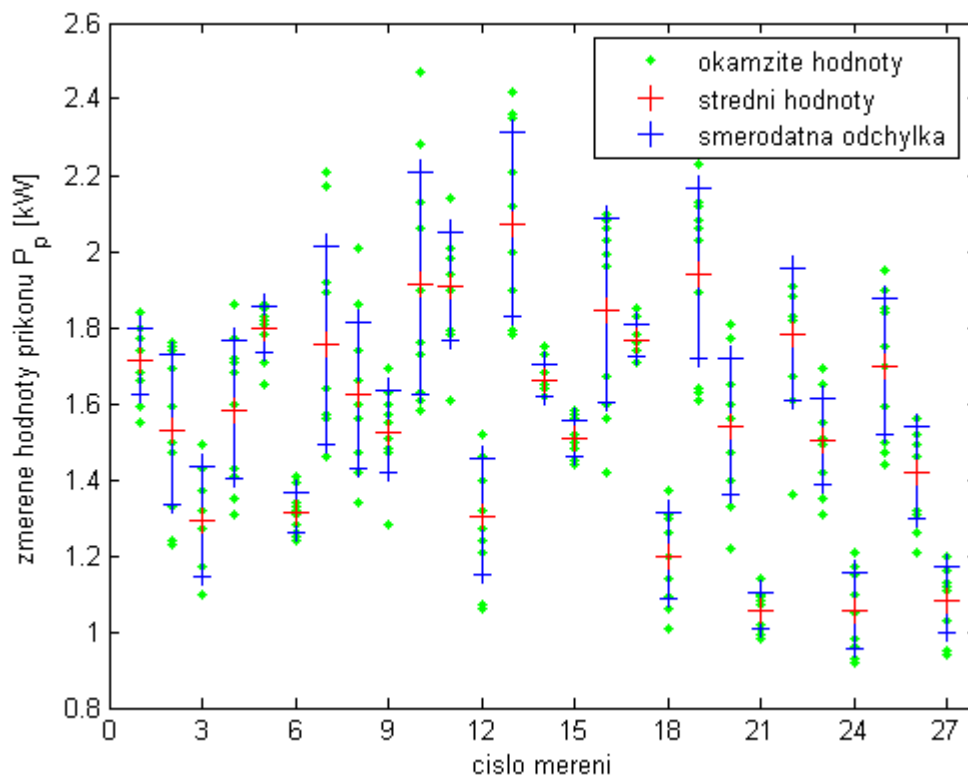


Graf 1. Výstupní signál



Graf 2 Normální Gaussovo rozdělení

Na výše uvedeném grafu, viz.graf 2, je uvedeno normální gaussové rozdělení nejistoty měření, které vystihuje popisované měření této práce. Pro statistické vyhodnocení byla použit koeficient rozšíření $k=2$, což odpovídá spolehlivostnímu intervalu v němž leží přibližně 95% naměřených hodnot. Toto je zobrazeno na výše uvedeném grafu modrými čarami, okolo zeleně vyznačené střední hodnoty.



Graf 3 statistické vyhodnocení surových dat

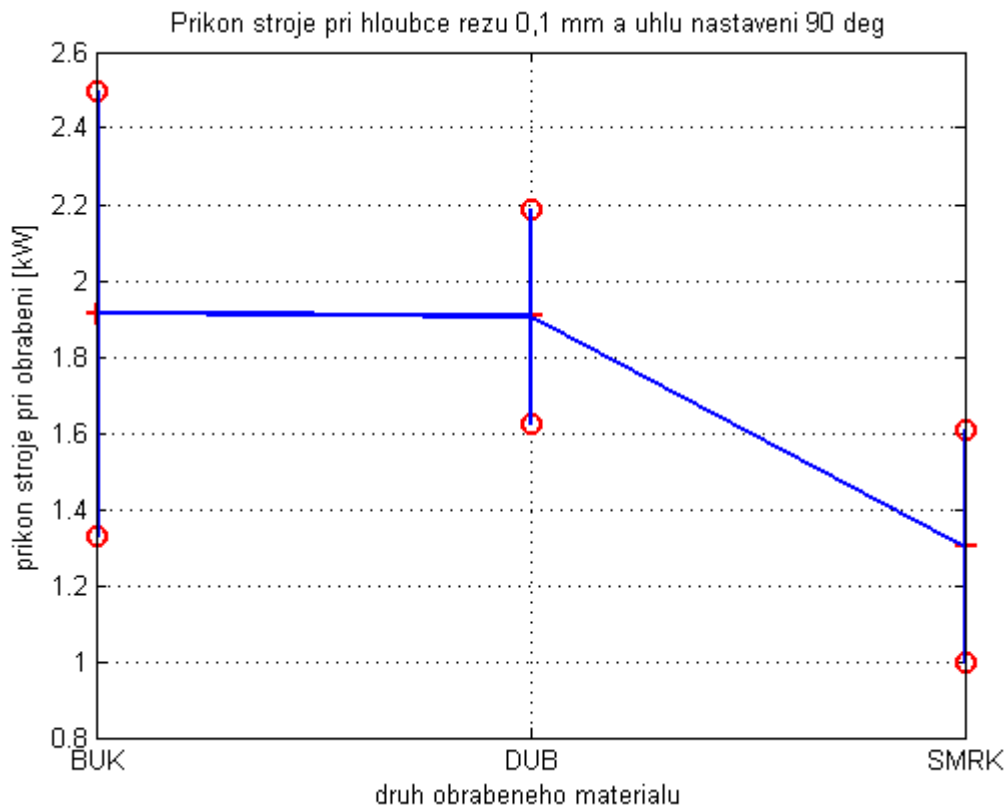
Ve výše uvedeném grafu jsou vyznačeny zelenými body okamžitě naměřená data. Z nich jsou vyznačena vypočítané střední hodnoty znázorněné červenými křížky. Modré úsečky znázorňují směrodatné odchylky. Tyto data jsou uvedena v příloze 1

10.2. Řezný příkon

Naměřené hodnoty jsou uspořádány v přehledné tabulce, dle jednotlivých dřevin (dub, buk a smrk), tloušťek řezu (0,1, 0,2, 0,3 mm) a poloze nože vůči obrobku φ_0 (45°, 75°, 90°). Tyto údaje jsou uvedeny v Příloze 1, 2, 3 .

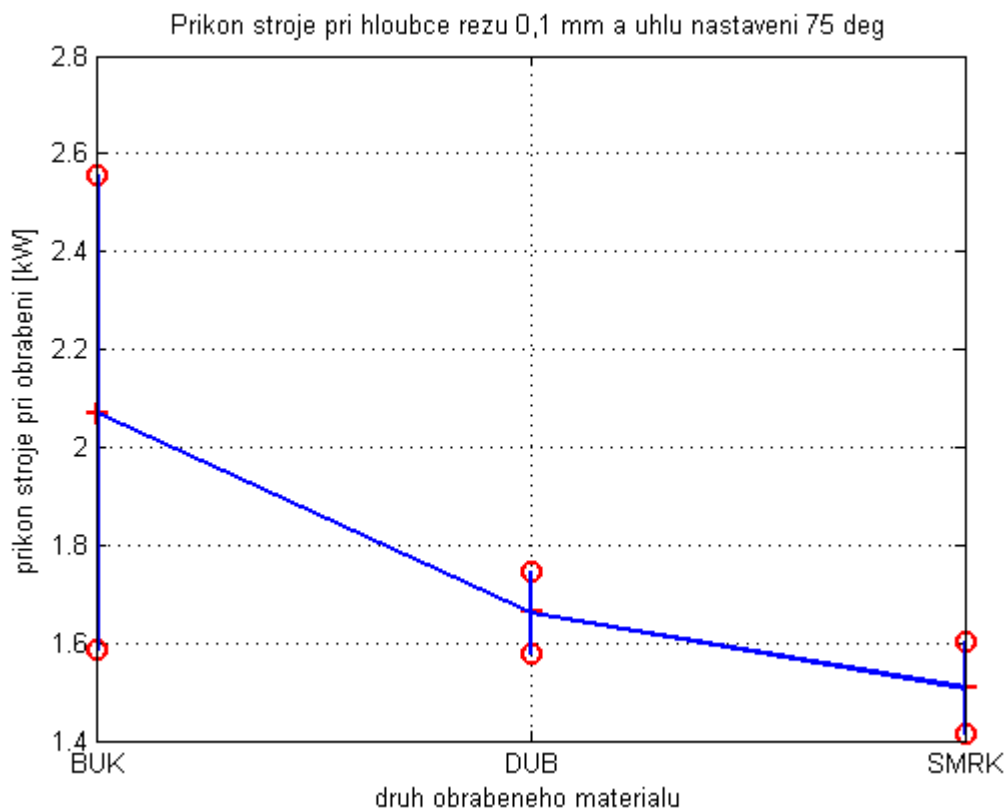
10.3. Vliv materiálu a úhlu ϕ_0 na řezný příkon při tloušťce třísky

0,1mm

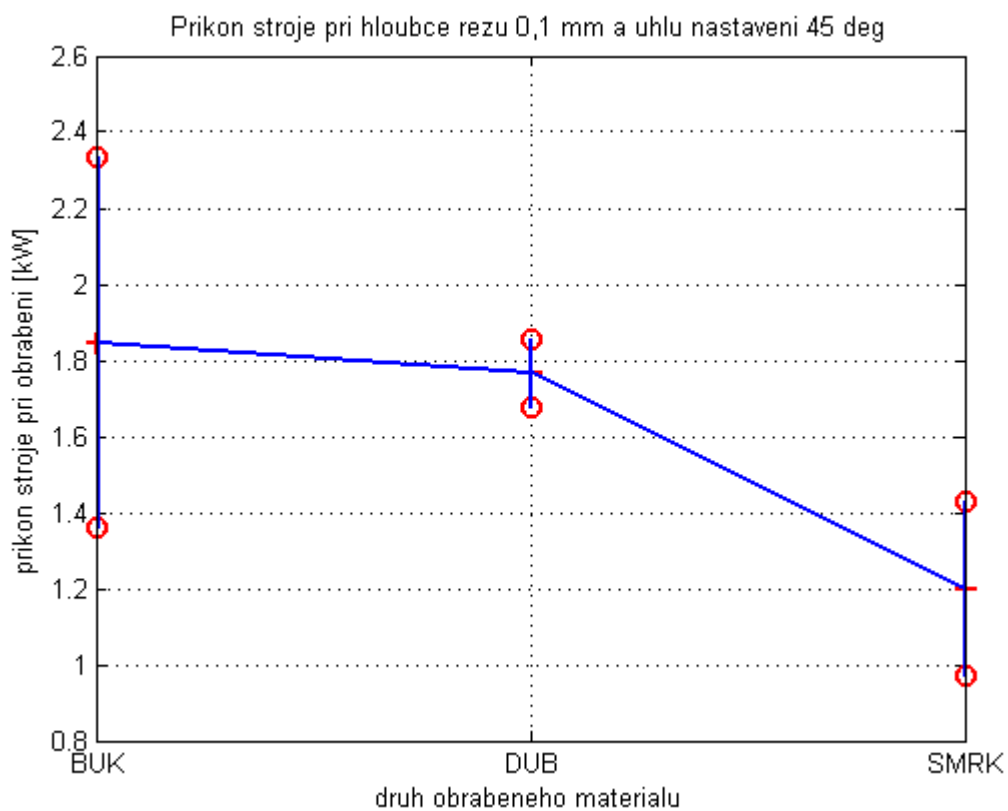


Graf 4 Příkon stroje při hloubce řezu 0,1 mm a úhlu $\phi_0=90$

Na grafu 4. je možné vidět, jak řezný příkon klesá v závislosti na druhu dřeviny vlivem různé hustoty zkoušených dřevin. Červené body vyznačené v grafu označují 0,95 spolehlivostní intervaly. Body uprostřed úseček značí střední hodnotu, které jsou vzájemně spojeny a tvoří vlastní graf.



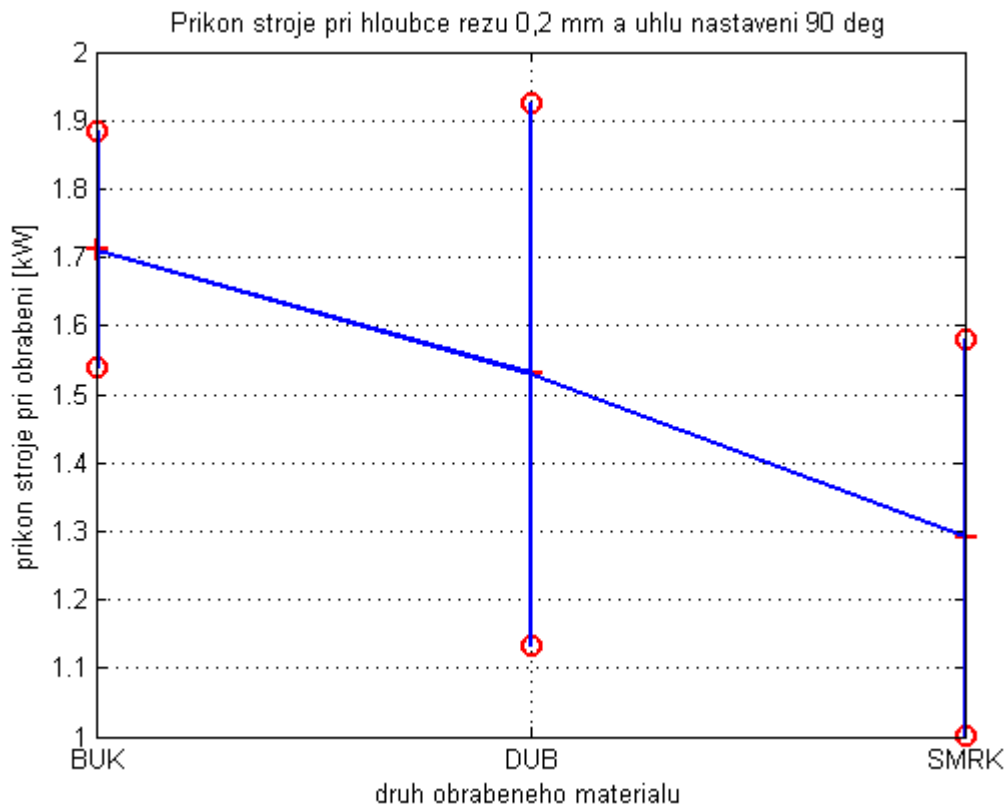
Graf 5 Přikon stroje při hloubce řezu a úhlu $\varphi=75$



Graf 6 Přikon stroje při hloubce řezu 0,1 mm a úhlu $\varphi=45$

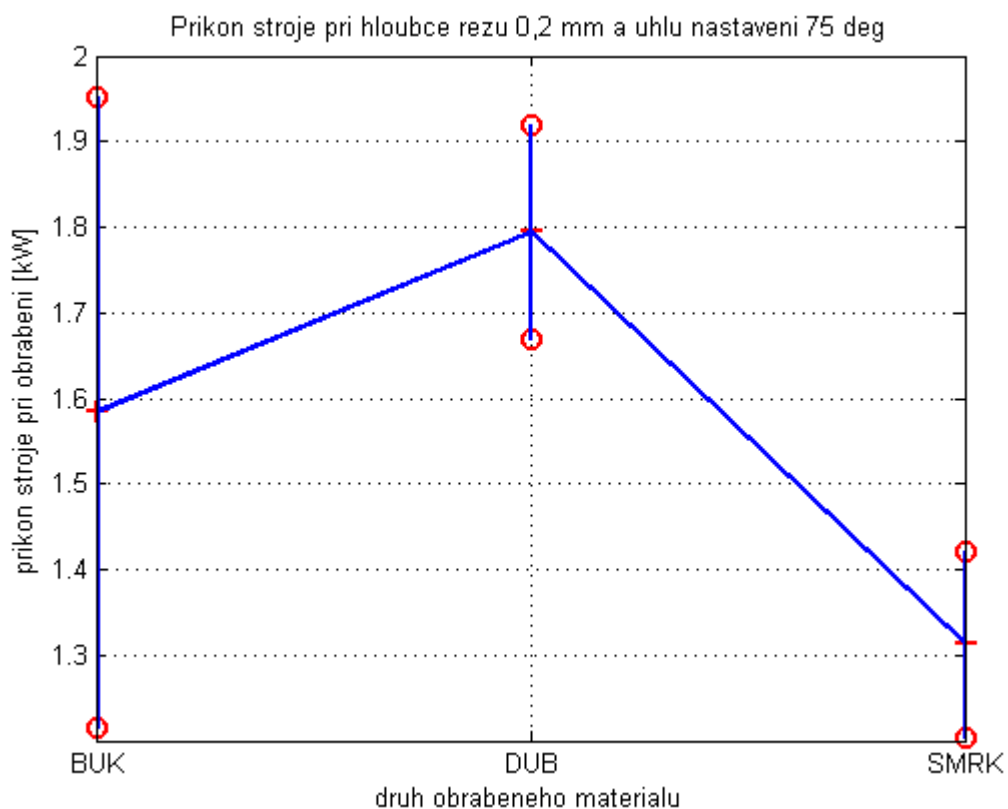
10.4. Vliv materiálu a úhlu ϕ_0 na řezný příkon při tloušťce třísky

0,2 mm



Graf 7 Příkon stroje při hloubce řezu 0,2 mm a úhlu $\phi_0=90$

Na grafu 7 je zobrazen příkon stroje při hloubce řezu 0,2 mm a nastavení nože 90° , kde dochází k lineárnímu poklesu příkonu od bukového dřeva ke smrkovému.



Graf 8 Přikon stroje při hloubce řezu 0,2 mm a úhlu $\varphi_0=75$

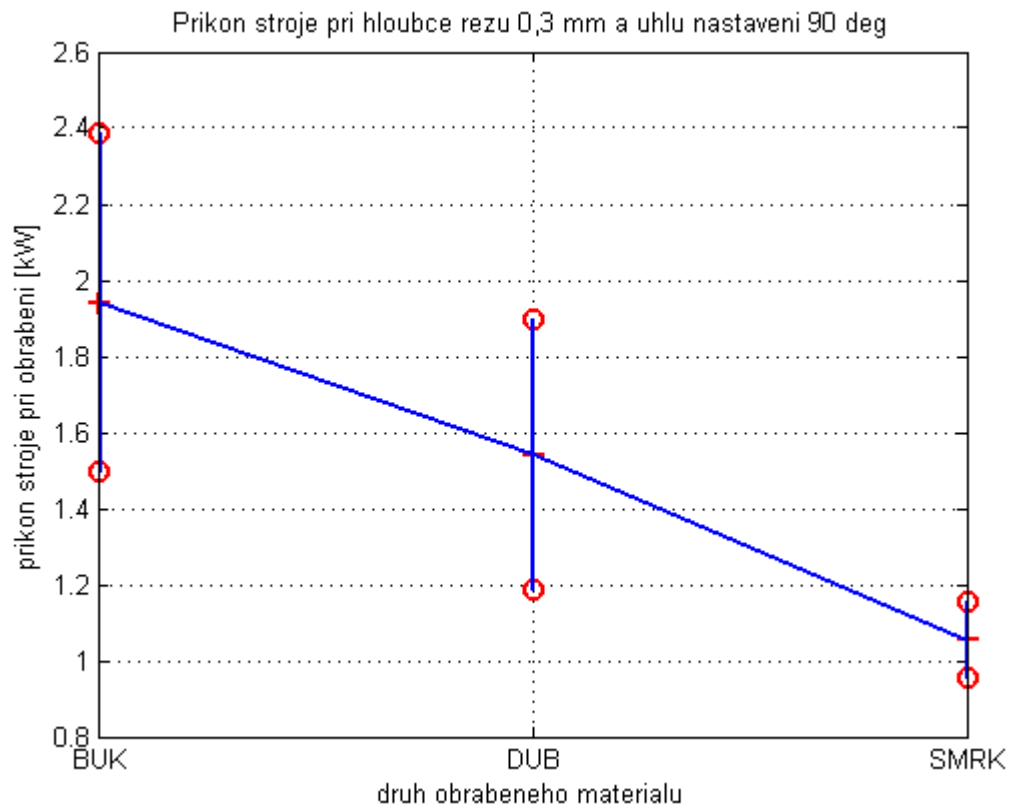
Na výše uvedeném grafu 8 je vidět anomálie, která s největší pravděpodobností vznikla nepřesností měření a nepřesnostmi v přitlaku pracovního stolu. Proto vzorek dubového dřeva dosahuje většího řezného příkonu.



Graf 9 Přikon stroje při hloubce řezu 0,2 mm a úhlu $\varphi=45$

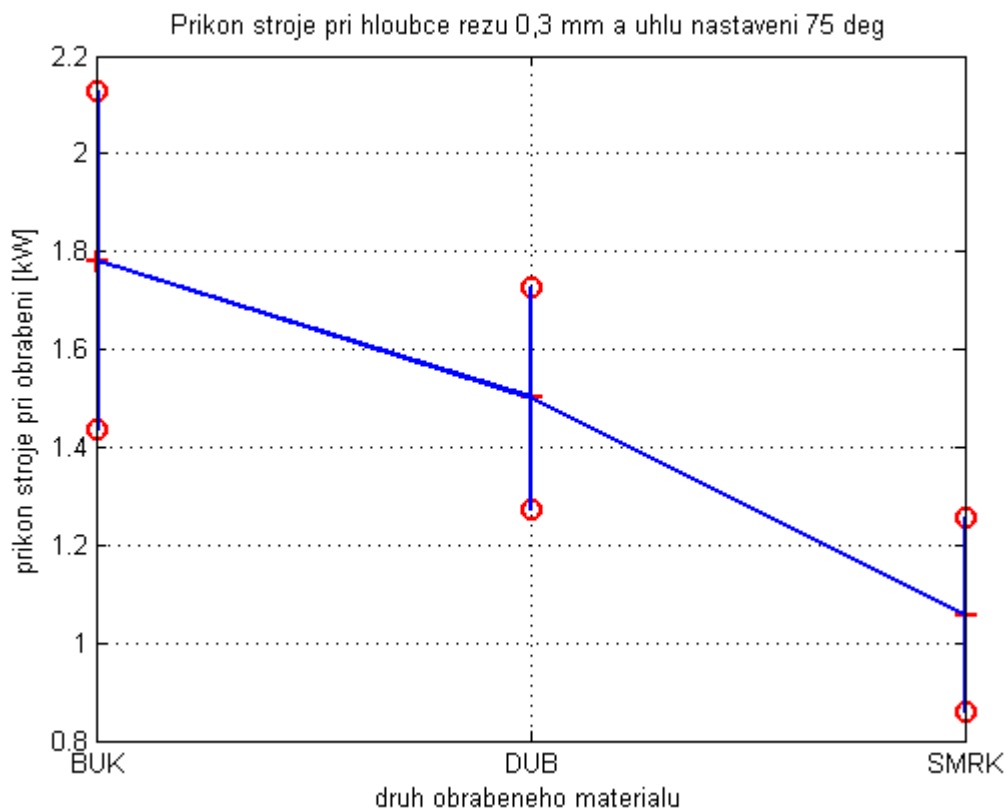
10.5. Vliv materiálu a úhlu φ_0 na řezný příkon při tloušťce třísky

0,3 mm

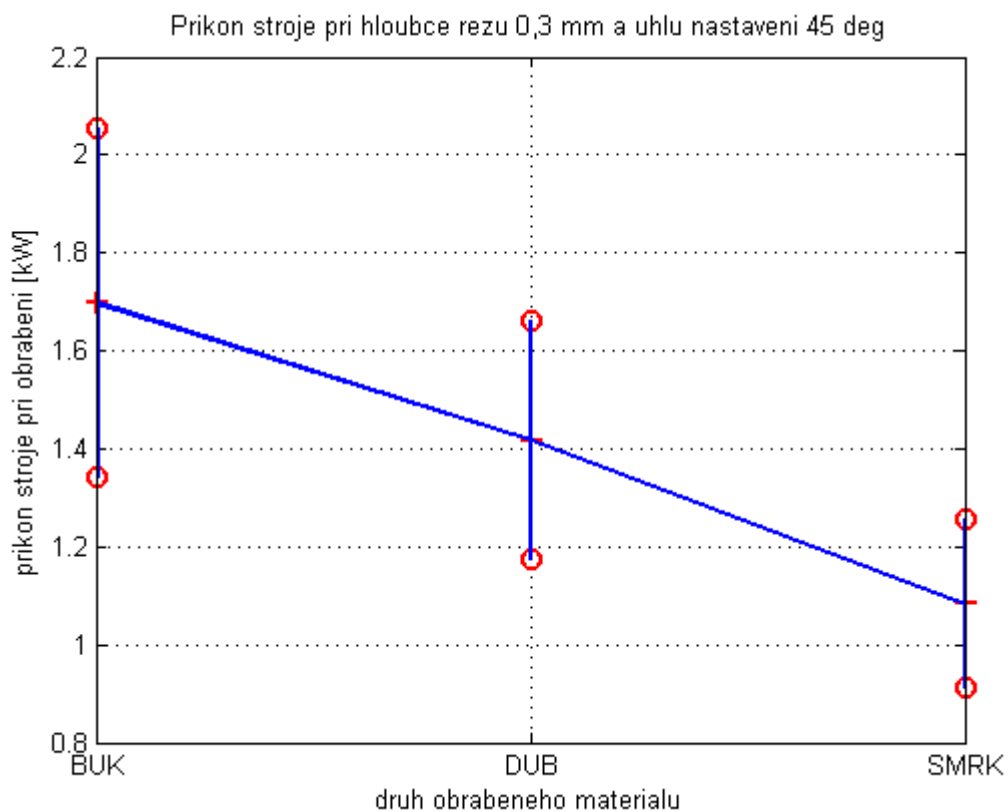


Graf 10 Příkon stroje při hloubce řezu 0,3 mm a úhlu $\varphi_0=90$

V tomto případě dochází téměř k lineárnímu průběhu a poklesu řezného příkonu na grafu 10, 11, 12.



Graf 11 Přikon stroje při hloubce řezu 0,3 mm a úhlu $\varphi_0=75$

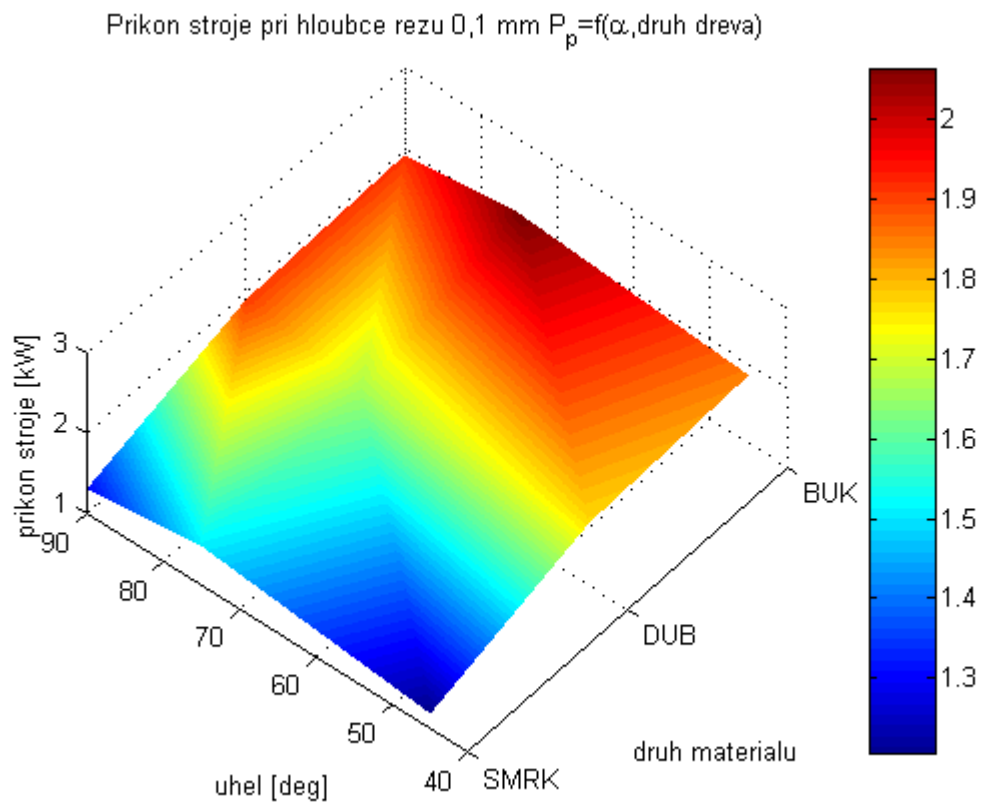


Graf 12 Přikon stroje při hloubce řezu 0,3 mm a úhlu $\varphi_0=45$

tloušťka třísky [mm]	úhel [φ_0]	Dřevina[kW]			změna	změna
		Buk	Dub	Smrk	[%]	[%]
0,1	90°	1,92	1,91	1,3	0,5	31,9
0,2		1,71	1,53	1,29	10,5	15,7
0,3		1,94	1,54	1,06	20,6	31,2
0,1	75°	2,07	1,66	1,51	19,8	9,0
0,2		1,58	1,80	1,31	-13,9	27,2
0,3		1,78	1,50	1,06	15,7	29,3
0,1	45°	1,85	1,76	1,08	4,9	38,6
0,2		1,75	1,62	1,53	7,4	5,6
0,3		1,70	1,41	1,08	17,1	23,4

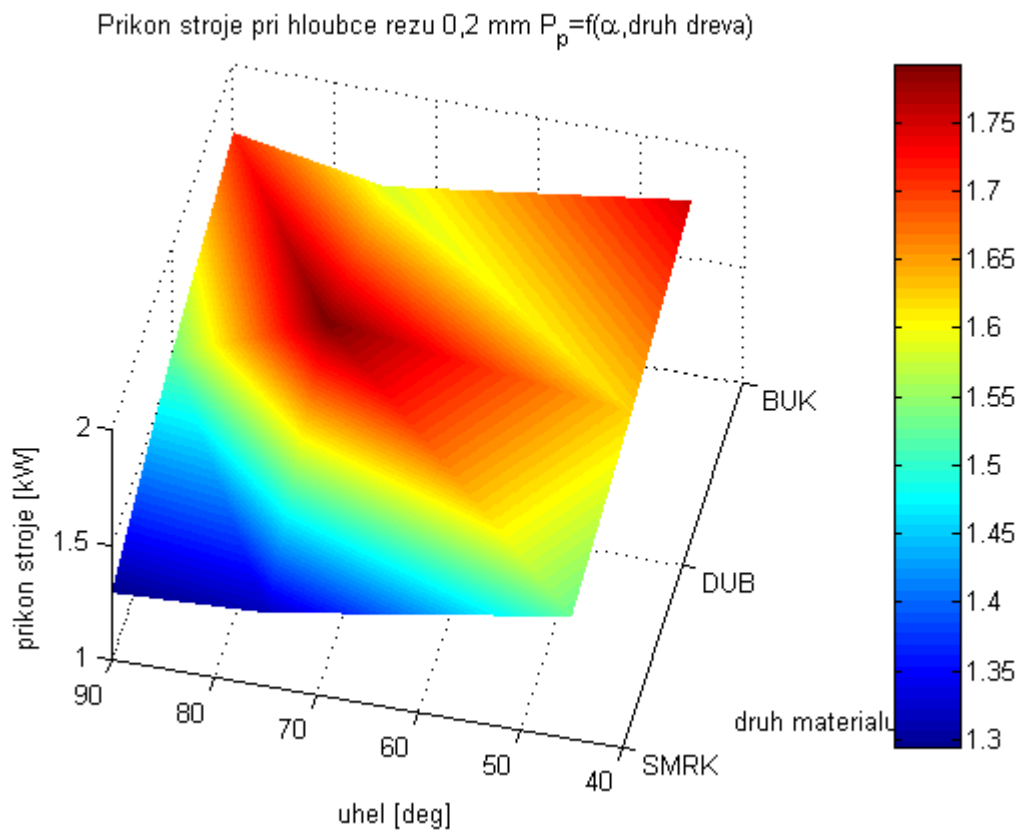
Tabulka 1 Procentuální změna průměrného řezného příkonu v závislosti tloušťce třísky, úhlu φ_0 a druhu dřeviny

Ve výše uvedené tabulce 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty příkonů u jednotlivých dřevin při různém úhlu φ_0 o příslušných tloušťkách třísky. Tyto data jsou dobře vidět z 3D grafů uvedených níže graf 13, 14, 15. V tabulce je možné vidět nárůst řezného příkonu u dubu při úhlu $\varphi_0 = 75^\circ$ a tloušťce třísky 0,2 mm oproti buku o 13,9 %. Toto je pravděpodobně způsobeno nepřesností měření a opotřebením daného strojního zařízení.



Graf 13 Přikon stroje v závislosti na hloubce řezu 0,1 mm, úhlu α a druhu dřeviny

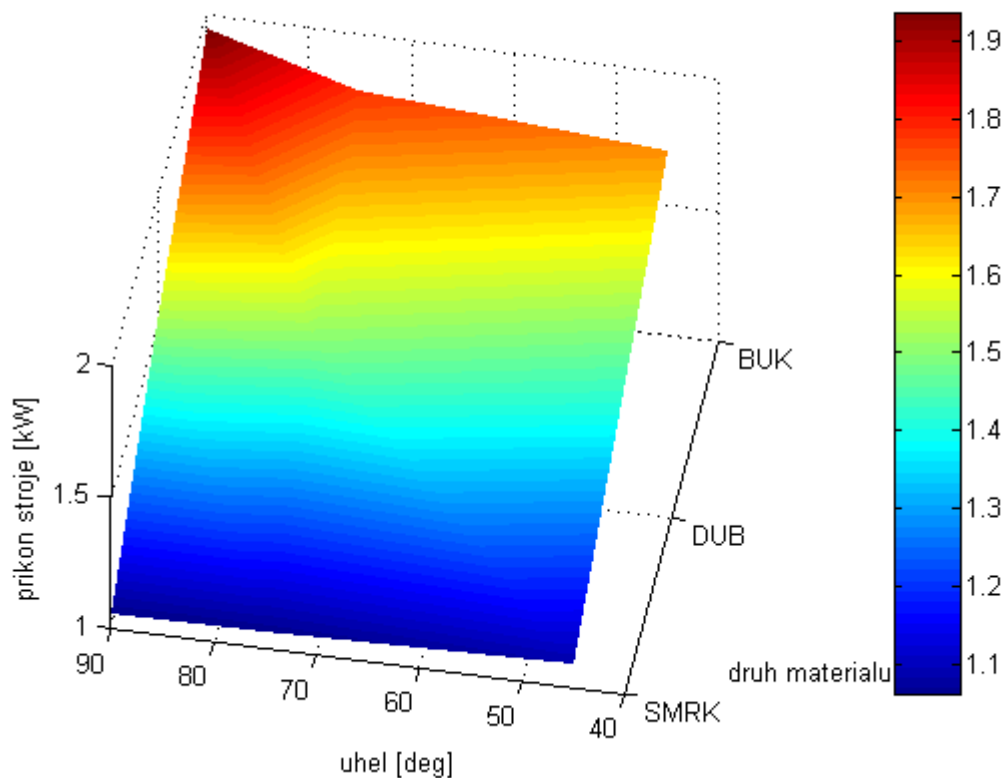
Z grafu 13 při tloušťce řezu 0,1 mm je možné vidět klesající tendenci řezného příkonu směrem od bukového dřeva k smrkovému dřevu. Z grafu je možné vidět, že nejmenší řezné příkony jsou



Graf 14 Přikon stroje v závislosti na hloubce řezu 0,2 mm, úhlu φ_0 a druhu dřeviny

Na výše uvedeném grafu 14 je celkem dobře vidět, že řezný příkon má nelineární průběh a zvyšuje se v oblasti dubového dřeva při úhlu $\varphi_0 = 75^\circ$ oproti bukovému dřevu. Tento fakt má pravděpodobně za následek nepřesnost měření a různý přítlak pracovního stolu obrobku k podávacímu pásu. Tato nepřesnost mohla vzniknout měřením přítlaku nepřímou metodou.

Přikon stroje při hloubce řezu 0,3 mm $P_p = f(\alpha, \text{druh dřeva})$



Graf 15 Přikon stroje v závislosti na hloubce řezu 0,3 mm, úhlu φ a druhu dřeviny

Na grafu 15 je vidět téměř lineární průběh naměřených hodnot. Z tohoto se dá usuzovat, že toto měření není zatížené žádnou větší chybou oproti předchozím měřením

11. Shrnutí

Všeobecně lze říci, že řezný příkon při změně parametrů tloušťka třísky, úhel φ_0 byl velmi rozkolísaný. Proto není tedy možné jasně říci, který s těchto dvou parametrů měl jasný vliv na řezný příkon.

U nastavení úhlu φ_0 tato rozkolísanost mohla být způsobena různým vkládáním obrobku do stroje. Zkušební vzorek se mohl natočit vůči krájecímu noži do jiné polohy a tento fakt do určité míry stírá nastavení nože vůči obrobku, a proto jsou tyto výsledky neprokazatelné a není možné jasně říci, které nastavení nože má jednoznačně nejmenší nebo největší vliv na řezný příkon.

Taktéž u jednotlivých tloušťkách (0.1, 0.2 a 0.3 mm) dýhy není možné jednoznačně říci, která z těchto tloušťek má větší či menší vliv na energetickou náročnost podélného krájení.

Naproti tomu pokud zohledníme vliv dřeviny na řezný příkon, tak zkoumané vzorky buku, dubu a smrku vykazovaly velké rozdíly v řezném příkonu a to až v desítkách procent. Toto vychází z jednotlivých hustot zkoušených dřevin. Z tohoto pohledu je možné tedy jasně vyvodit závěr, že druh dřeviny měl na řezný příkon největší vliv.

Z výše uvedeného je možné konstatovat, že jednoznačný vliv na energetickou náročnost podélného krájení má druh krájené dřeviny. Co se týče zbylých dvou parametrů (úhlu φ_0 a jednotlivých tloušťek dýh) není možné jasně konstatovat a rozlišit, který z nich má větší či menší vliv na energetickou náročnost podélného krájení. Z tohoto důvodu by bylo nutné provést další experimentální měření a zaměřit se na tyto dva parametry a porovnat je se stávajícími výsledky.

12. Přínos pro vědu a praxi

Diplomová práce měla prokázat, který z technicko – technologických parametrů má největší vliv na energetickou náročnost podélného krájení.

Experimentálně se podařilo prokázat:

- Řezný příkon se výrazně mění při různých druzích dřevin, řádově v desítkách procent
- Vliv tloušťky dýhy a úhlu nastavení nože φ_0 na řezný příkon nebyl jednoznačně prokázán a bylo tedy nutné provést další experimentální měření.

Z dosažených výsledků je možné tvrdit, že na energetickou náročnost podélného krájení dýh má jednoznačný vliv druh dřeviny.

13.Závěr

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo zjistit, který z technologických parametrů má největší vliv na energetickou náročnost podélného krájení dřeva Buku, Dubu a Smrku. Z výše uvedených výsledků vyplynulo, že na energetickou náročnost podélného krájení má největší vliv druh krájené dřeviny.

S ohledem na rozsah této práce, byla nastolena širší problematika, kterou by bylo zapotřebí dále zkoumat a provést celou řadu dalších experimentů.

Tato diplomová práce poskytuje určité výsledky, které je možné zohlednit v této oblasti zpracování dřeva. Dále je pak možné tyto výsledky položit jako základ a porovnávat s nimi jiné experimenty, které proběhly za stejných podmínek a polemizovat nad nimi.

14. Seznam použité literatury

- [1] **Sova František**, Technologie obrábění a montáže, Západočeská univerzita v Plzni, 2001, s. 273, ISBN 80 – 7082 – 823 – 4
- [2] **Prokeš Stanislav**: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1982, s. 584
- [3] **Lisičan Jozef**: Teória a technika spracovanie dreva, Zvolen: Mat centrum, 1996, s. 626, ISBN 80 – 967315 – 6 – 4
- [4] **Lisičan Jozef**: Obrábanie a delenie drevných materiálov, Zvolen, Editační středisko VŠLD, 1988, s. 412, ISBN 85 – 1644 – 88
- [5] **Nutsch Wolfgang a kolektiv**: Příručka pro truhláře, Europa – Sobotáles, 2003, s. 616, ISBN 80 – 86706 – 14 - 1
- [6] **Hajník Igor**: Vplyv vybraných technicko-technologických parametrov na kvalitu pílenia bukoveho dreva na kmeňovej pásovej píle, Zvolen, 2008, s. 121, Dizertačná práca na Technické univerzite vo Zvolenu fakulty Dřevařské.
- [7] **Řehák Tomáš**: Vliv vybraných technicko-technologických a materiálových faktorů na energetickou náročnost při rovinném frézování, Praha, 2009, s.84, Diplomová práce na České zemědělské univerzitě v Praze fakulty Dřevařské.
- [8] **Blažek Václav**: Strojní obrábění dřeva, Praha SNTL, 1965, s. 80
- [9] **Havránek Karel – Babák Stanislav**: Strojní obrábění dřeva, Praha ROH – PRÁCE – vydavatelství knih, s. 243
- [10] **Siklienka a kol.:** Vplyv presahu píloveho 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.

Internetové zdroje:

[11] **Automa měřící technika**: [cit.2012-04-04].

Dostupné z: [<http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070150.pdf>]

15.Přílohy

číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
naměřené hodnoty v daných měřeních	1,55	1,47	1,43	1,86	1,86	1,24	1,56	1,47	1,63	1,61	1,9	1,52	2,12	1,75
	1,68	1,69	1,1	1,77	1,85	1,31	1,46	1,34	1,6	1,9	2,01	1,46	2	1,64
	1,74	1,75	1,17	1,71	1,83	1,26	1,56	1,42	1,48	2,13	1,98	1,32	1,9	1,62
	1,77	1,74	1,27	1,68	1,83	1,33	1,64	1,56	1,48	2,28	1,94	1,24	2,35	1,64
	1,74	1,76	1,37	1,6	1,81	1,32	1,92	1,6	1,51	1,63	1,9	1,06	1,79	1,62
	1,84	1,59	1,17	1,72	1,82	1,34	2,21	1,56	1,69	1,76	1,79	1,21	2,21	1,68
	1,8	1,23	1,1	1,43	1,78	1,25	1,57	1,66	1,28	2,06	1,61	1,07	2,42	1,65
	1,74	1,24	1,32	1,41	1,81	1,28	2,17	1,74	1,57	1,58	1,78	1,27	1,78	1,64
	1,59	1,33	1,49	1,35	1,71	1,39	1,56	1,86	1,55	2,47	2,01	1,46	1,78	1,65
	1,66	1,5	1,49	1,31	1,65	1,41	1,89	2,01	1,47	1,73	2,14	1,4	2,36	1,73
průměr	1,71	1,53	1,29	1,58	1,80	1,31	1,75	1,62	1,53	1,92	1,91	1,30	2,07	1,66
směrodatná odchylka σ , spolehlivost 63%	0,09	0,20	0,14	0,18	0,06	0,05	0,26	0,19	0,11	0,29	0,14	0,15	0,24	0,04
$2*\sigma$, spolehlivostní interval 95%	0,17	0,40	0,29	0,37	0,13	0,11	0,52	0,39	0,21	0,58	0,28	0,31	0,48	0,08

Příloha 1 Naměřené hodnoty, průměrné hodnoty, směrodatná odchylka σ a 2σ spolehlivostní interval, 1 část

číslo měření	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
naměřené hodnoty v daných měřeních	1,58	2,06	1,74	1,09	2,06	1,33	1,02	1,67	1,42	0,98	1,59	1,56	1,16
	1,56	2,1	1,78	1,14	1,63	1,6	1,1	1,91	1,49	0,92	1,9	1,52	1,13
	1,57	1,56	1,78	1,26	2,08	1,6	1,08	1,91	1,49	1,1	1,95	1,52	0,94
	1,44	2,08	1,76	1,37	1,61	1,4	1,07	1,91	1,35	1,05	1,75	1,52	0,95
	1,48	1,42	1,71	1,31	2,03	1,81	0,99	1,61	1,31	0,93	1,7	1,49	1,11
	1,48	1,99	1,76	1,26	2,23	1,77	0,98	1,36	1,65	1,17	1,5	1,26	1,03
	1,52	1,6	1,74	1,06	1,64	1,65	1,09	1,82	1,55	1,21	1,47	1,21	1,2
	1,5	1,96	1,83	1,01	2,13	1,22	1,14	1,88	1,55	1,1	1,44	1,32	1,12
	1,5	2,03	1,85	1,2	1,89	1,47	1,07	1,83	1,69	1,15	1,84	1,31	1,03
	1,45	1,67	1,71	1,3	2,12	1,56	1,01	1,91	1,51	0,96	1,85	1,46	1,16
průměr	1,51	1,85	1,77	1,20	1,94	1,54	1,06	1,78	1,50	1,06	1,70	1,42	1,08
směrodatná odchylka σ , spolehlivost 63%	0,05	0,24	0,04	0,11	0,22	0,18	0,05	0,17	0,11	0,10	0,18	0,12	0,09
2* σ , spolehlivostní interval 95%	0,09	0,48	0,09	0,23	0,44	0,36	0,10	0,35	0,23	0,20	0,36	0,24	0,17

Příloha 2 Naměřené hodnoty, průměrné hodnoty, směrodatná odchylka σ a 2σ spolehlivostní interval, 2 část

Tloušťka dýhy 0,2 mm	Nastavení nože vůči obrobku		
	90	75	45
	měření		
Buk	1	4	7
Dub	2	5	8
Smrk	3	6	9
Tloušťka dýhy 0,1 mm			
Buk	10	13	16
Dub	11	14	17
Smrk	12	15	18
Tloušťka dýhy 0,3 mm			
Buk	19	22	25
Dub	20	23	26
Smrk	21	24	27

Příloha 3 Číslování naměřených dat

Příloha 4 Import dat

```
clear
clc

% num=zeros(100,114);
% txt=zeros(100,115);
% raw=zeros(100,115);

% -----NACTENI DAT ZE SOUBORU XLS-----

ndata=zeros(70,114,27);
int_data=zeros(500,114,27);

for i=1:27
    [num,txt,raw]=xlsread([num2str(i),'.xlsx'],2);

    [m,n]=size(num);

    for j=1:m
        for k=1:n
            ndata(j,k,i)=num(j,k);
        end
    end

    clear k

    for k=1:n
        x=(0:length(num(:,k))-1)';
        xi=linspace(0,length(num(:,k)),500)';
        int_data(:,k,i) = interp1(x,num(:,k),xi,'cubic');
    end

    clc
end
```

```

display(['Mame za sebou ',num2str(i),'. cyklus.'])

clear num txt raw i j k m n
end

clc
display('Finito!')

% -----Nalezeni maximalnich hodnot v grafech-----

for i=1:27
    figure(i)
    hold on
    grid on
    plot(1:1:length(ndata(:,92,i)),ndata(:,92,i),'b',...
        1:1:length(ndata(:,92,i)),ndata(:,92,i),'+r')
    xlabel('cas mereni [s]')
    ylabel('vykon [kW]')
    title(['graf z mereni cislo ',num2str(i)])
    axis([0 length(ndata(:,92,i)) 0.5 2.5])
end

for i=1:27
    clc
    r=1;
    while r==1
        figure(1)
        plot(1:1:length(ndata(:,92,i)),ndata(:,92,i),'b',...
            1:1:length(ndata(:,92,i)),ndata(:,92,i),'+r')
        hold on
        xlabel('cas mereni [s]')
        ylabel('vykon [kW]')
        title(['graf z mereni cislo ',num2str(i)])
    end
end

```

```

axis([0 length(ndata(:,92,i)) 0.55 (max(ndata(:,92,i))+0.05)])
grid on
d_mez=input('zadej dolni mez ');

pozice=find(ndata(:,92,i)>d_mez);
plot(pozice,ndata(pozice,92,i),'g',...
      pozice,ndata(pozice(:,i),92,i),'*k')

hold off
r=input('Budeme menit meze [0/1]? ');
end
stred(i)=mean(ndata(pozice,92,i));
end

clear pozice i r d_mez

```

Převzorkování vstupních dat

```

for i=1:27
    delka(i)=min(find(ndata(:,92,i)==0))

    for k=1:114
        x=(1:delka(i)-1)';
        xi=linspace(1,delka(i)-1,500)';
        int_data(:,k,i) = interp1(x,ndata(1:delka(i)-1,k,i),xi,'cubic');
    end
end

% -----VYHODNOCENI STREDU BUK-----
b=ndata(:,:[10,13,16,1,4,7,19,22,25]);

for i=1:9
    clc
    r=1;

```

```

while r==1
    figure(1)
    plot(1:1:length(b(:,92,i)),b(:,92,i),'b',...
        1:1:length(b(:,92,i)),b(:,92,i),'+r')
    hold on
    xlabel('cas mereni [s]')
    ylabel('vykon [kW]')
    title(['graf z mereni cislo ',num2str(i)])
    axis([0 length(b(:,92,i)) 0.55 (max(b(:,92,i))+0.05)])
    grid on
    d_mez=input('zadej dolni mez :');

    pozice=find(b(:,92,i)>d_mez);
    plot(pozice,b(pozice,92,i),'g',...
        pozice,b(pozice,92,i),'*k')

    hold off
    r=input('Budeme menit meze [0/1]? :');
end
b_stred(i)=mean(b(pozice,92,i));
end

clear pozice i r d_mez

% -----VYHODNOCENI STREDU DUB-----

d=ndata(:,:[11,14,17,2,5,8,20,23,26]);

for i=1:9
    clc
    r=1;
    while r==1
        figure(1)
        plot(1:1:length(d(:,92,i)),d(:,92,i),'b',...

```



```

        1:1:length(d(:,92,i)),d(:,92,i),'+r')
hold on
xlabel('cas mereni [s]')
ylabel('vykon [kW]')
title(['graf z mereni cislo ',num2str(i)])
axis([0 length(d(:,92,i)) 0.55 (max(d(:,92,i))+0.05)])
grid on
d_mez=input('zadej dolni mez :');

pozice=find(d(:,92,i)>d_mez);
plot(pozice,d(pozice,92,i),'g',...
     pozice,d(pozice,92,i),'*k')

hold off
r=input('Budeme menit meze [0/1]? :');
end
d_stred(i)=mean(d(pozice,92,i));
end

clear pozice i r d_mez

% -----VYHODNOCENI STREDU SMRK-----
s=ndata(:,:[12,15,18,3,6,9,21,24,27]);

for i=1:9
clc
r=1;
while r==1
figure(1)
plot(1:1:length(s(:,92,i)),s(:,92,i),'b',...
     1:1:length(s(:,92,i)),s(:,92,i),'+r')
hold on
xlabel('cas mereni [s]')
ylabel('vykon [kW]')

```

```

title(['graf z mereni cislo ',num2str(i)])
axis([0 length(s(:,92,i)) 0.55 (max(s(:,92,i))+0.05)])
grid on
d_mez=input('zadej dolni mez :');

pozice=find(s(:,92,i)>d_mez);
plot(pozice,s(pozice,92,i),'g',...
      pozice,s(pozice,92,i),'*k')

hold off
r=input('Budeme menit meze [0/1]? :');
end
s_stred(i)=mean(s(pozice,92,i));
end

clear pozice i r d_mez

```

Vykreslování grafů z měřených dat

```

% -----tloušťka 0,1 mm -----

% uhel 90 deg

figure(1)
plot([1 2 3],[b_stred_1(1,1),d_stred_1(1,1),s_stred_1(1,1)],'+r',...
      [1 2 3],[b_stred_1(1,1),d_stred_1(1,1),s_stred_1(1,1)],'b',...
      'lineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,1 mm a uhlu nastaveni 90 deg')

```

```
% uhel 75 deg
```

```
figure(2)
plot([1 2 3],[b_stred_1(2,1),d_stred_1(2,1),s_stred_1(2,1)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(2,1),d_stred_1(2,1),s_stred_1(2,1)],'b',...
     'LineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,1 mm a uhlu nastaveni 75 deg')
```

```
% uhel 45 deg
```

```
figure(3)
plot([1 2 3],[b_stred_1(3,1),d_stred_1(3,1),s_stred_1(3,1)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(3,1),d_stred_1(3,1),s_stred_1(3,1)],'b',...
     'LineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,1 mm a uhlu nastaveni 45 deg')
```

```
% -----tloustka 0,2 mm -----
```

```
% uhel 90 deg
```

```

figure(4)
plot([1 2 3],[b_stred_1(1,2),d_stred_1(1,2),s_stred_1(1,2)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(1,2),d_stred_1(1,2),s_stred_1(1,2)],'b',...
     'lineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,2 mm a uhlu nastaveni 90 deg')

% uhel 75 deg

```

```

figure(5)
plot([1 2 3],[b_stred_1(2,2),d_stred_1(2,2),s_stred_1(2,2)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(2,2),d_stred_1(2,2),s_stred_1(2,2)],'b',...
     'lineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,2 mm a uhlu nastaveni 75 deg')

% uhel 45 deg

```

```

figure(6)
plot([1 2 3],[b_stred_1(3,2),d_stred_1(3,2),s_stred_1(3,2)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(3,2),d_stred_1(3,2),s_stred_1(3,2)],'b',...

```

```

        'lineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,2 mm a uhlu nastaveni 45 deg')

% -----tloustka 0,3 mm -----

% uhel 90 deg

figure(7)
plot([1 2 3],[b_stred_1(1,3),d_stred_1(1,3),s_stred_1(1,3)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(1,3),d_stred_1(1,3),s_stred_1(1,3)],'b',...
     'lineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,3 mm a uhlu nastaveni 90 deg')

% uhel 75 deg

figure(8)
plot([1 2 3],[b_stred_1(2,3),d_stred_1(2,3),s_stred_1(2,3)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(2,3),d_stred_1(2,3),s_stred_1(2,3)],'b',...
     'lineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])

```

```

set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,3 mm a uhlu nastaveni 75 deg')

% uhel 45 deg

figure(9)
plot([1 2 3],[b_stred_1(3,3),d_stred_1(3,3),s_stred_1(3,3)],'+r',...
     [1 2 3],[b_stred_1(3,3),d_stred_1(3,3),s_stred_1(3,3)],'b',...
     'LineWidth',2,'MarkerSize',8)
axis([1 3 1 2.2])
set(gca,'XTick',1:3)
set(gca,'XTickLabel',{'BUK','DUB','SMRK'})
hold on
grid on
xlabel('druh obrabeneho materialu')
ylabel('prikon stroje pri obrabeni [kW]')
title('Prikon stroje pri hloubce rezu 0,3 mm a uhlu nastaveni 45 deg')

% -----prubeh prikonu-----
clc

% uhel=[90 90 90; 75 75 75;45 45 45];
% hl_rezu=[0.1 0.2 0.3;0.1 0.2 0.3;0.1 0.2 0.3];
%
% b_stred_1=reshape(b_stred,3,3);
% d_stred_1=reshape(d_stred,3,3);
% s_stred_1=reshape(s_stred,3,3);

% -----BUK-----

```

```

figure(1)
plot([90 75 45], b_stred_1(:,1),'+r',...
     [90 75 45], b_stred_1(:,1),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,1 mm, BUK')
axis([45 90 1 2.2])

```

```

figure(2)
plot([90 75 45], b_stred_1(:,2),'+r',...
     [90 75 45], b_stred_1(:,2),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,2 mm, BUK')
axis([45 90 1 2.2])

```

```

figure(3)
plot([90 75 45], b_stred_1(:,3),'+r',...
     [90 75 45], b_stred_1(:,3),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,3 mm, BUK')
axis([45 90 1 2.2])

```

% -----DUB-----

```
figure(4)
```

```

plot([90 75 45], d_stred_1(:,1),'+r',...
     [90 75 45], d_stred_1(:,1),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,1 mm, DUB')
axis([45 90 1 2.2])

```

```

figure(5)
plot([90 75 45], d_stred_1(:,2),'+r',...
     [90 75 45], d_stred_1(:,2),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,2 mm, DUB')
axis([45 90 1 2.2])

```

```

figure(6)
plot([90 75 45], d_stred_1(:,3),'+r',...
     [90 75 45], d_stred_1(:,3),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,3 mm, DUB')
axis([45 90 1 2.2])

```

% -----SMRK-----

```

figure(7)
plot([90 75 45], s_stred_1(:,1),'+r',...
     [90 75 45], s_stred_1(:,1),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)

```



```

hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,1 mm, SMRK')
axis([45 90 1 2.2])

```

```

figure(8)
plot([90 75 45], s_stred_1(:,2),'+r',...
     [90 75 45], s_stred_1(:,2),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,2 mm, SMRK')
axis([45 90 1 2.2])

```

```

figure(9)
plot([90 75 45], s_stred_1(:,3),'+r',...
     [90 75 45], s_stred_1(:,3),'b','lineWidth',2,'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Hloubka rezu 0,3 mm, SMRK')
axis([45 90 1 2.2])

```

```

clc

```

```

% -----prubeh prikonu-----

```

```

clc

```

```

% uhel=[90 90 90; 75 75 75;45 45 45];
% hl_rezu=[0.1 0.2 0.3;0.1 0.2 0.3;0.1 0.2 0.3];

```

```

%
%   b_stred_1=reshape(b_stred,3,3);
%   d_stred_1=reshape(d_stred,3,3);
%   s_stred_1=reshape(s_stred,3,3);

%   -----BUK-----

figure(1)
plot([0.1 0.2 0.3], b_stred_1(1,:), '*k',...
     [0.1 0.2 0.3], b_stred_1(1,:), 'g', 'lineWidth',2, 'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 90 deg, BUK')
%   axis([0.1 0.3 1 2.2])

figure(2)
plot([0.1 0.2 0.3], b_stred_1(2,:), '*k',...
     [0.1 0.2 0.3], b_stred_1(2,:), 'g', 'lineWidth',2, 'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 75 deg, BUK')
%   axis([0.1 0.3 1 2.2])

figure(3)
plot([0.1 0.2 0.3], b_stred_1(3,:), '*k',...
     [0.1 0.2 0.3], b_stred_1(3,:), 'g', 'lineWidth',2, 'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')

```

```

    title('Uhel nastaveni ostri 45 deg, BUK')
%   axis([0.1 0.3 1 2.2])

%   -----DUB-----

figure(4)
plot([0.1 0.2 0.3], d_stred_1(1,:), '*k',...
     [0.1 0.2 0.3], d_stred_1(1,:), 'g', 'lineWidth',2, 'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 90 deg, DUB')
%   axis([0.1 0.3 1 2.2])

figure(5)
plot([0.1 0.2 0.3], d_stred_1(2,:), '*k',...
     [0.1 0.2 0.3], d_stred_1(2,:), 'g', 'lineWidth',2, 'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 75 deg, DUB')
%   axis([0.1 0.3 1 2.2])

figure(6)
plot([0.1 0.2 0.3], d_stred_1(3,:), '*k',...
     [0.1 0.2 0.3], d_stred_1(3,:), 'g', 'lineWidth',2, 'MarkerSize',8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 45 deg, DUB')
%   axis([0.1 0.3 1 2.2])

```

```

% -----SMRK-----

figure(7)
plot([0.1 0.2 0.3], s_stred_1(1,:), '*k', ...
     [0.1 0.2 0.3], s_stred_1(1,:), 'g', 'lineWidth', 2, 'MarkerSize', 8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 90 deg, SMRK')
% axis([0.1 0.3 1 2.2])

figure(8)
plot([0.1 0.2 0.3], s_stred_1(2,:), '*k', ...
     [0.1 0.2 0.3], s_stred_1(2,:), 'g', 'lineWidth', 2, 'MarkerSize', 8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 75 deg, SMRK')
% axis([0.1 0.3 1 2.2])

figure(9)
plot([0.1 0.2 0.3], s_stred_1(3,:), '*k', ...
     [0.1 0.2 0.3], s_stred_1(3,:), 'g', 'lineWidth', 2, 'MarkerSize', 8)
hold on
grid on
xlabel('uhel nastaveni ostri [deg]')
ylabel('prikon stroje P_p [kW]')
title('Uhel nastaveni ostri 45 deg, SMRK')
% axis([0.1 0.3 1 2.2])

clc

```

```
% -----VYKRESLENI 3D GRAFU PRO DANE MATERIALY-----
```

```
% uhel=[90 90 90; 75 75 75;45 45 45];  
% hl_rezu=[0.1 0.2 0.3;0.1 0.2 0.3;0.1 0.2 0.3];  
%  
% b_stred_1=reshape(b_stred,3,3);  
% d_stred_1=reshape(d_stred,3,3);  
% s_stred_1=reshape(s_stred,3,3);
```

```
figure(1)  
surf(uhel,hl_rezu,b_stred_1)  
hold on  
colormap jet  
shading interp  
xlabel('uhel [deg]')  
ylabel('hloubka rezu [mm]')  
zlabel('prikon stroje [kW]')  
axis([45 90 0.1 0.3])  
colorbar('location','EastOutside')  
title('Prikon stroje pri obrabeni buku  $P_p=f(\alpha, \text{hloubka rezu})$ )
```

```
figure(2)  
surf(uhel,hl_rezu,d_stred_1)  
hold on  
colormap jet  
shading interp  
xlabel('uhel [deg]')  
ylabel('hloubka rezu [mm]')  
zlabel('prikon stroje [kW]')  
axis([45 90 0.1 0.3])  
colorbar('location','EastOutside')  
title('Prikon stroje pri obrabeni dubu  $P_p=f(\alpha, \text{hloubka rezu})$ )
```

```

figure(3)
surf(uhel,hl_rezu,s_stred_1)
hold on
colormap jet
shading interp
xlabel('uhel [deg]')
ylabel('hloubka rezu [mm]')
zlabel('prikon stroje [kW]')
axis([45 90 0.1 0.3])
colorbar('location','EastOutside')
title('Prikon stroje pri obrabeni smrku  $P_p=f(\alpha, \text{hloubka rezu})$ ')

```

```

clc
figure(1)
plot(0:49,ndata(1:50,92,1),'+r')
hold on
plot(0:49,ndata(1:50,92,1),'b','LineWidth',2)
xlabel('cas mereni [s]')
ylabel('prikon stroje [kW]')
grid on
title('Prubeh prikONU stroje v case (surova data).')

```

```

figure(2)
plot(linspace(0,49,500),int_data(:,92,1),'+r')
hold on
plot(linspace(0,49,500),int_data(:,92,1),'b','LineWidth',2)
xlabel('cas mereni [s]')
ylabel('prikon stroje [kW]')
grid on
title('Prubeh prikONU stroje v case (interpolovana data).')

```