



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROCESY ZPRACOVÁNÍ DŘEVA A PROBLEMATIKA TECHNOLOGIE VÝROBY POLOTOVARŮ

WOOD PROCESSING PROCESSES AND PROBLEMS OF PRODUCTION TECHNOLOGY OF SEMI-FINISHED
PRODUCTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Samuel Šimo

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Chladil, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Samuel Šimo**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Chladil, CSc.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Procesy zpracování dřeva a problematika technologie výroby polotovarů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Materiály na bázi dřeva, vlastnosti z hlediska řezných procesů. Řezné nástroje a strojní zařízení. Posouzení vlivu technologie obrábění dřeva na finální vlastnosti produktu.

Cíle diplomové práce:

Vlastnosti dřeva a jejich použitelnost v průmyslu.
Porovnání strojní a ruční výroby.
Vliv volby řezných parametrů na konečný produkt.
Vliv procesu sušení na kvalitu finálního výrobku.
Posouzení konečného stavu z hlediska efektivity výroby.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

KOCMAN, K. Speciální technologie obrábění, CERM Brno. 2004, 227 s. ISBN 80-214-2562-8.

JOSTEN, E., T. REICHE a B. WITTCHEN. Dřevo a jeho obrábění. Praha: Grada, 2010, 333 s. : il. ; 24 cm. ISBN 978-80-247-2961-9.

DUŠEK, P. Aplikace laseru při obrábění dřeva. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2013.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca je zameraná na optimalizáciu novej výrobnéj linky drevospracujúceho závodu DCP Timber s r.o. V prvej časti práca približuje drevo z hľadiska jeho vnútornej štruktúry a jeho fyzikálnych či mechanických vlastností. Druhá časť je zameraná na priblíženie najrozšírenejších metód trieskového obrábania dreveného materiálu. V tretej časti je opísaná technológia konvekčného sušenia dreva a vplyv tohoto sušenia na výslednú kvalitu drevených polotovarov. Praktická časť práce rieši neefektívnu výrobu na stroji kotúčovej rozmetacej píly, ktorá je dôležitým článkom výrobnéj linky. Nachádza sa tu porovnanie rôznych rezných nástrojov a ich vplyv na rozmerové tolerancie. V ďalšom bode sú vďaka matematickým modelom zistené rezné parametre ako maximálna rýchlosť posuvu a výkon elektromotora rozmetacej píly. Na záver je vypracované technicko – ekonomické zhodnotenie, kde je spočítaná doba návratnosti v prípade investície do pohonnej jednotky s vyšším výkonom.

Kľúčová slova

Spracovanie dreva, mechanické vlastnosti dreva, sušenie dreva, kotúčová píla, výrobná linka, rezný výkon

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the optimization of a new production line of the wood processing factory DCP Timber. In the first part, the work approaches wood in terms of its internal structure and its physical and mechanical properties. The second part is focused on the most common methods of cutting the wood material. The third part describes the technology of convection drying of wood and the impact of this drying on the resulting quality of wooden semi-finished products. The practical part of the thesis is the solution to the inefficient production of the machine of the circular saw, which is an important part of the production line. There is a comparison of different cutting tools and their effect on dimensional tolerances. In the next point, thanks to mathematical models, the parameters of maximum feed speed and power of the electric motor of the spreading saw are determined. Finally, a technical and economic evaluation is developed where the payback period is calculated in the case of investment in a power unit with higher performance.

Key words

Wood processing, mechanical properties of wood, drying of wooden material, circular saw, production line, cutting power

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠIMO, Samuel. *Procesy zpracování dřeva a problematika technologie výroby polotovarů* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140204>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Chladil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma Procesy zpracování dřeva a problematika technologie výroby polotovarů vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 20.05.2022

Šimo, Samuel

PODĚKOVÁNÍ

Týmto ďakujem doc. Ing. Josefovi Chladilovi, CSc. Za cenné pripomienky a rady ktoré mi poskytol pri vypracovaní diplomovej práce. Ďalej chcem poďakovať rodine za neustálu podporu počas celej doby štúdia. Ďakujem firme DCP Timber s r.o. za ochotu a ústretový prístup pri vypracovávaní tejto práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 Použitelnost dřeva v průmysle.....	10
1.1 Stavba stromu	10
1.1.1 Části kmeňa	10
1.1.2 Kôra	11
1.1.3 Kambium	11
1.1.4 Dreň	12
1.1.5 Drevo	12
1.2 Fyzikálne vlastnosti dřeva	12
1.2.1 Vlhkost'	12
1.2.2 Tepelné vlastnosti dřeva	12
1.2.3 Elektro fyzikálne vlastnosti dřeva	13
1.2.4 Akustické vlastnosti dřeva.....	13
1.3 Mechanické vlastnosti dřeva	13
1.3.1 Základné druhy mechanického napätia v dreve	14
1.3.2 Pracovný diagram	14
1.3.3 Pružnosť dřeva.....	15
1.3.4 Pevnosť dřeva	16
1.3.5 Tvrdost'	17
2 Obrábání dřeva.....	19
2.1 Mechanické javy při rezaní	19
2.2 Vplyv rezných parametrov na proces obrábání	20
2.2.1 Vplyv materiálu dřeviny	20
2.2.2 Vplyv vlhkosti	20
2.2.3 Vplyv geometrie nástroja.....	21
2.2.4 Vplyv rezní rychlosti	22
2.2.5 Vplyv hrúbky triesky	22
2.3 Tvorba triesok a tvar triesky při rezaní.....	22
2.3.1 Tvorba triesok při pozdĺžnom rezaní.....	23
2.3.2 Tvorba triesok při čelnom rezaní.....	23
2.3.3 Tvorba triesok při priečnom rezaní.	24
2.4 Základné princípy/veličiny obrábání dřeva	25
2.5 Rozdělení strojov a nástrojov na spracování dřeva podľa normy.....	25
2.5.1 Rozdělení strojov	25
2.6 Pásová píla.....	26
2.6.1 Kinematika procesu rezaní pásovou pilou	27
2.6.2 Nástroje pásovej píly	27
2.7 Kotúčová píla	28
2.7.1 Výber vhodného nástroja pre kotúčovou pílu.....	28
2.7.2 Materiály využívané na rezní hrany nástroja	29
2.8 Frézování dřeva	30
2.8.1 Kinematika procesu frézování	30

2.9	Údržba	31
3	Technológia sušenia dreva.....	33
3.1	Vlhkosť dreva	34
3.1.1	Meranie vlhkosti dreva	34
3.1.2	Rovnovážna vlhkosť dreva	35
3.2	Pohyb vody v dreve	35
3.3	Fyzikálne faktory ovplyvňujúce proces sušenia reziva	36
3.3.1	Rýchlosť prúdenia vzduchu	36
3.3.2	Vlhkostný spád	37
3.4	Priebeh sušenia a vznik napätia v dreve	37
3.4.1	Trhliny	38
4	Praktická časť	40
4.1	Úvod	40
4.2	Kotúčová rozmietacia píla Paul AB920-XL	41
4.2.1	Meranie prizmy.....	41
4.2.2	Optimalizácia, centrovanie a rovnanie prízem v plniacom systéme	42
4.2.3	Rezný proces.....	42
4.2.4	Uloženie pílových kotúčov na hriadelí	43
4.3	Optimalizácia rýchlosti posuvu	43
4.3.1	Optimalizácia podľa obráteného modelu A. L. Beršadského	44
4.4	Hodnotenie rozmerových presností polotovarov.....	52
4.4.1	Optimalizácia výkonu elektromotora	54
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	59
	ZÁVĚR.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67

ÚVOD

Drevo je jedním z nejstarších konstrukčních materiálů, ale aj v 21. století má stále svoje nespochybnitelné místo. Moderné technológie dovolili lepšie pochopenie stavby vnútornej štruktúry dreva, vďaka čomu môžu byť drevené prvky presne nadimenzované. Môžeme vidieť, že pri správne navrhnutej a zrealizovanej konštrukcii, môže byť z dreva postavený aj mrakodrap. Zároveň je to ekologický materiál a tak sa medzi verejnosťou stále teší veľkej obľube. V strojárskom priemysle nespochybniteľne dominuje oceľ. Tieto dva materiály sú navzájom diametrálne odlišné avšak princípy trieskového obrábania sú veľmi podobné. Procesy ako sústruženie, frézovanie či pílenie zostávajú vo svojej podstate rovnaké, menia sa len vstupné parametre rezných procesov. V čom sa drevo od ocele líši je fakt, že jeho mechanické a fyzikálne vlastnosti sú úzko späté s vodou. Je preto zaujímavé sledovať, ako dnešné technológie dokážu vhodným obrobením a sušením posúvať kvalitu dreva ako materiálu k jeho maximálnemu potenciálu.

O tom, do akej veľkej miery dokáže aj malý činiteľ spomaliť výrobu na celej výrobnéj linke, pojednáva táto diplomová práca. Firma DCP Timber s r.o. má už viac ako 25 ročné skúsenosti v drevárskom odvetví. Nedávno prešla veľkou modernizáciou a majoritná časť investícií bola využitá na vybudovanie novej automatizovanej linky na výrobu konštrukčného reziva. Na kotúčovej rozmietačej pile, ktorá je kľúčovým uzlom linky, však nastávali problémy ktoré spôsobovali firme nemalé finančné straty. Kvôli nedostatočnému výkonu a nevhodne zvolenému typu rezného nástroja, nedosahoval stroj svoj plný potenciál. Cieľom bolo teda teoreticky spočítať potrebný výkon elektromotora ktorý by bolo potrebné inštalovať, aby rozmietačacia píla pracovala s požadovanou produktivitou. Nakoniec firma požadovala aj napočítanie doby návratnosti tejto dodatočnej investície.

1 POUŽITELNOST DREVA V PRIEMYSLE

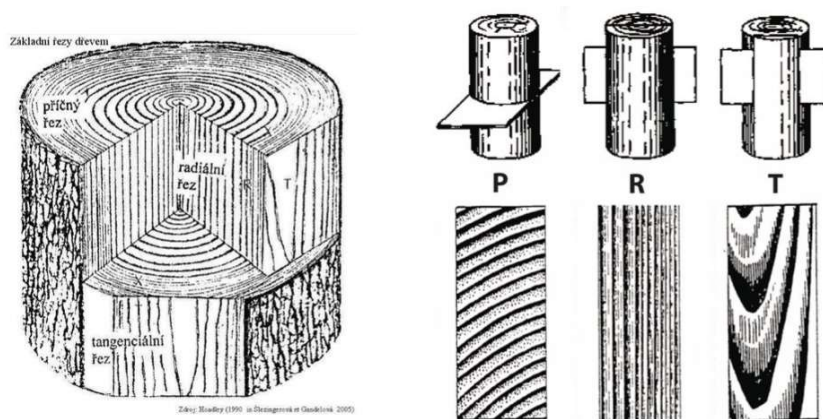
Drevo je prírodný organický materiál, ktorý je rastlinného pôvodu. Patrí medzi obnoviteľné zdroje energie. Je to jeden z celosvetovo najrozšírenejších a najviac využívaných materiálov. Oblúbené je jeho široké spektrum využiteľnosti. Drevo je tvorené pevným pletivom, tvoriacim sa v stonke vyšších rastlín. Tieto rastliny sú nazývané drevinami. Tento materiál sa aj pri relatívne nízkej hmotnosti vyznačuje dobrými hodnotami pevnosti a pružnosti. Jeho opracovanie je nenáročné a poskytuje dobré tepelno – izolačné vlastnosti. Jednou z nevýhod dreva je jeho horľavosť. Zároveň je však drevo schopné pojať veľký objem vody, čo spôsobuje objemovú nestálosť. Keďže ide o prírodný materiál, človek nemá plnú kontrolu nad vnútornou štruktúrou materiálu a drevo preto obsahuje vady. Ďalej je náchylné k napadnutiu škodcami. Aj napriek týmto nedostatkom je však stále veľmi obľúbeným materiálom [1].

1.1 Stavba stromu

Strom je zložený z troch hlavných častí. Tvorí ho súbor vetiev a listov nazývaný koruna, kmeň a koreňová sústava. Každá z týchto častí zastupuje osobitú funkciu a ich priemyselná využiteľnosť sa líši. Za drevo koruny stromu sa pokladajú vetvy a zvyšok hlavnej osy, ktorý je tenší ako 7 cm. Z tenkých vetiev koruny nepravidelného tvaru nie je možné dostať žiadny typ reziva, preto sa z nej vyrába lesná štiepka. Tá je využívaná na buď na energetické účely, alebo je lisovaná do drevotriekových dosiek. Koreňová sústava je použiteľná ako palivové drevo, avšak pri zohľadnení vysokých ekonomických nákladov na ťažbu a dopravu, nie je efektívne s koreňmi ako surovinou počítať. V priemysle je najviac využívané drevo z kmeňa stromu. Ten tvorí 70 – 90 % celkového objemu dreva stromu. Tvar kmeňa je závislý na mnohých faktoroch. Dĺžka a šírka kmeňa je ovplyvnená klimatickými podmienkami, kvalitou a hĺbkou pôdnej vrstvy či na pestovateľských opatreniach. Podľa tvaru sa kmene delia do dvoch skupín. Plnodrevený kmeň má tvar blížiaci sa valcu. Zbiehavý kmeň dosahuje takmer kužeľovitý tvar. Zbiehavosť kmeňa sa zaraďuje do väd dreva a prejavuje sa hlavne u drevín nízkeho rastu ktoré rastú na chudobnej pôde. Keďže kmeň je najhodnotnejšou a najvyužiteľnejšou časťou stromu v priemyselnom spracovaní, je plnodrevený kmeň najžiadanejší [1].

1.1.1 Časti kmeňa

V priereze kmeňa, v smere od vonkajšieho obvodu ku stredu sa rozlišuje: kôra, kambium, drevo a dreň. Priblíženie a pochopenie štruktúry kmeňa je možné pozorovaním základných rezov kmeňa. Rezy vedené v rôznych rovinách a pod rôznymi uhlami voči stredovej osi majú voči sebe inú kresbu. Je to spôsobené valcovou vrstevnatou stavbou kmeňa s prevahou pozdĺžne orientovaných vláknitých elementov. Z tohto dôvodu sa určili tri základné rezy: priečný, pozdĺžny radiálny a pozdĺžny tangenciálny [1].



Obr. 1 základné rezy drevom [2]

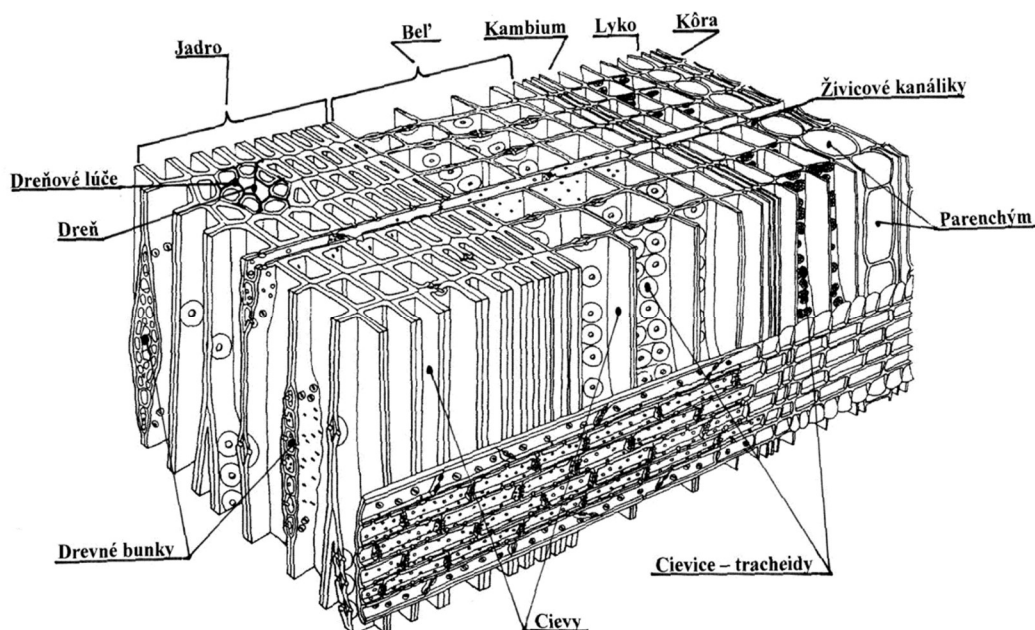
Priečny rez prechádza v rovine kolmej na os kmeňa, priečne cez prevažne pozdĺžne orientovanú stavbu kmeňa. Na tomto reze je možné pozorovať letokruhy, ktoré tu vytvárajú koncentrické prírastkové vrstvy. Slúži na vyhodnotenie širok letokruhov, percentuálne zastúpenie jarného a letného dreva či ostrosť prechodu medzi jarným a letným drevom. Pozdĺžny radiálny rez - je to pozdĺžny rez prechádzajúci cez os kmeňa. Anatomické elementy sú rozrezané vo svojich pozdĺžnych rozmeroch. Letokruhy vytvárajú takmer rovnobežné pásy. Pozdĺžny tangenciálny rez - je vedený rovnobežne s osou kmeňa a rovina rezu je dotyčnicou jedného z letokruhov. Je možné v ňom pozorovať široké dreňové lúče v priečných rozmeroch a to ako rôzne široké zvislé pásiky. Dĺžka pásov odpovedá výške dreňového lúča [1].

1.1.2 Kôra

tvorí vonkajšiu časť kmeňa a obklopuje jeho stredové časti. Kôrové vrstvy sú tvorené sústavou pletív, ktorá je stavbou ešte zložitejšia ako drevo. Súvisí to ako s funkciou kôry tak aj s pôvodom jej vzniku. Kôra vzniká činnosťou delivých pletív kambia, felogénu a následných felogénov. Každá drevina má svoj typický morfológický tvar kôry ktorý sa mení vplyvom veku a lokácie. Kôra sa skladá z dvoch, farebne odlišných vrstiev. Lyko – je vnútorná vrstva kôry. Je produktom kambia a má vodivú funkciu. To znamená že prenáša asimiláty vytvorené fotosyntézou z listov na miesto spotreby. Vonkajšia kôra- jej vznik zabezpečuje korkové delivé pletivo felogénu. Jej funkcia je ochranná a izolačná. V súčasnosti sa kôra pridáva ako prímesový prvok pri výrobe izolačných dosiek, používa sa aj ako výplňový materiál pre plasty a lisované výrobky [1].

1.1.3 Kambium

Kambium je delivé merizmetické pletivo ktoré sa nachádza v priestore medzi drevom a lykom. Je tvorené úzkou, makroskopicky neviditeľnou vrstvou živých buniek. Počas rastu produkuje sekundárne vodivé pletivá. Smerom ku stredu kmeňa tvorí sekundárne drevo a smerom k vonkajšiemu obvodu tvorí sekundárne lyko. Jeho periodickou činnosťou je zaistený radiálny prírastok na kmeni stromu. Z priemyselného hľadiska pre drevo ako materiál nemá praktický význam [1].



Obr. 2 Mikroštruktúra dreva [3]

1.1.4 Dreň

Je to riedke pletivo svetlej farby. Na začiatku rastu je tvorené živými parenchymatickými bunkami. V starších stromoch postupne odumiera. V prvom roku života má za úlohu vedenie vody, po tomto období túto funkciu preberá novo vzniknuté drevo v letokruhoch. Priemer vrstvy drene sa pohybuje v intervale 2-5 mm. Dreň sa zásadne nenachádza v strede kmeňa ale je umiestnená excentricky. Na rozdiel od kambia, dreň negatívne ovplyvňuje vlastnosti dreva. Pri zosychaní dreva je dreň iniciátorom dreňových trhlín, ktoré narúšajú celistvosť štruktúry dreva. Jej prítomnosť v drevených výrobkoch a v kvalitnom rezive je neprípustná [1].

1.1.5 Drevo

Je centrálnou časťou kmeňa drevín. Nachádza sa medzi kambiom a dreňou. Vytvára ho delivé pletivo kambia. Ide o systém rastlinných pletív so zdrevnatenými bunkovými stenami. Z chemického hľadiska je to kompozit celulózy, hemicelulóz a ligninu spolu s inými, menej zastúpenými organickými a neorganickými látkami. Drevo je najviac zastúpenou časťou kmeňa. Zaberáť môže až 70 – 93 % objemu stromu [1].

1.2 Fyzikálne vlastnosti dreva

1.2.1 Vlhkosť

Drevo je materiálom ktorý dokáže vo vzťahu s okolím prijímať a odovzdávať vlhkosť či už v skupenstve plynnom alebo kvapalnom. Drevo nevyhnutne potrebuje vodu pre svoju existenciu, pri jeho využití v praxi však primárne predstavuje negatívny faktor, pretože zhoršuje jeho fyzikálne vlastnosti. Ani po výrube a následnom spracovaní však nie je možné vodu zo štruktúry úplne dostať. Je to spôsobené hygroscopicitou [4].

1.2.2 Tepelné vlastnosti dreva

Poznatky o Tepelných vlastnostiach dreva sú zvlášť dôležité pri jeho sušení. Je nutné vedieť koľko tepla je treba dodať sústave drevo – voda, aby bola ohriata na danú teplotu. Zvyšovanie teploty telesa v podstate znamená zvyšovanie energie molekúl ktoré ho tvoria. Dochádza tým k zväčšovaniu jeho rozmerov. Túto zmenu definuje koeficient tepelnej rozťažnosti, ktorý je definovaný ako podiel daného rozmeru a pôvodného rozmeru pri lineárnej závislosti na teplote [4] [5].

$$\alpha = \frac{l_{\theta} - l_0}{d\theta \cdot l_0}$$

Koeficient tepelnej rozťažnosti udáva zmenu jednotkovej dĺžky dreva pri ohriatí o 1 °C. Anizotropia štruktúry dreva spôsobuje, že koeficienty v troch hlavných osiach majú rozdielne hodnoty. Oproti koeficientom pre napučanie a zosychanie sú však tieto hodnoty rádovo menšie. Teplotné rozmerové zmeny v porovnaní s vlhkostnými rozmerovými zmenami je tým pádom možné zanedbať [4].

Tabuľka 1 Koeficienty tepelnej rozťažnosti pre rôzne dreviny

Druh dreva	Hustota $\rho_0 (kg \cdot m^{-3})$	$\alpha_t \cdot 10^6$	$\alpha_r \cdot 10^6$	$\alpha_l \cdot 10^6$
Smrek	420	34,6	23,9	3,5
Jedľa	400	31,6	21,7	3,9
Duglaska	510	45,0	27,1	3,5
Javor	680	37,6	28,4	4,2
Breza	660	39,4	32,3	3,6
Topoľ	430	33,9	23,3	3,2

1.2.3 Elektro fyzikálne vlastnosti dreva

Drevo má komplexnú štruktúru a stavbu. Po vystavení striedavému elektromagnetickému poľu vykazuje svoje špecifické vlastnosti. Elektromagnetické pole je tvorené dvoma komponentami – elektrickou a magnetickou zložkou. Vplyv magnetického poľa je zanedbateľne malý. Charakterizovaná je magnetickou susceptibilitou, ktorá určuje závislosť medzi zmagnetizovaným materiálom a intenzitou magnetického poľa a je veľmi malá.

Veľký vplyv na drevo má naopak elektrické pole. Vzájomnou interakciou medzi elektrickým poľom a drevom vzniká v materiáli elektrický prúd. V celom rozsahu vlhkosti sa drevo chová ako dielektrikum. V štruktúre sa nachádza len malý počet voľných nábojov. Väčšina elektrických nábojov je silne viazaná a ich nosiče sa nemôžu pohybovať na väčšie vzdialenosti. Tento fakt má za následok malú elektrickú vodivosť dreva a výraznú polarizáciu ovplyvnenú viazanými nábojmi. Polarizačný efekt je spôsobený zmenami v priestorovom usporiadaní elektricky nabitých častíc za pôsobenia vonkajšieho elektrického poľa [1] [5].

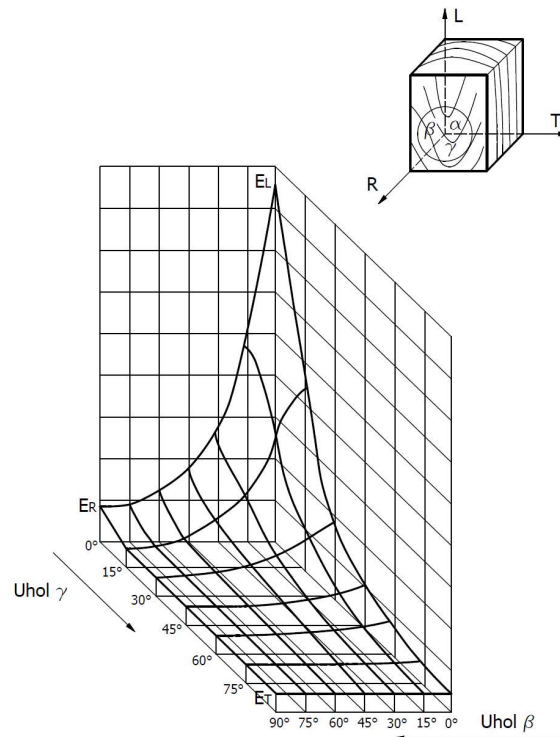
1.2.4 Akustické vlastnosti dreva

Zvuk je vo svojej podstate mechanické vlnenie prostredia ktoré zachytáva ľudský zvukový orgán. Je to usporiadaný kmitavý pohyb molekúl ktoré medzi sebou interagujú. Šírenie zvuku je preto možné len v hmotnom prostredí. Ak na drevo pôsobia vonkajšie periodické sily, drevo sa rozvibruje. Amplitúda kmitania je závislá na frekvencii pôsobiacej sily. Pri niektorých frekvenciách drevo reaguje na maximálnu amplitúdu vynútenej vibrácie. Ide o rezonančné alebo vlastné frekvencie dreva. Pri dreve sa rozlišujú tri druhy vibrácií: pozdĺžne priečne a torzné. Po ukončení pôsobenia vonkajšej sily ktorá tieto vibrácie vynucovala, sa amplitúdy vibrácií postupne znižujú až kým teleso znova nenadobudne kludového stavu. Nahromadená dodaná energia v telese je rozptýlená radiáciou zvuku, alebo sa premení na teplo za pomoci vnútorného trenia. Kapacita tlmenia dreva rezonanciou a vnútorným trením je väčšia ako u iných konštrukčných materiálov. Z tohto dôvodu je drevo využívané na výrobu hudobných nástrojov, ale aj na zlepšenie akustických vlastností koncertných siení, divadiel a kín [1] [6].

1.3 Mechanické vlastnosti dreva

Mechanické vlastnosti dreva popisujú schopnosť dreva odolávať účinkom vonkajších síl. Všetky mechanické vlastnosti je možné rozdeliť do troch skupín: základné dovodené a technologické. Základné vlastnosti: pružnosť, pevnosť, plasticita a húževnatosť dreva. Odvodené vlastnosti: tvrdosť, odolnosť proti tešeniu, odolnosť proti trvalému zaťaženiu a odolnosť proti únavovému lomu. Technologické vlastnosti: štiepatelnosť opotrebovateľnosť, impregnovateľnosť, ohýbateľnosť. Podobne ako väčšina doteraz spomenutých vlastností dreva, majú aj mechanické vlastnosti anizotropný charakter. Veľkosť a orientáciu mechanických vlastností na úrovni mikroštruktúry a makroštruktúry určuje orientácia kovalentných a vodíkových väzieb. Usporiadanie a tvar základných mechanických elementov dreva, ako napríklad tracheid a libriformných vlákien spôsobuje značný rozdiel medzi mechanickými vlastnosťami pre sily pôsobiace v smere pozdĺžnom a kolmom na vlákna [4] [5].

Za mechanické namáhanie sa považuje interakcia medzi pôsobiacimi mechanickými silami a materiálom. Táto interakcia sa navonok prejavuje dočasnými alebo trvalým i zmenami tvaru telesa. Pri použití dreva ako konštrukčného materiálu sú najdôležitejšie dva typy namáhania. Mechanické a vlhkostné namáhanie. Oba typy namáhania sa navzájom ovplyvňujú a v závislosti na čase výrazne ovplyvňujú deformovateľnosť dreva [5].



Obr. 3 Anizotropný model vlastností dreva – modul pružnosti

1.3.1 Základné druhy mechanického napätia v dreve

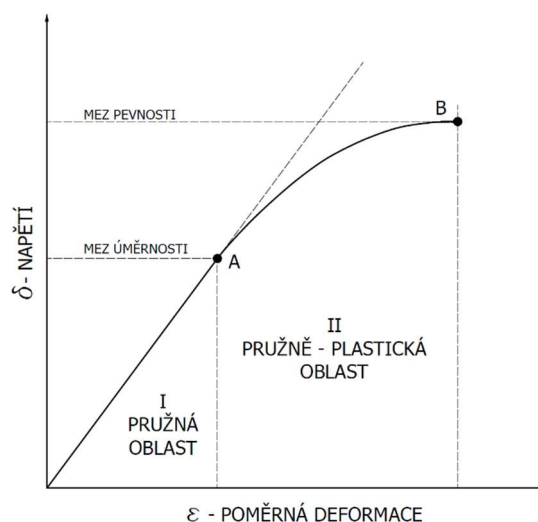
Napätie v dreve predstavuje mieru veľkosti vnútorných síl vznikajúcich ako reakcia na pôsobenie vonkajších mechanických síl. Interakciou medzi mechanickým silovým pôsobením a odporom vzniká v dreve stav napätosti. Napätie je definované ako veľkosť vnútornej sily vzťahnutú na jednotku plochy telesa. Ak sila pôsobí kolmo na túto plochu, ide o normálové napätie. Pokiaľ vektor sily leží v tejto rovine, jedná sa o tangenciálne napätie. Posledným typom je ohybový moment, ktorý vzniká kombináciou normálového a tangenciálneho napätia. Pri riešení problémov pružnosti a pevnosti sa pre anizotropné drevo zavádza tenzorová symbolika. Pre drevo je typický trojosý stav napätia. Je to spôsobené nerovnomerným bopnaním a inou rozmerovou zmenou v každom z troch základných smerov počas zosychania. Pri zosychaní sa vektorové sily snažia udržať drevenú kocku v rovnováhe napriek tomu, že sa jej objem znižuje. Vektory môžu byť na každej ploche kocky rozdelené do troch zložiek [4].

1.3.2 Pracovný diagram

Podobne ako oceľ aj väčšina priemyselne využívaných drevín má svoje pracovné diagramy. Neexistujú pre nich teoreticky odvodené rovnice, a preto sa moduly pružnosti museli určiť experimentálnymi metódami. Väčšinou sa tieto parametre získavajú na skúšobných strojoch, kde sa meria okamžitá deformácia a pôsobiace silové zaťaženie. Výsledkom je empirická krivka ktorá definuje vzťah medzi týmito dvoma veličinami. Diagram je rozdelený na dve hlavné časti. Do bodu úmernosti rastie diagram lineárne. Pred dosiahnutím tohto bodu v telese vznikajú len pružné deformácie, ktoré po odľahčení silového pôsobenia zmiznú a teleso sa vráti do pôvodného stavu [4].

Po prekonaní bodu úmernosti sú už vznikajúce deformácie plastické. Nie sú priamo úmerné napätiu a po odľahčení silového pôsobenia v telese pretrvávajú. Diagram nad medzou úmernosti má už krivkový charakter. Napätie sa zvyšuje až do hraničnej hodnoty pri ktorej je porušená celistvosť materiálu. Tento bod sa nazýva medza pevnosti dreva. Pružné deformácie sa na molekulárnej úrovni prejavujú namáhaním vodíkových väzieb medzi individuálnymi

polymérovými reťazcami. Následne dochádza k ich lámaniu a následnému preskupovaniu väzieb. Omnoho pevnejšie kovalentné väzby sú deformované v rámci benzénového jadra. Celá fibrilárna štruktúra sa posúva, nedochádza však k trvalým zlomom medzi jednotlivými vrstvami. Nad medzou úmernosti je dosiahnuté tak veľké napätie, že okrem porušenia vodíkových väzieb vznikajú porušenia aj vo väzbách kovalentných. Tieto zlomy sú už nevratné a ich výsledkom sú plastické deformácie. Pre smrekové drevo s vlhkosťou 12% sú pomery deformácii charakterizované takto: pružná deformácia 67%, deformácia pružná v čase 3%, plastická deformácia 30%. U rôznych typov mechanického namáhania sa tento pomer môže líšiť, avšak podstatou zostáva, že najväčšie zastúpenie má vždy pružná deformácia [4] [7].



Obr. 4 Obecný tvar pracovného diagramu

1.3.3 Pružnosť dreva

Pružnosť dreva je v podstate schopnosť dosiahnutia pôvodných rozmerov a tvaru po odľahčení vonkajších síl. Vnútny odpor voči pružnej deformácii vyjadrujú moduly pružnosti. Čím väčší je modul pružnosti, tým väčšie napätie je potrebné na vyvolanie deformácie. Moduly pružnosti sa rozlišujú pre normálové napätia- Youngové moduly pružnosti E a pre tangenciálne napätia sú to šmykové moduly G . Priemerná hodnota modulu pružnosti pre drevo v ťahu a tlaku v smere vlákien sa pohybuje v rozmedzí 10 000 – 15 000 MPa. V smere kolmom na vlákna je hodnota až 25 krát menšia. V radiálnom smere dosahuje hodnoty o 20 – 50 % vyššie než v smere tangenciálnom. Vzájomný pomer medzi týmito modulmi je stanovený ako $E_L:E_R:E_T = 20:2:1$. Pre ohyb je modul pružnosti stanovený len v smere kolmom na vlákna, a skúška prebieha len v tangenciálnom smere. Vzťah medzi pomerným posunutím a príslušným napätím je pre smykové napätie zo začiatku lineárny. Smykový modul pružnosti má tri zložky: v smere tangenciálne pozdĺžnom G_{Lt} , radiálne pozdĺžnom G_{Lr} a radiálne tangenciálnom G_{rt} . Pre dreviny vyskytujúce sa na našom území sa modul pružnosti v šmyku pohybuje v intervale 100 – 2000 MPa. V priečnej rovine dosahuje napätie najmenšie hodnoty. Najvyššie sú v rovine radiálnej. Vzájomný pomer medzi danými rovinami sa stanovil ako $G_{Lr}:G_{Lt}:G_{rt} = 7,5:5:1$ [4] [8].

Tabuľka 2 Moduly pružnosti pre vybrané dreviny

Drevo	Modul pružnosti [MPa]						
	V tlaku a ťahu			V ohybe	V šmyku		
	E_L	E_R	E_T		G_{LR}	G_{LT}	G_{RT}
Smrek	14 300	680	470	12 800	1 230	800	55
jaseň	15 700	1 875	1 250	13 900	1 325	1 080	255
topoľ	13 900	885	350	-	840	385	110

Všetky hodnoty sú zisťované experimentálne skúškami na normalizovaných skúšobných vzorkách. Na modul pružnosti má vplyv aj vlhkosť. Všeobecne platí, že sa jeho hodnota znižuje s rastúcou vlhkosťou. Pri zmene vlhkosti o 1% sa zmení hodnota modulu pružnosti v ťahu a tlaku v smere vlákien o 2%, v ťahu a tlaku kolmo na vlákna o 3%, v ohybe o 1% a v šmyku o 3% [4].

1.3.4 Pevnosť dreva

Pevnosť dreva vyjadruje jeho odolnosť voči vytvoreniu trvalého porušenia. Definuje ho veľkosť napätia pri ktorom dôjde k porušeniu súdržnosti telesa. Podobne ako pri pružnosti nie je možné vypočítať pevnosť dreva teoreticky pre žiadny spôsob mechanického namáhania. Prostredníctvom experimentov sa získavajú údaje ktoré ďalej slúžia na určenie skutočnej pevnosti dreva. Počas experimentov je sledované skutočné napätie v okamihu porušenia celistvosti skúšobného telesa. Výsledné hodnoty pevností dreva však nie sú absolútnymi konštantami. Sú závislé na metodike skúšky ktorou boli zistené [4] [9].

Pevnosť v tlaku

V závislosti vzájomnej orientácie pôsobiacej sily a vlákien materiálu sa rozlišuje Pevnosť v tlaku v smere vlákien, pevnosť v tlaku naprieč vláknami – v smere tangenciálnom, v smere radiálnom. Poznatky o tlakovej pevnosti v smere vlákien sú v praxi veľmi dôležité. Dôležitými faktormi sú hustota a vlhkosť dreva. Pevnosť rastie s rastúcou hustotou a klesajúcou vlhkosťou. Pri skúške suchého dreva s vysokou hustotou vzniká vplyvom vonkajšieho zaťaženia na skúšobnej vzorke porušenie dreva vo forme smyku. Dochádza k posunu jednej časti telesa v smykovvej rovine, ktorá leží v tangenciálnej ploche a zvierá s pozdĺžnou osou telesa uhol 60°. Pri vzorke vyrobenej z materiálu nízkej hustoty a vysokej vlhkosti dochádza k otláčeniu vlákien na čelných plochách a k vybočovaniu stien zaťažovaného telesa. V zóne porušovania štruktúry dreva dochádza k zmenám mikroskopickej stavby jednotlivých elementov. Medza úmernosti v tlaku v smere vlákien je pre väčšinu drevín priemerne 60% medze pevnosti. Ihličnaté dreviny v tomto smere vykazujú vyššie hodnoty. Spôsobuje to ich pravidelnejšia stavba. Listnaté dreviny majú vnútornú stavbu kruhovo pórovitú a menej pravidelnú a preto dosahujú nižšie medze úmernosti. Vzniknuté napätie v telese sa prenáša hlavne pomocou elementov s hrubou bunkovou stenou. V týchto stenách sa napätie prenáša cez makromolekuly celulózy a hemicelulózy na amorfnú výplň celulóznej kostry bunkovej steny. Plastická deformácia vznikajúca pri tlaku je teda hlavne prejavom trvalých zmien v štruktúre ligninu či narušenia lignino – sacharidového komplexu [4] [7].

Pri zaťažovaní dreva naprieč vláknami nedochádza k porušovaniu oddeľovaním jednotlivých častí, ale k postupnému zahusťovaniu drevnej štruktúry v celom objeme. Pre tento typ zaťažovania sa s ohľadom na makroskopickú štruktúru letokruhov rozoznávajú dva typy deformácie: dvojfázová a trojfázová.

Pri dvojfázovej deformácii je na začiatku príslušného diagramu zreteľný lineárny priebeh ktorý končí v bode maximálneho pružného zaťaženia. Nad bodom úmernosti následne dochádza k porušovaniu súdržnosti materiálu na hraniciach letokruhov. Letokruhy sa od seba vzdiaľujú, ohýbajú sa a dochádza k zväčšovaniu plastickej deformácie. Dvojfázová deformácia vzniká pri zaťažovaní v tangenciálnom smere pri ktorom dochádza k súčasnému stláčaniu jarného a letného dreva. Je charakteristické pre ihličnaté dreviny a listnaté dreviny s kruhovito pórovitou stavbou letokruhov [7].

Chovanie dreva pri zaťažovaní naprieč vláknami v radiálnom smere popisuje trojfázová krivka deformácie dreva. Prvotná lineárna časť grafu predstavuje stláčanie jarného dreva v letokruhoch. Po dosiahnutí medze úmernosti anatomicke elementy strácajú stabilitu a dochádza k ich stlačovaniu. Napätie má rovnakú, alebo len mierne zvýšenú hodnotu. Plastické

deformácie sa pomaly rozvíjajú. Tieto procesy sú na grafe popísané takmer vodorovnou časťou krivky. Za postupnej deformácie oboch vrstiev letokruhov nastáva prechod do tretej fáze deformácie. Zaťaženie dosahuje výrazne vyšších hodnôt a tým dochádza k zahusťovaniu dreva. Vo väčšine prípadov tento proces nevedie k úplnému porušeniu štruktúry dreva. Z tohto dôvodu je pevnosť v tlaku určovaná z medze úmernosti. Keďže vlastnú medzu úmernosti je veľmi náročné určiť, zaviedla sa konvenčná medza úmery ktorá je závislá na dopredu stanovených kritériách [4] [8].

Pevnosť v ohybe

Pevnosť dreva v ohybe je jednou z jeho najdôležitejších vlastností. Podľa orientácie vlákien voči ohybu sa rozlišujú 2 typy pevnosti:

- pevnosť v ohybe, keď vlákna prechádzajú rovnobežne s osou telesa a sila pôsobí priečne na vlákna v radiálnom alebo tangenciálnom smere.
- pevnosť v ohybe, keď vlákna prechádzajú kolmo na os telesa a priečny rez je orientovaný v smere pôsobiacej sily alebo kolmo na ňu

Pevnosť v ohybe pri ktorom sú vlákna orientované kolmo na pozdĺžnu os telesa v skutočnom svete prakticky neexistuje. V odbornej literatúre je pevnosť v ohybe uvažovaná vždy za pozdĺžnej orientácie vlákien a pozdĺžnej osi. Pri zaťažení telesa ohybom vzniká v hornej časti napätie v ťahu a v dolnej časti napätie tlakové. Na ploche ktorá rozdeľuje tieto dve zóny nie je žiadne normálové napätie a nazýva sa neutrálna os. Medzi ťahovým a tlakovým napätím vzniká smykové napätie. Tlaková pevnosť dreva pozdĺžne s vláknami dosahuje omnoho menšie hodnoty než ťahová pevnosť. Preto sú prvé poškodenia štruktúry iniciované v tlakovej zóne. Dochádza tu k vybočovaniu vlákien ktoré však nie je voľným okom pozorovateľné. Finálne porušenie vzniká v ťahovej zóne. Keď veľkosť napätia presiahne medzu pevnosti, vlákna na povrchu telesa sa začnú odštiepavať, až nakoniec dôjde k úplnému zlomeniu telesa. Krehké, málo pevné drevo má takmer hladký zlom, zatiaľ čo zlom pevného húževnatého dreva má vláknitý, trieskovitý charakter. V nasledujúcej tabuľke je možné vidieť že drevo ako materiál disponuje dobrou ohybovou pevnosťou a preto je obľúbeným materiálom na výrobu nosných konštrukčných prvkov namáhaných ohybom [4].

1.3.5 Tvrdosť

Tvrdosť materiálu predstavuje schopnosť materiálu klásť odpor proti vnikaniu cudzieho telesa do jeho štruktúry. Jedná sa o veľmi dôležitú charakteristiku materiálu pri jeho spracovaní. Pri obrábaní dreva reznými nástrojmi je dôležité poznať jeho tvrdosť na výber vhodného nástroja a stanovenie rezných podmienok. Podľa druhu zaťažovania sa rozlišuje statická a dynamická tvrdosť [7].

Princíp zisťovania statickej tvrdosti dreva spočíva v zatlačovaní ocelevej guľičky daného priemeru statickým zaťažením. Skúška sa vykonáva na čelných, radiálnych a tangenciálnych plochách skúšobného vzorku. Pre drevo sú najpoužívanějšími metódami skúšky podľa Brinella a podľa Janku.

Pri metóde podľa Brinella je indenterom guľička s priemerom 10 mm. Vyrobená môže byť zo spekaného karbidu alebo ocele. Sila, ktorou je vtlačaná do materiálu, je zvolená na základe tvrdosti dreva. Pre mäkké dreviny je to 100N, stredne tvrdé 500 N a pre tvrdé dreviny je to 1000 N. Po odľahčení sa pristupuje k zmeraniu rozmerov odtlačku, ktorý indenter v materiály zanechal. Priemer odtlačku a zaťažujúca sila sú následne dosadené do vzorca pre tvrdosť HB [4]:

$$H_B = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.2)$$

kde: F - sila pôsobiaca na indentor [N],
 D - priemer guličky [mm],
 d - priemer odtlačku [mm].

Jankova metóda spočíva v podobnom postupe prevedenia skúšky, avšak pozorované veličiny sú rôzne. Induktorom je guľička s priemerom 11,28 mm a vtlačená je do hĺbky 5,64mm. Týmto procesom vznikne na povrchu vzorku odtlačok s plochou 100 mm². Na rozdiel od metódy podľa Brinella sa pri tejto metóde sleduje sila, ktorá musela byť dosiahnutá aby odtlačok danej plochy vznikol. Sila je následne dosadená do vzorca pre výpočet tvrdosti H_j [4]:

$$H_j = \frac{F}{S} \quad (2.2)$$

kde: F - sila pôsobiaca na indentor [N],
 S - plocha 100 mm²

Tabuľka 3 Tvrdosti dreva pre rôzne dreviny

Druh dreva	Tvrdosť dreva na ploche [MPa] pri vlhkosti					
	čelná plocha		radiálna plocha		tangenciálna plocha	
	12%	>30 %	12%	>30 %	12%	>30 %
Borovica	28,5	13,5	24	11,0	25,0	11,5
smrek	26,0	12,0	18,0	8,5	18,5	8,5
agát	97,0	57,7	68,0	40,5	78,0	46,5
dub	67,5	40,0	56,0	33,5	49,0	29,0
buk	61,0	36,5	44,5	26,5	43,5	25,5

Statická tvrdosť je všeobecne vyššia v rovinách orientovaných kolmo na smer vlákien ako v pozdĺžnych rovinách. Napríklad pri ihličnatých drevinách tento rozdiel predstavuje až 40%. Hodnoty statickej tvrdosti sú späté s vlhkosťou dreva. Pri zmene vlhkosti o 1% dochádza k zmene statickej tvrdosti o 3%. Podľa hodnôt statickej tvrdosti je možné rozdeliť dreviny do 5 skupín [4]:

- Mäkké dreviny
- Stredne tvrdé dreviny
- Tvrdé dreviny
- Veľmi tvrdé dreviny
- Super tvrdé dreviny

2 OBRÁBANIE DREVA

Rezanie dreva je technologický proces, v ktorom je za pôsobenia rezného nástroja odstraňovaná časť materiálu. Zámerom môže byť rozdelenie na menšie kusy alebo získanie obrobku požadovaného tvaru a kvality povrchu. Pri procese strojového obrábania dreva sa prejavuje veľa činiteľov, či už technických alebo technologických. Tieto činitele sa môžu vzťahovať k týmto okruhom [10]:

- obrábaný materiál (druh, vlastnosti dreva, vlhkosť teplota)
- obrábací nástroj (geometria, opotrebovanie rezná rýchlosť)
- obrobok a materiál súčasne (model rezania, prierez triesky).

Je dôležité aby bola správne vypracovaná analýza rezných procesov skôr ako sa začne s projekčnými prácami na úrovni strojnotechnologického projektu a s konštrukčnou výkresovou dokumentáciou rezných mechanizmov drevárskych strojov. Správna analýza sa následne v prevádzke pozitívne prejaví na kapacite, životnosti zariadenia, nákladoch či tvarovej a rozmerovej presnosti výrobkov [10].

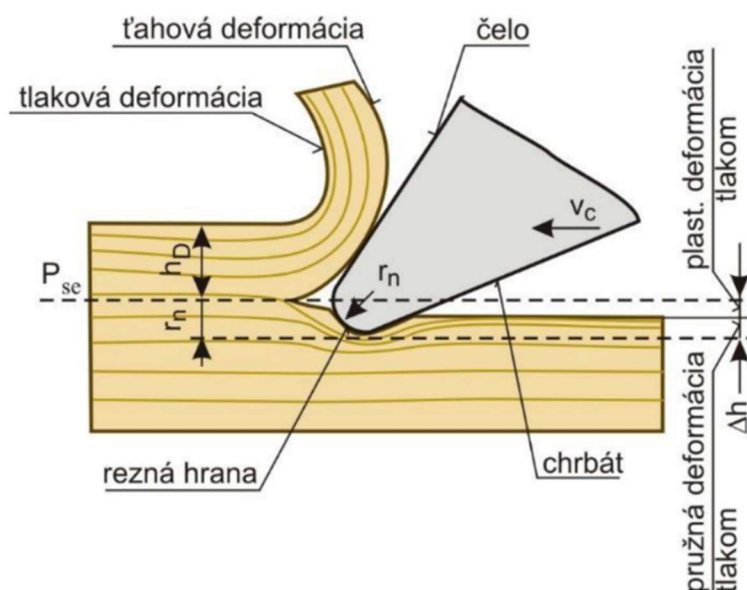
2.1 Mechanické javy pri rezaní

Pri odstraňovaní rezanej vrstvy je v dreve vytváraný napäťový stav, ktorý spôsobuje deformáciu tejto vrstvy až do bodu kedy je rozrušený. Napätie a rozrušenie však v materiáli zasahuje aj do oblastí za hranicami nominálneho povrchu rezania. To sa odzrkadľuje na kvalite skutočného obrobeneho povrchu. Do rezného procesu je dodávaná mechanická energia, ktorá je následne rozložená do zložiek a) tvorba nového povrchu na obrobku b) deformácia materiálu v rezanej vrstve c) prekonanie šmykových a trecích síl pod povrchom rezania. Štádiá priebehu rezania materiálu s bunkovou štruktúrou reznou hranou sú nasledovné. Na počiatku dochádza k ohybovej deformácii bunkových stien. Veľkosti týchto deformácii sa pohybujú v intervale pod medzou pružnosti [10].

Po prekročení medze pružnosti sa bunky začínajú rúcať a ich bunkové steny sa prisúvajú ku sebe. Nakoniec tlaková deformácia zmení charakter z elastickej na plastickú a dochádza ku konečnému prestrihnutiu bunkových stien. Práca potrebná na vytvorenie nového povrchu nedosahuje vysoké hodnoty. Ide len o približne $30 \cdot 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ nového povrchu. Viditeľnými prejavmi mechanických javov je drsná, zvláknená rezná plocha a deformovaná trieska. Zaoblenie reznej hrany spôsobuje v bunkovej štruktúre tlakovú deformáciu. Tá je najväčšia vo vrstvách ktoré sú najbližšie k ploche rezného klina. Postupne so vzdľaním sa klesá [10].

Pri trieskovom procese je trieska ohýbaná o čelo rezného klina a dochádza v nej k zložitým napätostným pomerom. Na vnútornej strane ohybu dochádza k tlakovej deštrukcii ktorá je závislá na polomere ohybu triesky. Pri pozdĺžnom rezaní je materiál pred reznou hranou namáhaný na ťah kolmo na vlákna a prejavujú sa tu tzv. záštepky. V prípade čelného rezania sú vlákna namáhané pozdĺžne na šmyk. Na chrbte rezného klina a na reznej hrane v oblasti pod rovinou strihu je drevo namáhané na tlak a šmyk [10].

Odrezávaná trieska pôsobí tlakom kolmo na čelo nástroja. Rezný klin je týmto pôsobením ohýbaný a vtlačaný do materiálu. Dá sa preto povedať, že sa trieska sekundárne podieľa na tlakovej deformácii rezného povrchu. Ak je uhol beta malý, pri rezaní hrč či veľmi tvrdého dreva môže dôjsť k zlomeniu rezného klina. Veľkosť tlakovej deformácie v chrbtovej časti rezného klina je závislá na polomere zaoblenia reznej hrany r_n a na nominálnej hrúbke triesky h_D [10].



Obr. 5 Znáznornenie ťahovej a tlakovej deformácie triesky [10]

2.2 Vplyv rezných parametrov na proces obrábania

2.2.1 Vplyv materiálu dreviny

Každý vzťah použitý pri výpočte procesov tvorby triesky zahŕňa koeficienty ktoré charakterizujú mechanické vlastnosti dreva. Medzi najdôležitejšie sa radí medza pevnosti, medza pružnosti pri rôznych typoch zaťaženia ale napríklad aj moduly pružnosti. Týmito vzťahmi je vyjadrená závislosť medzi reznou silou a danou drevinou. Silové a kvalitatívne ukazovatele procesu rezania sú ovplyvnené stavbou dreva. Je však veľmi náročné ich stanovenie teoretickým rozborom, preto sa určujú empiricky na základe skúseností. Medzi mernou reznou silou a hustotou dreva je lineárna závislosť. Na výpočet reznej sily na jednotku plochy s ohľadom na hustotu drevinu sa využíva faktor vplyvu drevinu K_D [10].

Tabuľka 4 Faktory vplyvu drevinu pre rôzne drevinu

Drevina	Lipa	Osika	Jedľa	Borovica	Jelša	Smrekovec	Breza	Buk	Dub	Jaseň
$K_d [-]$	0,8	0,85	0,95	1	1,05	1,1	1,25	1,4	1,55	1,75

2.2.2 Vplyv vlhkosti

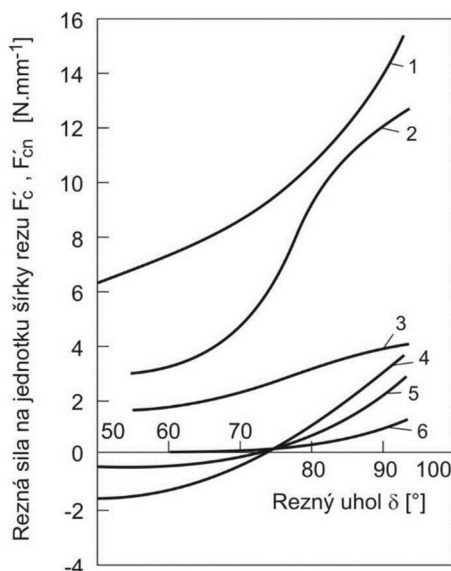
Pri zvyšovaní vlhkosti materiálu až do bodu nasýtenia vlákien sa zhoršujú mechanické vlastnosti dreva a tým pádom sa znižuje rezná sila. Po nasýtení dreva sa už pevnosť nemení, avšak v materiály sa nachádza voľná voda, ktorá pôsobí ako mazivo. Znižuje trenie v reze a tým znižuje reznú silu. Vo výpočte reznej sily je vlhkosť zohľadnená faktorom vplyvu vlhkosti k_w [10].

Tabuľka 5 Faktory vplyvu vlhkosti pre niektoré drevinu

Vlhkosť [%]	5 – 8	10 – 15	25 – 30	50 – 70	Nad 70
K_w	1,1	1	0,95	0,9	0,8

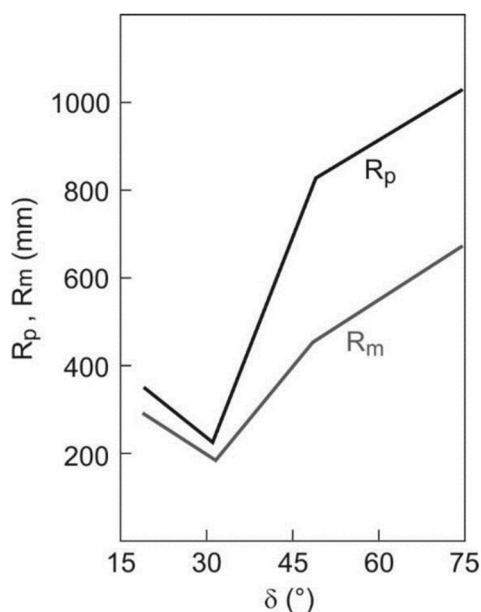
2.2.3 Vplyv geometrie nástroja

Rezný uhol delta je definovaný polohou roviny čela nástroja voči vektoru reznej rýchlosti. Sily na reznej hrane a na chrbte nástroja nie sú závislé na uhle delta. Ak všetky podmienky vzájomného pôsobenia nástroja s drevom zostanú nezmenené, zväčšenie rezného uhla delta spôsobí zväčšenie reznej sily F_c a zmenšenie normálovej reznej sily F_{cn} . V najväčšom rozsahu je možné sledovať vplyv rezného uhla na reznú hranu pri pozdĺžnom a pozdĺžno-čelnom rezaní.



Obr. 6 Závislosť reznej sily na jednotku šírky rezu

Nastavenie rezného uhla má veľký vplyv aj na kvalitu obrábaného povrchu. Pri experimentálnom meraní drsnosti povrchu bolo dokázané, že pri zmenšení uhla delta z hodnoty 75° na hodnotu 30° sa najvyššia drsnosť povrchu R_z zmenila z 1000 na 200 mikrometrov. Bolo dokázané, že pre hodnoty δ menšie ako 30° sa ukazovatele kvality zhoršujú. Nástroje s malým uhlom rezného klina beta majú malú pevnosť a rýchlo sa vylamujú. To sa následne odzrkadľuje na kvalite povrchu [10].



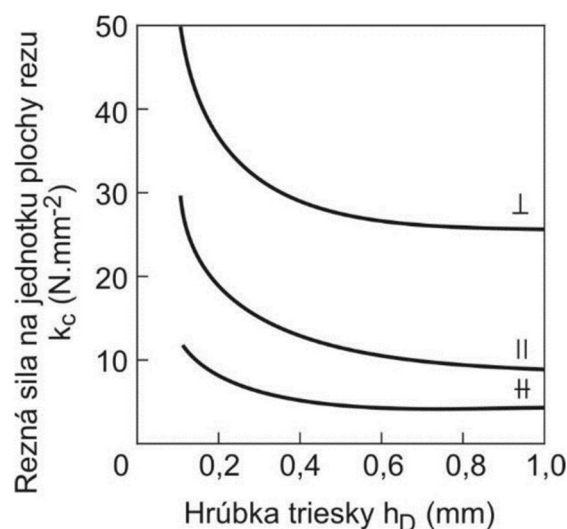
Obr. 7 Vplyv rezného uhla na kvalitu povrchu

2.2.4 Vplyv reznej rýchlosti

Za účelom určenia závislosti reznej rýchlosti, reznej sily a kvality povrchu pri procese elementárneho rezania bola využitá mechanicko–matematická analýza. Avšak spojitosť medzi týmito veličinami nebolo možné preukázať. Poznatky z experimentov ukazujú, že zvýšenie reznej rýchlosti z $40\text{--}50\text{ m.s}^{-1}$ na 100 m.s^{-1} vyvoláva zväčšenie reznej sily o 35–40%. Tento prírastok sily je ovplyvnený faktormi ako napríklad prekonanie sily zotrvačnosti triesky, zvýšenie pevnostných ukazovateľov dreva v podmienkach veľkých rezných rýchlostí či zmenou trenia dreva o nástroj. Pri zvyšujúcej sa reznej rýchlosti rastie aj kvalita obrobeného povrchu. Koeficient K_v zohľadňuje vplyv reznej rýchlosti na reznú silu [10].

2.2.5 Vplyv hrúbky triesky

So zväčšujúcou sa hrúbkou triesky logicky rastie aj sila ktorá je potrebná na jej zdeformovanie a následné odrezanie. Zväčšovaním nominálnej hrúbky prierezu h_D však klesá rezná sila na jednotku plochy k_c . Z ekonomického hľadiska je kvôli spotrebe energie výhodné nadmieru odstraňovať jedným prechodom nástroja. Treba však zvážiť fakt, že zväčšovanie hrúbky triesky negatívne ovplyvňuje výsledný povrch. Mení sa pri tom charakter tvorby triesky. Stáva sa viac drobivou a na obrábanej ploche vznikajú nerovnosti spôsobené zväčšeným namáhaním v zóne rezania [10].



Obr. 8 Závislosť reznej sily na nominálnej hrúbke triesky

2.3 Tvorba triesok a tvar triesky pri rezaní

Pre rezné procesy v drevospracujúcom priemysle sú rozlišované dva základné spôsoby tvorenia triesok. Ide o ustálený a neustálený proces tvorenia triesok. Ustálený proces tvorenia triesok nie je prerušovaný, nesprevádzajú ho rozrušenia oblasti tvorby triesok v obrábanom materiáli a je charakteristický tvorením súvislej triesky v tvare pásu či špirály. Neustálený proces tvorenia triesok je charakteristický periodickosťou vyvolanou rozrušením oblasti tvorenia triesky. Spôsobené je to hlavne tým, že plastická deformácia v zrezávanej vrstve zabraňuje tvorbe súvislej triesky a tvorí sa trieska časticová. Tá pozostáva zo zreteľne oddelených častíc ktoré si medzi sebou udržiavajú alebo neudržiavajú spojenie. Podľa vplyvov činiteľov pôsobiacich na rezný proces sa rezanie rozdeľuje na elementárne a zložité. Rezný proces sa nazýva elementárnym po splnení nasledujúcich podmienok [10]:

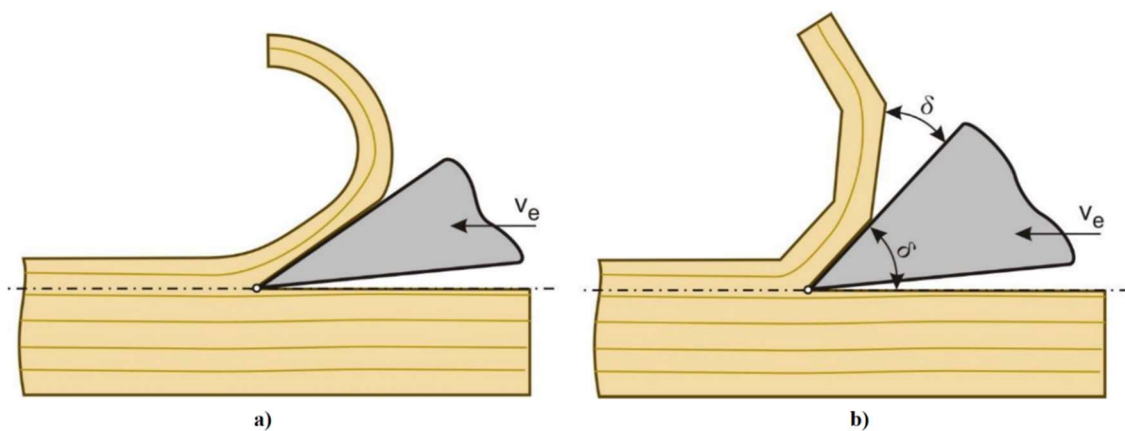
- Rezná rýchlosť v_c je konštantná.
- Posuvná rýchlosť v_f je konštantná a priamočiara.

- Nominálna hrúbka prierezu triesky h_D je konštantná.
- Pohyb hlavnej reznej hrany je priamočiary.
- Uhol sklonu hlavnej reznej hrany $\lambda_s = 0^\circ$.
- Uhol medzi vektorom reznej rýchlosti v_c a smerom vlákien φ_2 je konštantný.
- Otvorený druh rezania t.j. dĺžka hlavnej reznej hrany l_s je väčšia ako šírka obrobku b .

2.3.1 Tvorba triesok pri pozdĺžnom rezaní

Pri pozdĺžnom rezaní vznikajú dva základné typy triesky: súvislá špirálová a časticová mnohouholníková. Súvislá špirálová trieska vzniká primárne pri malej hrúbke zrezávanej vrstvy. Ide o hrúbky menšie ako 0,2 mm. Trieska sa rozvíja v rovine tvorenia triesok a je deformovaná plastickým šmykom alebo ohybom. Vzniká za ustáleného procesu rezania a obrobeneý povrch má malú drsnosť s vysokou hladkosťou. So zväčšujúcou sa hrúbkou odobratej vrstvy rastie aj polomer špirály [10].

Časticová mnohouholníková trieska vzniká za neustáleného procesu tvorby triesky. Hrúbka odobratej vrstvy je väčšia ako pri súvislej špirálovej trieske a rezný uhol δ je menší. Vedľajším efektom tvorby tohto typu triesky je vznik prasklín tzv. záštepov v dreve pred reznou hranou. Na začiatku rezného procesu je drevo oblasti reznej hrany deformované tlakom ako v pozdĺžnom, tak aj v čelnom smere. Rezný klin vníkaním do dreva ohýba jeho vlákna, no pri veľkej hrúbke triesky je odpor proti ohybu väčší ako je ťahová pevnosť v smere kolmom na vlákna. Vznikajú praskliny ktoré sa predlžujú až do bodu prekonania ťahovej pevnosti vlákien ktoré sa nachádzajú na vonkajšej strane kedy dochádza k nalomeniu triesky ohybovým momentom [10].

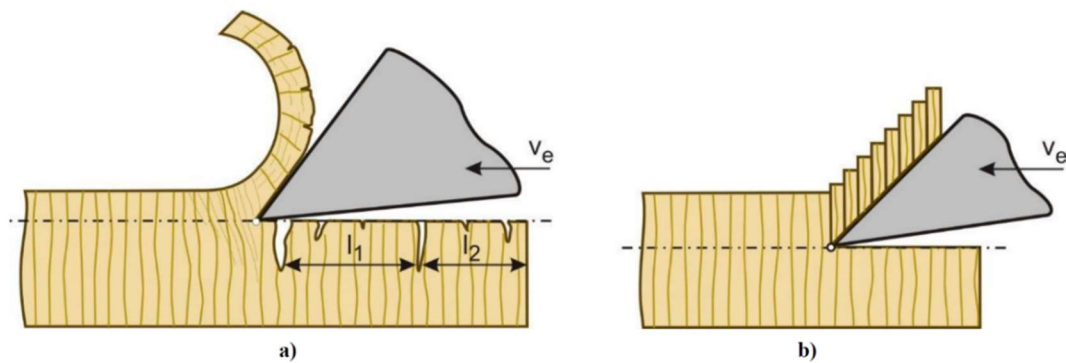


Obr. 9 Špirálovitá hladká a mnohouholníková súvislá trieska [10]

2.3.2 Tvorba triesok pri čelnom rezaní

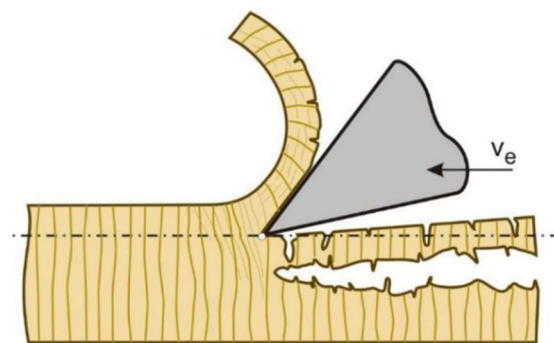
Súvislá trieska - vyskytuje sa len pri ustálenom procese rezania. Na dosiahnutie tohto typu triesky je nutné zrezávať vrstvu o malej hrúbke s využitím veľmi ostrého nástroja. Trieska je v niektorých miestach čiastočne ponadštiepaná, udržiava však celistvosť a nerozpadáva sa. Skladá sa z prvkov viazaných malými silami [10].

Časticová trieska delená - ide o typ triesky vznikajúcej pri väčšej hrúbke zrezanej vrstvy. Nesúdržnosť triesky je spôsobená malou pevnosťou v šmyku dreva v smere pozdĺžnom s vláknami [10].



Obr. 10 Trieska súvislá s trhlinami a delená časticová trieska [10]

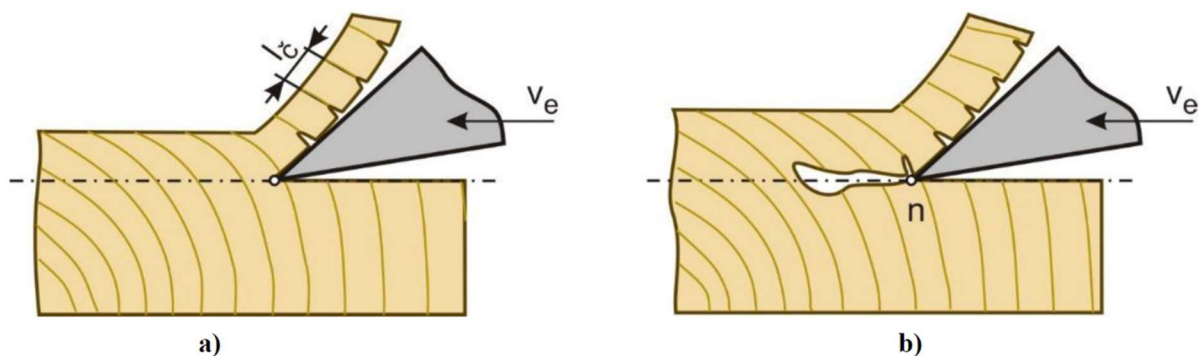
Za použitia opotrebovaného nástroja môže dôjsť k nežiadúcemu javu vzniku druhej triesky za rezným klinom. Spôsobuje to trhlina ktorá sa iniciuje v určitej hĺbke pod reznou rovinou. Povrch, obrobený za cyklicky sa opakujúcich trhlín pod reznou rovinou, nie je vyhovujúci. Vznik horizontálnych trhlín je odôvodnený opotrebovanou reznou hranou. Pod touto hranou sa nahromadí veľké množstvo napätia v smere kolmom na vlákna ktoré prekoná hodnotu pevnosti dreva v ťahu v rovnobežnom smere s vláknami v reznej rovine. Vlákna sú následne popretŕhané [10].



Obr. 11 trieska súvislá s horizontálnou trhlinou [10]

2.3.3 Tvorba triesok pri priečnom rezaní.

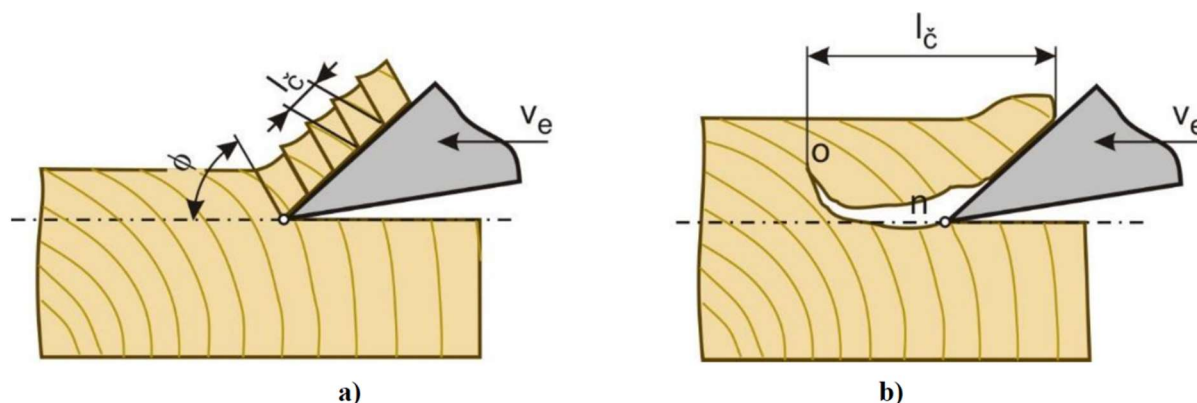
Súvislá trieska - má tvar súvislého pásu na ktorom sa na vnútornej časti v ťahovej oblasti tvoria trhliny. Tieto trhliny neprechádzajú až na povrch. S rastúcou hrúbkou zrezávanej vrstvy klesajú rozostupy medzi trhlinami. Pre zrezávanie vrstiev malých hrúbok h_D sa rezný uhol pohybuje v intervale 20:70 stupňov. Pre väčšie hrúbky h_D (0,5 - 4 mm) sa rezný uhol znižuje do hodnoty 20:25 stupňov. Na vytvorenie hrubých súvislých triesok musí obrobok prejsť hydrotermickou úpravou. Pri rezaní triesok o veľkej hrúbke môže pred reznou hranou vznikať predbiehajúca trhlina. Rovina tvorby tejto trhliny sa nezhoduje s rovinou rezu [10].



Obr. 12 trieska súvislá a súvislá s predbiehajúcou trhlinou [10]

Časticová delená trieska - je tvorená oddelenými časticami ktoré vznikajú účinkom šmykového napätia v rovine tvorby triesky. S rastúcou hrúbkou triesky rastie aj dĺžka častíc. Tangenciálne napätie v rovine tvorby triesky presahuje pevnosť dreva v smere kolmom na vlákna. Vnúterné trhliny prechádzajú až na povrch. Povrch obrobenej plochy je veľmi kvalitný vďaka tomu, že je vytvorený bezprostredne len reznou hranou [10].

Trhaná trieska - má štruktúru častíc ktoré sa oddeľujú z materiálu spôsobom trhania. Priehlbiny ktoré sa pri tom vytvoria zachádzajú pod reznú rovinu. Tento typ triesky sa tvorí v prípade že je hrúbka triesky spolu s rezným uhlom príliš veľká [10].



Obr. 13 delená časticová šmyková a trhaná trieska [10]

2.4 Základné princípy/veličiny obrábania dreva

Stroje na obrábanie dreva je možné z dlhodobého hľadiska efektívne využívať pri optimálnej voľbe obrábacieho stroja, správnom výbere nástroja a parametrov technologického režimu. Na týchto parametroch je priam závislý výkon, presnosť kvalita a hospodárnosť výroby konečného produktu. Pre porozumenie a kvalifikovanú aplikáciu jednotlivých nástrojov, obrábacích, posuvných a prítlačných mechanizmov strojov a strojných zariadení je nutné ovládať prvky zákonitostí pri obrábaní dreva. Základné prvky a zákonitosti obrábania dreva zahŕňajú [10]:

- dynamické a energetické prvky procesu rezania
- kinematika procesu rezania

Dynamické a energetické prvky ďalej zahŕňajú reznú silu a mernú reznú silu, reznú prácu a mernú reznú prácu, rezný výkon, posuvnú silu, výkon pre posuv obrobku. Merná rezná sila je z tohto vzťahu odvodená ako pomer sily F_r a priečneho prierezu odrezávanej triesky. Vyjadruje tým pádom tlak na jednotkovú plochu triesky. Veličina K vyjadruje súhrn vplyvov rôznych vlastností rezaného materiálu. Je to jeden z parametrov charakterizujúcich rezné podmienky. Rezná práca, mernou reznou prácou je myslené množstvo potrebnej vynaloženej práce na pretvorenie 1cm^3 materiálu na triesku. Rezný výkon je množstvo reznej práce A_r za sekundu. Posuvná sila F_{pos} je sila pôsobiaca na obrobok, zaručujúca opakované odrezávanie triesky a prekonanie trecích odporov. Výkon pre posuv obrobku je závislý na veľkosti posuvnej sily a rýchlosti posuvu obrobku za sekundu [10].

2.5 Rozdelenie strojov a nástrojov na spracovanie dreva podľa normy

2.5.1 Rozdelenie strojov

Strojárenskými zariadeniami používanými pri spracovaní dreva, sú nazývané všetky stroje, zariadenia, prípravky či pohony a rozvody, ktoré sú použité pri spracovaní dreva. Nezáleží pri tom na fakte, či sú z kategórie určenej na:

- priame spracovanie dreva (Stroje na delenie, tvarovanie, sušenie)
- spracovanie iných materiálov (ostriace nástroje, nanášačky lepidla)
- všeobecné použitie (dopravné zariadenie, energetické stroje, rozvody)

Základným rozdelením strojov a zariadení používaných pri spracovaní dreva je udávané normou STN ISO 7984 . Norma uvádza tieto skupiny [11]:

0	Zariadenia na vnútornú úpravu (zušľacht'ovanie dreva)
1	Obrábacie stroje na drevo
2	Deliace stroje na drevo
3	Tvarovacie stroje na drevo
4	Vypaľovacie stroje na drevo
5	Stroje a zariadenia na spojovanie dreva
6	Stroje a zariadenia na povrchovú úpravu dreva
7	Stroje na drvenie dreva
8	Voľná skupina
9	Zvláštne strojné zariadenia na spracovanie dreva

0	Píly
1	Frézky (vrátane zastaralejších hobľovačiek na drevo)
2	Okružovačky
3	Sústruhy
4	Vŕtačky a vyvrtávačky
5	Dlabačky a čapovačky
6	Hladičky, odieračky, zdrsňovačky
7	Brúsky
8	Združené obrábacie stroje na drevo
9	Zvláštne obrábacie stroje na drevo

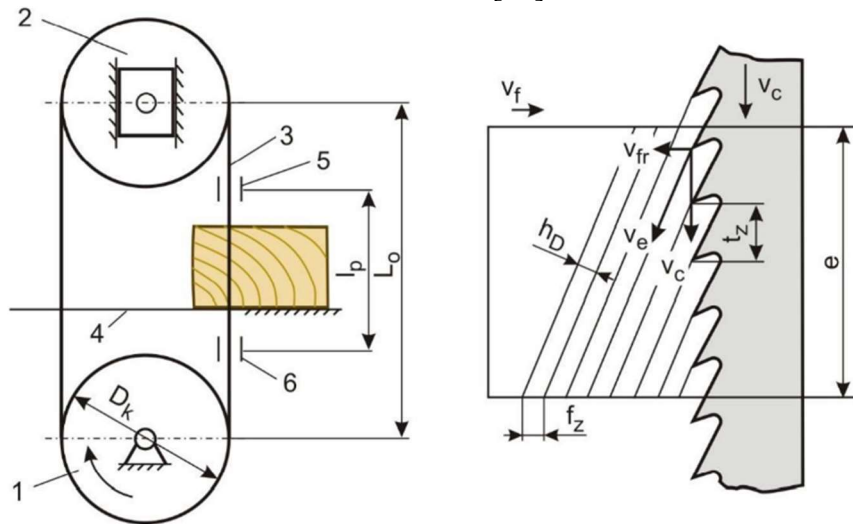
2.6 Pásová píla

Pásové píly sú určené na priečne prerezávanie, pozdĺžne rozrezávanie, rezanie pod uhlami a vykružovanie dreveného materiálu. Hlavná konštrukčná a funkčná časť stroja je tvorená týmito komponentami: stojan, stôl, horná a spodná pásovnica, vodička pílového pásu, elektromotor, suport hornej pásovnice a kryty. Kvôli dodržaniu bezpečnostných nariadení je nutné aby pri prevádzke pásovej píly bol celý pílový pás správne okrytovaný. Nekrytá časť je len v okolí miesta styku pílového pásu s rezaným materiálom. Rozdelenie pásových píl [12]:

- Stolárske pásové píly – Využívajú sa v malokusovej výrobe na opracovávanie obrobkov malých rozmerov. Manipulácia s obrobkom je vykonávaná ručne. Na rozdiel od iných typov väčších strojov nemusí byť rez priamy, ale je možné rezať vyznačený obrys či rezať podľa šablóny.
- Rozmietacie pásové píly – Sú určené na delenie krajníc a reziva väčšieho objemu na dosky. Posuv reziva zabezpečuje mechanizovaná sústava vertikálnych valcov alebo pásový dopravný mechanizmus podávania.
- Kmeňové pásové píly – Využívajú sa na individuálny porez výrezov na rezivo. Posuv je mechanizovaný. Výrez je upevnený na podávací vozík, ktorý sa pohybuje na koľajniciach.

2.6.1 Kinematika procesu rezania pásovou pilou

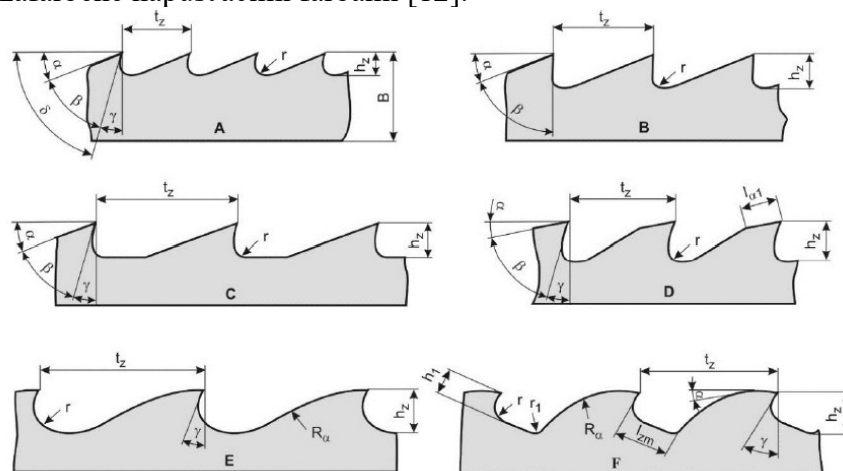
Píly sú rezné nástroje ktoré majú niekoľko rezných hrán. Využívajú sa na rozdeľovanie drevnej hmoty rezaním. K pílam patria hlavne pílové listy rámových píl, pílové kotúče, pílové pásy. Pásová píla reže drevo jedným nekonečne dlhým pílovým listom, ktorý obieha okolo dvoch kotúčov vo vertikálnom či v horizontálnom smere [13].



Obr. 14 Schéma pásovej píly [14]

2.6.2 Nástroje pásovej píly

Pílové pásy sú obrábacími nástrojmi píl. Ich základné parametre sú dané výrobcami. Aby nedošlo k stlačeniu pílového pásu v reznej škáre, upravujú sa ich zuby rozvádzaním, roztlácaním alebo navarováním stelitu. Forma a prevedenie tejto úpravy závisí na podmienkach v ktorých bude daný pás využívaný. Pílové pásy s trojuholníkovým ozubením sa používajú na univerzálnych pásových píloch. Úzke pílové pásy sa vyrábajú v šírkach 6 až 50 mm, hrúbke pásu 0,5 až 0,9 mm a rozvodu 0,2 až 0,3 mm. podrobné rozmerové parametre sú určené v norme ČSN 22 5340. Pílové pásy sú využívané ja pre rezy s líniami kružnice. Najmenší polomer kružnice je závislý na šírke pílového pásu a rozvedení jeho zubov. Pre praktické použitie je minimálny polomer vnútornej kružnice vyjadrený vzt'ahom R_{min} . Najpoužívanejší materiál pre pílové pásy je nástrojová legovaná oceľ triedy 19, ktorá je tepelne spracovaná na tvrdosť 46-48 HRC pre rozvádzané nástroje a pre nástroje roztláčané je to 42-46 HRC. Bočné plochy môžu byť leštené či zafarbené napúšťacími farbami [12].



Obr. 15 Základné profily zubov pásových píl [10]

2.7 Kotúčová píla

Kotúčová píla pracuje na princípe porezu drevnej hmoty jedným alebo viacerými pílovými kotúčmi. Pílový kotúč je nástroj s niekoľkonásobnými britmi, ktoré sa pri práci otáčajú okolo svojej osi. Uloženie kotúčov môže byť ako nad, tak aj pod obrábaným materiálom. Pri rezaní materiálu kotúčovou pílou sa do rezu prisúva buď pílový kotúč alebo obrobok. Ten je následne trieskovým obrábaním rozdelený. Pri rovnomerných rýchlostiach posuvu aj rezu, zuby pílového kotúča opíšu cyklidálne trajektórie. Rotačný pohyb rezného nástroja zabezpečí plynulú zmenu hrúbky triesky [12] [15].

2.7.1 Výber vhodného nástroja pre kotúčovú pílu

Pílové kotúče sú obrábacími nástrojmi kotúčových píl. Jedná sa o vôbec najrozšírenejší spôsob obrábania dreveného materiálu. Tieto nástroje sa delia na základe materiálu z ktorého sú vyrobené, podľa tvaru zubov, priečneho prierezu a účelu využitia. Na rezanie masívneho dreva, laťoviek a preglejok sú podľa normy ČSN 19 418 vhodné pílové kotúče zhotovené z nástrojovej ocele. Z tohto materiálu je zhotovený kotúč aj zuby. Na rezanie aglomerovaných dosiek sa používajú pílové kotúče zhotovené z rýchloreznej ocele podľa normy ČSN 12 061 alebo ČSN 14 160 avšak na hroty zubov sú pripájkované doštičky zo spekaného karbidu. Alternatívou môžu byť britové doštičky zo syntetického diamantu. Tvar ozubeného pílového kotúča určuje zároveň aj ich použitie pre jednotlivé spôsoby rezania vzhľadom k orientácii drevených vlákien. Aby sa dosiahla maximálna efektivita pílového kotúča a kotúčová píla si bezpečne splnila svoju funkciu, je dôležité, aby boli splnené základné podmienky [16] [15]:

- Výber kotúča s optimálnymi rozmermi, hlavne priemeru
- Výber vhodnej geometrie zubov vzhľadom na druh delenia na ktorý bude využívaný
- Použitie správnych pracovných otáčok definovaných pre pílový kotúč
- Pravidelná údržba pílového kotúča s dôrazom na starostlivosť o ostrie (pravidelné brúsenie)
- Neprekračovať povolené teploty pre kotúč.

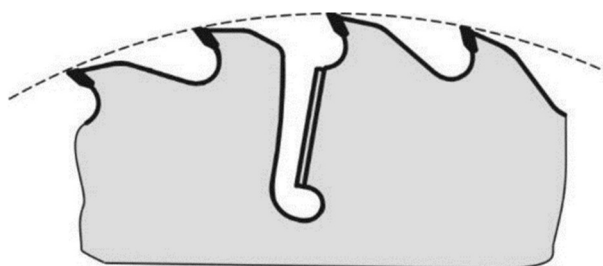
Všetky typy pílových kotúčov majú spoločné, že ich telo je vyrobené z ocele. V prevedení zubov sa už medzi sebou môžu značne líšiť. Rozoznávajú sa 3 základné druhy konštrukčného zhotovenia pílových kotúčov [17] [18]:

- Monolitný kotúč s upravenými reznými hranami – pílový kotúč je kompletne celý vyrobený z jedného oceľového polotovaru. Najčastejšie sa pri výrobe využíva nástrojová uhlíková oceľ tried 19 418 a 19 463. V dnešnej dobe sa na výrobu monolitných pílových kotúčov používa technológia rezania laserom. Dosiahnuteľná tvrdosť je 42-48 HRC.
- Monolitný kotúč s osadenými reznými hranami – telieska s reznými hranami sú nerozoberateľne spojené s oceľovým telom frézy. Doštičky zo spekaných karbidov a PKD sú prispájkované, stelit sa priamo navaruje.
- Kotúč so zloženou konštrukciou s osadenými reznými hranami – rezná hrana je vytvorená dvomi tenkými telieskami ktoré oddeľuje tlmiaca vrstva. Takýto nástroj dosahuje nižšiu hlučnosť pri zábere aj pri chode na prázdno. Na tento typ konštrukcie je možné použiť výhradne rezné hrany zo SK.

	FZ	rovný zub		TFZ	trapezový zub střídavě s rovným zubem
	FZ N	rovný zub s negativním úhlem čela		TFZ N	trapezový zub střídavě s rovným zubem s negativními úhly čela
	LFZ	rovný zub s omezovačem úběru třísky			
	WZ	střídavý zub		DHZ	rovný dutý zub střídavě se střechovitým dutým zubem
	WZ N	střídavý zub s negativním úhlem čela		DHZ N	rovný dutý zub střídavě se střechovitým dutým zubem s negativními úhly čela
	LWZ	střídavý zub s omezovačem úběru třísky			
	TZ	trapezový zub		KON	kónický zub

Obr. 16 Tvary zubů pílového kotůčka [19]

Počas pozdĺžneho rezania drevenej hmoty veľkých rozmerov často dochádza k zanášaní reznej medzery v priestore medzi reznou plochou a telom kotúča pilinou a dreveným vláknom. Táto trieska spôsobuje nechcené trenie, ktoré produkuje teplo. Zvýšením teploty sa drevené živice rozpúšťajú a nalepia sa na telo nástroja. Prudké zvýšenie teploty môže vyústiť až do spálenia pílového kotúča, straty jeho tuhosti a úplného znehodnotenia nástroja. Dostatočný priestor musí byť vytvorený aj medzi jednotlivými zubami. Na masívne drevo je výhodnejšie použitie kotúčov s menším počtom zubov a s väčšou zubovou medzerou. Ak nie je priestor medzi zubami dostatočne veľký, piliny sú v tejto medzere zhutňované, lisované a zostávajú v nej. Tento jav má taktiež vplyv na prehrievanie pílového kotúča. Aby sa prehriatiu a spáleniu kotúčov predišlo, sú na tele kotúčov strategicky umiestňované prvky, ktoré majú za úlohu odvádzať triesku z reznej medzery. Medzi takéto prvky patrí napríklad ozubenie s vybranými zväčšenými zubovými medzerami. Zvolené zubové medzery majú iný tvar a obsahujú čistiacu a stabilizačnú SK doštičku. Táto úprava taktiež znižuje tepelné deformácie [10].



Obr. 17 Čistiaci a stabilizačný SK plátok [10]

2.7.2 Materiály využívané na rezné hrany nástroja

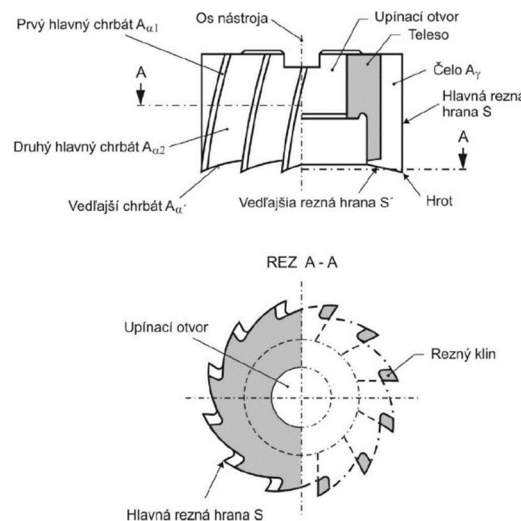
Medzi najpoužívannejšie materiály rezných nástrojov patria [16] [18] :

- Spekané karbidy (SK) - Doštičky spekaných karbidov vznikajú procesom práškovej metalurgie. Za vysokých teplôt a tlakov sú lisované zmesi práškov karbidov, oxidov a rozličných kovov. Zmesi musia byť presne navážené a ich zloženie je závislé na ich konkrétnom použití. Pojivo a rezná časť.. heterogénna zliatina.

- Stelit (ST) - Stelitovanie je jedným z nových trendov v úpravách britov rezných nástrojov. Stelit ako materiál je zliatinou na báze chrómu a kobaltu s prísadami ďalších prvkov. Stelitové prvky sú navarované na ostrie nástroja priamo bez použitia prídavného materiálu. Výsledný spoj dosahuje vysokú pevnosť a v porovnaní s rýchloreznou oceľou je takto upravené ostrie oveľa odolnejšie voči opotrebeniu. Tvrdosti dosahované na stelitovom zube sa pohybujú v rozmedzí 45-60 HRC. Ďalšou výhodou je že pred navarovaním stelitu na nástroj nie je potrebná žiadna predchádzajúca úprava zubu. Po navarení je kotúč žiňaný na zníženie vnútorného napätia. Ostrenie takto upravených kotúčov je možné aj za pomoci brúsnych kotúčov na rýchloreznú oceľ.
- Polykryštalický diamant (PCD) - Doštičky vyrobené zo syntetického polykryštalického diamantu sa hodnotami tvrdosti blížia najtvrdšiemu známemu materiálu – monokryštalickému diamantu. Vzniká spekaním jemných kryštálov za veľmi vysokých teplôt a tlakov. Jeho kryštalická mriežka je bezchybne usporiadaná a v žiadnom smere nevytvára miesta kde by mohol byť iniciovaný lom. Brity vyrobené z polykryštalického diamantu sú upevnené na doštičke zo spekaných karbidov ktorá ich chráni pred tepelnými a rázovými šokmi. Teplota v reze nesmie prekročiť 700 °C, inak dôjde k znehodnoteniu doštičky.

2.8 Frézovanie dreva

Je ďalším typom trieskového opracovávania dreva. Požadovaný tvar obrobku sa vytvára rotujúcim rezným nástrojom ktorý má rezné hrany umiestnené po obvode tela nástroja. Nástroj zúčastňujúci sa v tomto procese sa nazýva fréza. Na reznom procese sa zúčastňujú spolu s hlavnými reznými hranami aj vedľajšie rezné hrany nástroja. Hlavná rezná hrana vytvára prechodovú plochu ktorá je dokončená vedľajšou reznou hranou. Triesky pri frézovaní sa tvoria neustálene, materiál sa odstraňuje po vrstvách [20].



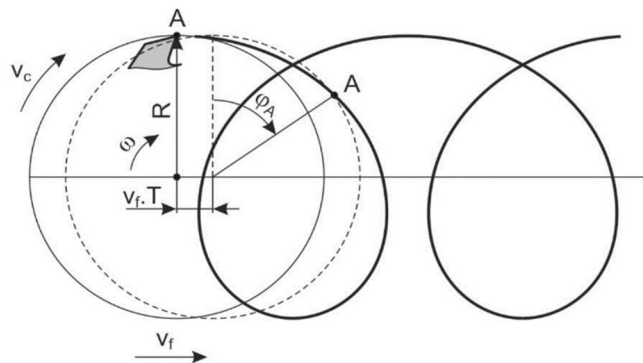
Obr. 18 Rezné hrany a plochy kotúčových fréz [21]

2.8.1 Kinematika procesu frézovania

Rezný pohyb sa skladá z hlavného pohybu a posuvu. Pri frézovaní ide o spojenie rotačného hlavného pohybu a priamočiareho posuvu. Spojením týchto pohybov vzniká cykloidálny pohyb. Kinematika frézovania je rozhodujúcim faktorom, ktorý určuje charakter tvorby triesky, veľkosť reznej sily a hodnoty rezných uhlov nástroja. Kvalita výsledného povrchu je závislá na hrúbke odoberanej triesky. Na základe hrúbky sa trieska rozdeľuje na veľmi jemnú (0,3-0,6 mm), jemnú (0,6-2,5 mm) a hrubú (2,5-5 mm). Pre čo najlepší povrch je treba zvýšiť reznú

rýchlosť pretože sa tým znižuje počet vytrhnutých zväzkov vlákien z materiálu. Maximálnu reznú rýchlosť limitujú maximálne povolené otáčky pre nástroj. Pre drevo sa ideálna rezná rýchlosť pohybuje v intervale [22] [23]:

- Pre frézovanie nástrojom s priamou reznou hranou: $30 - 60 \text{ m.s}^{-1}$
- Pre frézovanie s tvarovým ostrím: $30 - 50 \text{ m.s}^{-1}$
- Pre frézovanie nástrojom s SK doštičkami: $40 - 90 \text{ m.s}^{-1}$



Obr. 19 Trajektória hrotu nástroja [10]

2.9 Údržba

Kvalitná a systematická údržba je kľúčovým činiteľom predlžujúcim trvanlivosť, presnosť a akosť nástrojov. Takéto nástroje zabezpečujú zlepšenie presnosti a kvality obrobených plôch pri nižšej spotrebe energie. Pod slovom údržba sa rozumie [12]:

- mechanické a chemické čistenie
- výmena nožových častí
- obnova vyrovnanie a vystuženie stredných častí pílových listov
- rozvádzanie a egalizácia zubov a ostrí
- kontrola geometrických parametrov nástrojov, zubov a ostrí.

Najdôležitejším procesom v údržbe je ostrenie nástrojov. Pri obrábaní dreva sa rezné časti nástroja otupujú a ostrenie nástroj opäť spraví práceschopným. Tento úkon prebieha na špeciálnych zariadeniach – ostričkách. Môžu byť jednoúčelové – na pílové pásy, listy, kotúče, frézy a nože alebo univerzálne – na dlabacie reťaze, vrtáky dláta. Na správne zrealizovaný brúsny proces sú kladené tieto podmienky [12]:

- tvar všetkých zubov musí zostať po každom brúsení nezmenený
- zuby musia byť ostré
- rezné hrany zubov pílových listov musia ležať v jednej rovine. Rezné hrany zubov kotúčových píl musia byť v rovnakej vzdialenosti od stredu kotúča.

Jednou z podmienok správneho ostrenia je zachovanie tvaru zubov. Rozlišujú sa preto tri základné spôsoby ostrenia [12]:

- ostrenie čelnej plochy nástroja
- ostrenie chrbtovej plochy nástroja
- ostrenie čelnej a chrbtovej plochy.

Posledný zmienený spôsob je kvalitný a dosahuje najvyššiu produktivitu. Ostrenie z čelnej plochy je časovo náročné a brúsny kotúč je opotrebovávaný jednostranne. To môže spôsobiť zmenu tvaru zubov a dovoľuje to vzniknutiu zahnutých ostrí na rezných hranách. Ostrenie z chrbtovej plochy je tiež časovo náročné a nežiadúcim faktorom je aj veľká strata materiálu či už na brúsenom liste alebo na brúsnom kotúči [12].



Obr. 20 Vollmer CHD 270

3 TECHNOLOGIA SUŠENIA DREVA

Sušenie dreva sa zaraďuje k najdôležitejším technologickým procesom pri výrobe kvalitných drevených polotovarov. Len správne usušené drevo má predpoklad aby sa z neho stal kvalitný výrobok. Sušenie je využívané pre celú škálu výrobkov, od nábytku cez drevostavby až po modely v strojárskom priemysle.

Hlavným cieľom sušenia je odstránenie nadbytočnej vody z drevnej štruktúry. Ak by bola táto technológia vynechaná, výsledné polotovary by zďaleka nedosahovali požadované vlastnosti. Vlhké rezivo má tendenciu sa rúcať, zosychať a následne sa krútiť. Ďalšou nevýhodou je jeho náchylnosť k napadnutiu plesňou, hnilobou a škodcami. Materiál kvôli týmto faktorom degraduje a stráca na hodnote. Dochádzalo by k stratám materiálu ale aj vynaloženej práce a energie. Aby sa týmto stratám predišlo, je nutné drevo usušiť na takú vlhkosť ktorá bude v rovnovážnom stave s prostredím, v ktorom bude daný výrobok vykonávať svoju funkciu [24].

Procesom sušenia je drevo zušľachtované a získava nové vlastnosti. Najdôležitejším faktorom je, že odstránením prebytočnej vlhkosti v dreve sa zvyšuje jeho tvarová stálosť a rezivo sa stabilizuje. Pri sušení na vyšších teplotách sa ničia zárodky plesní a húb aj drevokazného hmyzu – sterilizácia. Usušené drevo má lepšiu obrobiteľnosť, povrch dosahuje lepšie akosti. Hmotnosť výrobku sa zmenší o odparenú vodu a zlepšujú sa jeho pevnostné vlastnosti [24].

Rezivo je v dnešnej dobe sušené prevažne umelým spôsobom v sušiarňach s konvektným priestupom tepla. Po dokončení sušiacoho procesu by malo mať zachovanú svoju pôvodnú kvalitu. Tým je myslené bez nových vzniknutých trhlín, skornatenia, zbortenia, zlepšenie o vlastnosti získané vplyvom sušenia. Zle nastaveným sušiacim postupom je možné kvalitu reziva výrazne zhoršiť. Dobrá znalosť technologických a fyzikálnych základov sušenia sú pre sušiarenskeho technológa kľúčové pri zostavení a použití optimálneho procesu ktorý zaručí kvalitné využitie dreva pri dosahovaní výrazných energetických a materiálových úspor.



Obr. 21 Konvekčná sušiareň Katres

3.1 Vlhkosť dreva

Za vlhkosť dreva je považovaná voda, ktorá je v ňom obsiahnutá. Je možné ju vyjadriť v % alebo v jednotkách kg/kg. Drevo obsahuje toľko vody, koľko dokáže pojať priestor buniek, ktoré sú v absolútne suchom dreve vyplnené vzduchom. Objem vody závisí na hustote dreva. Za daného objemu zaberá hustejšie drevo viac priestoru drevnou hmotou a obsahuje menej voľných priestorov, tým pádom obsahuje menej vody.

Pre proces sušenia je dôležité dokázať rozlíšiť dva hlavné druhy uloženia vody v štruktúre z hľadiska miesta. Rozlišuje sa:

- Voľná voda – voda uložená v bunkových dutinách. Je jednoduché a rýchle ju z dreva vysušiť. V bunečnej štruktúre je držaná len pomerne malými kapilárnymi silami. Pri unikaní voľnej vody nedochádza v dreve k žiadnym rozmerovým a tvarovým zmenám.
- Viazaná voda – voda uložená v stenách buniek medzi jednotlivými vláknami ktoré obaľuje. Voda a celulóza sa priťahujú silami, ktoré nie sú zanedbateľné. To spôsobuje, že viazaná voda je pevne držaná v dreve a je náročné ju odstrániť. Je to možné len jediným spôsobom, a to premenou kvapalnej vlhkosti na paru za pomoci tepla.

Významným rozdielom medzi týmito dvoma typmi je skutočnosť, že viazanú vodu dokáže drevo prijímať vo forme pary. Suché drevo prijíma z nasýteného okolitého vzduchu vodu vo forme pary do tej doby, pokiaľ nedosiahne medze hygroskopicity. Pokiaľ by bolo zámerom naďalej zvyšovať vlhkosť dreva, muselo by byť drevo polievané alebo ponorené do vody. Kvôli tejto vlastnosti je viazaná voda nazývaná aj vodou hygroskopickou.

Pri unikaní viazanej vody drevo zosychá a zmenšuje svoje rozmery. Rozmedzie medzi vlhkosťou voľnou a viazanou je označovaný ako bod nasýtenia vlákien (BNV). Je to vlhkosť pri ktorej je drevo plne nasýtené vodou viazanou, avšak neobsahuje žiadnu voľnú vodu. Zároveň ide o vlhkosť, na ktorú sa drevo uložené dostatočne dlho na vzduchu nasýtenom vodnou parou, ustáli. Pre bežné dreviny sa hodnota BNV v závislosti na teplote pohybuje v rozmedzí 22% až 38%.

Pri sušení dreva je hodnota BNV dôležitým ukazovateľom. V blízkosti tejto hodnoty je drevo najchýľostivejšie a je najnáchylnejšie k poškodeniu. Hodnota BNV nie je v celom priereze konštantná. Práve rozdiely vo vlhkosti dreva spôsobujú významné problémy. Kvôli tomu musia byť sušiacie podmienky presne riadené a prúdiaci vzduch musí rovnomerne obtekať celý objem reziva zo všetkých strán [25] [26].

3.1.1 Meranie vlhkosti dreva

V sušiarenskej praxi sa využívajú dva prístupy na určovanie vlhkosti dreva

Váhová metóda- Jedná sa o veľmi presnú metódu založenú na odparení v dreve obsiahnutej vody. Ďalšou výhodou je fakt, že rozsah meranej vlhkosti nie je obmedzený. Pri určovaní vlhkosti sa postupuje tak, že zo skúmaného prírezu sa získa tzv. vlhkosť vzorka. Ide o doštičku hrúbky 10-15 mm ktorá je od čela vzdialená minimálne o 25 cm. Miesto výberu vzorky nesmie obsahovať suky, kôru a iné vady. Ihneď po odobratí sa vzorka zváži s presnosťou 0,1 g. Vzorka je následne prenesená do laboratórnej sušiarne, kde je pri konštantnej teplote 103±3 °C vysušená až na ustálenú váhu. Následne je vzorka opäť zvážená a vlhkosť je dopočítaná podľa vzorca [25]:

$$w = \frac{m_p - m_o}{m_o} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

kde: M_p - hmotnosť vlhkého vzorku [kg]
 M_o - hmotnosť sušiny vzorku [kg]

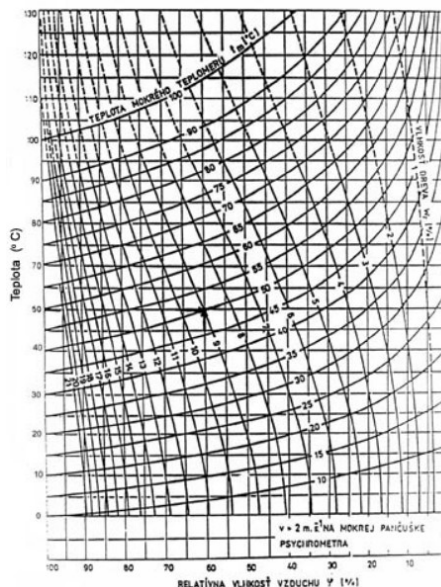
Nevýhodou tejto metódy je jej časová náročnosť. Výsledky sú známe až po 6-24 h.

Elektrické vlhkomery- Pri znižujúcej sa vlhkosti dreva stúpa jeho elektrický (ohmický) odpor a zároveň klesá jeho elektrická kapacita. Do dreva sú vtlačené dve elektródy vlhkomera na ktoré je privádzané vysokofrekvenčné napätie. V dôsledku rozdielnych elektrických konštánt dreva a vody sa medzi nimi mení kapacitný odpor. Korekcia vlhkomeru na konkrétnu teplotu dreva je nutná. Výhodou je že výsledky sú okamžité. Požadovaná presnosť je však dosiahnuteľná len v intervale 6 - 30 %.

3.1.2 Rovnovážna vlhkosť dreva

Drevo, ktoré je uložené na vzduchu o určitej relatívnej vlhkosti a teplote, sa ustáli na hodnote ktorá je závislá na práve týchto parametroch vzduchu. Takto ustálená vlhkosť sa nazýva rovnovážna vlhkosť dreva. V prípade, že je vlhkosť dreva vyššia, ako rovnovážna, drevo vysychá. V opačnom prípade drevo pohlcuje vlhkosť až kým túto rovnovážnu hladinu nedosiahne. Dôležité je však si uvedomiť, že rovnovážna vlhkosť na ktorej sa drevo ustálilo procesom sušenia z vlhkosti vyššej, nesúhlasí s rovnovážnou vlhkosťou, na ktorej sa drevo ustálilo z vlhkosti nižšej vlhnutím. Tento jav je nazývaný hysterezia. Hysterezia dreva je najväčšia v intervale vlhkostí 8 – 18% a dosahuje veľkosti 1 – 3%. Z tohto vyplýva že je výhodnejšie drevo o tento rozdiel presušiť ako nedosušiť. Pri skladovaní takého drevo dokáže prijať o 1 – 2 % vlhkosti menej. Keďže rozmery polotovarov sú úzko späté s vlhkosťou, dochádza vďaka tomuto spôsobu k menším rozmerovým zmenám.

Rovnovážna vlhkosť je dôležitá pre konečné výrobky z dreva. Pred obrábaním drevených polotovarov musí byť materiál zásadne vysušený na takú vlhkosť, ktorá je vhodná v závislosti na prostredí v ktorom bude vykonávať svoju funkciu. Tým sa zabezpečí rozmerová stálosť a drevo nebude „pracovať“ [24].



Obr. 22 Graf rovnovážnej vlhkosti dreva [27]

3.2 Pohyb vody v dreve

Teplovzdušné sušenie reziva je charakterizované dvoma základnými fyzikálnymi javmi. Ide o pohyb vlhkosti vo vnútri štruktúry a o odparovanie vlhkosti z povrchových vrstiev. Odparovanie vlhkosti z povrchu sa uskutočňuje prestupom pár vlhkosti do sušiacieho prostredia a ich následným nepretržitým odvodom. Hnacou silou je rozdiel parciálnych tlakov pár na povrchu a v sušiacom prostredí. Odparovanie vlhkosti z povrchových vrstiev tvorí v priereze rozdiel koncentrácií vlhkosti. To je hlavnou zložkou tvorenia pohybu vlhkosti smerom k povrchu dreva. Odparovanie povrchovej vlhkosti je podmienené prívodom potrebného tepla

a odvodom vzniknutých pár. Podmienky, za ktorých odparovanie vlhkosti prebieha, sú nazývané vonkajšími podmienkami sušenia. Tie sú definované predovšetkým aerodynamickými a tepelnými pomermi vo vlastnom sušiacom priestore [25].

Průměrná vlhkost	Přípustné odchylky	Druh výrobku – použití
5	±1	Součásti k elektr. přístrojům
6	±1	Letadla (vrtule), vrstvené dřevo, tkalcovské člunky, dýmky
7	±2	Hudební nástroje, hračky, nábytek do místností s ústředním topením, kopyta do bot, řezivo na laťkové středy, držadla, vnitřní dveře, tužkárenská prkénka
8	±3	Vnitřní stavební práce, násady
9	±2	Podlahy pod topnými elementy, modely, řemenice, civky, vnitřní okna, nábytek, dřevěná potrubí, pumpy
10	±2	Vnitřní truhlářství, obklady stěn, dřevo v budovách s vytápěním, sportovní potřeby, součásti ke střelným zbraním, židle
11	±1	Podlahy, nábytek pro budovy s trvalým vytápěním
13	±2	Dřevěné části v budovách s periodickým vytápěním
14	±2	Zahradní nábytek, hospodářské stroje, venkovní dveře
16	±1	Stavební truhlářství, zemědělské nářadí, železniční vagóny
18	±2	Bedny a dřevěné obaly, stavební dřevo
20	±2	Bezpečnostní hranice pro hnilobu dřeva, obaly na ovoce, exportní řezivo

Obr. 23 Použití dřeva podle vlhkosti [25]

3.3 Fyzikálne faktory ovplyvňujúce proces sušenia reziva

3.3.1 Rýchlosť prúdenia vzduchu

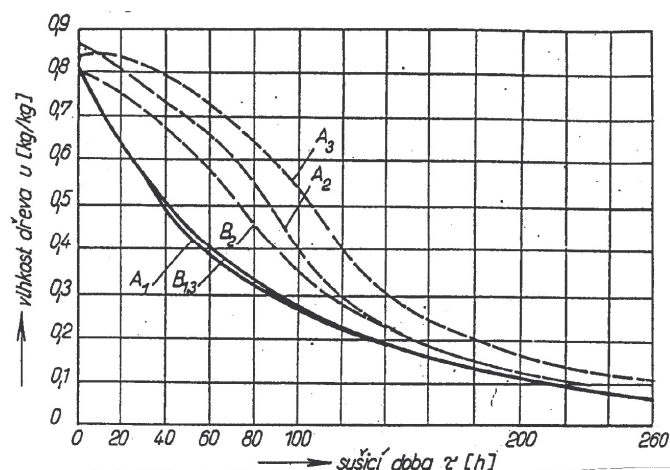
Pri procese sušenia prúdenie vzduchu zabezpečuje

- Prenos tepla na sušený materiál z dôvodu odparenia vlhkosti
- Následný odvod odparenej vody z povrchu sušeného reziva
- Udržovanie rovnomernej teploty v celom objeme priestoru sušiarne

Rýchlosť prúdenia vzduchu má významný vplyv na rovnomernosť sušenia a taktiež rozloženie vlhkosti v profile reziva. Najviac viditeľné je to pri sušení reziva ktorého vlhkosť sa nachádza nad bodom nasýtenia vlákien. V tomto prípade dochádza k odpareniu väčšieho množstva vlhkosti a tým sa zvyšuje nasýtenie prúdiaceho vzduchu. Ten kvôli tomu dokáže odvieť menej vlhkosti.

Kvalita a doba sušenia sú závislé na vhodnom vzduchotechnickom usporiadaní, preto je nutné zvoliť vhodnú rýchlosť prúdenia vzduchu. Vo všeobecnosti platí, že optimálna rýchlosť sa pohybuje v intervale 2 – 3 m/s. Rýchlosti nad hranicou 3 m/s sa používajú len výnimočne napríklad pri vysokoteplotnom sušení a v iných prípadoch vďaka nim nedosahujeme hospodárske prínosy. Naopak pri použití rýchlosti prúdenia vzduchu pod hranicou 2 m/s nemusí zaručiť rovnomernosť sušenia a dochádza k spomaleniu sušiaceho procesu. Preto sa odporúča používať nižšie rýchlosti len pre odstraňovanie viazanej vlhkosti pod bodom BNV. Moderné sušiarne poskytujú možnosť znižovania rýchlosti prúdenia v priebehu sušiaceho procesu v závislosti od klesajúcej vlhkosti reziva. V priestoroch sušiarne je rezivo uložené priečne voči smeru prúdenia vzduchu. Už pri dvoch radoch bolo dokázané, že je vhodné počas procesu periodicky požívať reverzáciu prúdenia. Jedná sa o zmenu smeru prúdenia vzduchu.

V neposlednom rade je rýchlosť prúdenia závislá na hrúbke prekladov použitých v sušenom balíku reziva. Zmenšovanie hrúbky prekladov vedie k lepšiemu vyt'aženiu priestorov sušiarne. Zároveň však musí byť dostatočná, aby bolo zaistené dokonalé obtekanie reziva vzduchom. Po obsiahlej skupine experimentov bola empiricky stanovená normalizovaná hrúbka prekladov na 24 mm [25].



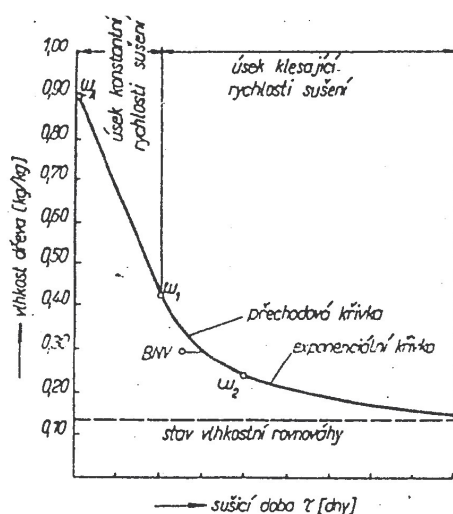
Obr. 24 Sušiacie krivky v závislosti na šírke reziva [25]

3.3.2 Vlhkostný spád

Drevo schne najprv v povrchových vrstvách a stredové časti prierezu sú značne oneskorené. Medzi stredovými a povrchovými vrstvami vzniká vlhkostný spád. Tento rozdiel je vyjadrovaný podielom vlhkosti na 1 cm hrúbky. Vlhkostný spád v ktorom sa vlhkosť zvyšuje od povrchu smerom do stredu sa nazýva kladný. Záporný vlhkostný spád má opačný smer a nastáva pri vlhčení. Rozdiel medzi vlhkosťou na povrchu a v strede dreva je hnacou silou sušenia. V prípade, že je spád príliš veľký, tok vlhkosti z vnútra na povrch sa preruší a následne dochádza ku vzniku trhlín. Ak je vlhkostný spád príliš malý, výsledok sušenia je kvalitný, samotný proces je však neekonomický [24] [26].

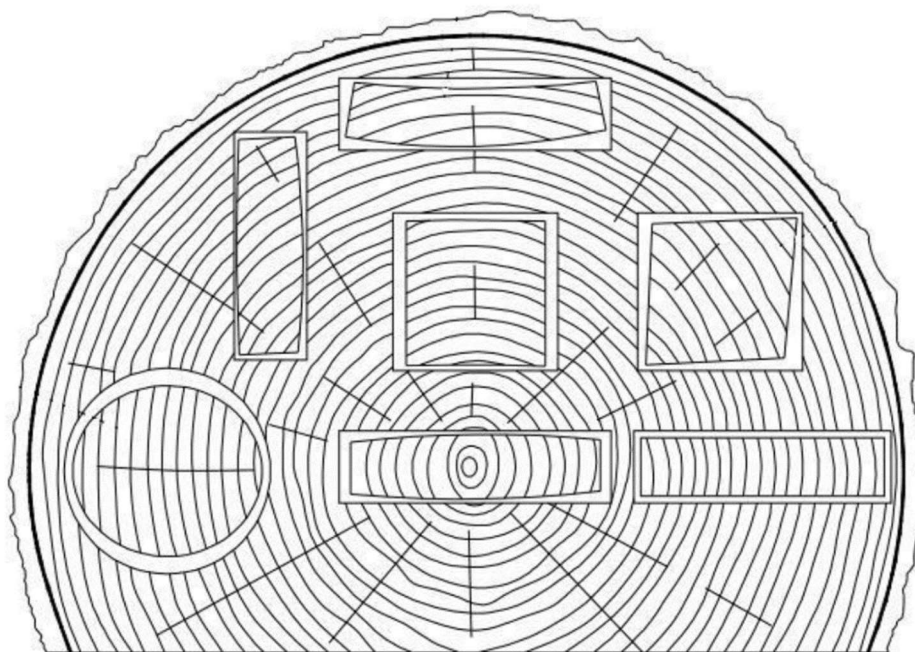
3.4 Priebeh sušenia a vznik napätia v dreve

Prvá časť sušiacieho procesu prebieha nad bodom BNV a nazýva sa úsek stálej rýchlosti sušenia. Rozhodujúcim faktorom sú len vonkajší činitele ako teplota a rýchlosť prúdenia vzduchu. Špeciálne vlastnosti daného materiálu v tejto fáze nehrajú rolu. Závislosť hmotnosti odparenej vlhkosti na čase je lineárna. Priebeh sušenia v rozsahu vlhkosti dreva pod bodom BNV sa nazýva úsek klesajúcej rýchlosti sušenia. V tomto úseku už priebeh sušenia závisí na vlastnostiach konkrétnej sušenej dreviny. Závislosť vyparenej vlhkosti na čase dostáva charakter exponenciálnej krivky [24] [28].



Obr. 25 Ideálny teoretický priebeh sušiacie krivky [24]

Drevo začína na povrchu veľmi rýchlo vysychať. Povrchové vrstvy majú kvôli tomu tendenciu sa zmršťovať. Vlhký stred však bráni tomuto zmršťovaniu a vytvára tým v povrchových vrstvách ťahové napätie. Vlhké vnútorné vrstvy sú naopak vplyvom zosychania stláčané a vytvára sa v nich tlakové napätie. Vonkajšie vrstvy podľa veľkosti napätia buď popraskajú, alebo vplyvom ťahového napätia ustrnú na mieste, a trvalo sa predĺžia. V druhej fáze vyschne rezivo v celom jeho priereze pod bod BNV. Vnútro vyschne viac ako povrchové vrstvy, zmršťuje sa, čomu sa nedokážu prispôbiť ustrnuté povrchové vrstvy. Nastáva zvrat v charaktere napätia. Napätie na povrchu sa zmenilo z ťahového na tlakové, vo vnútri z tlakového na ťahové. Veľkosti týchto napätí sú priamo úmerné rozdielu vlhkosti medzi povrchom a stredom reziva. To znamená že čím je väčší vlhkostný spád, tým väčšie napätie v dreve vzniká. Napätia ktoré neprekročia medzu pružnosti dreva zostávajú v rozmedzí pružných deformácií. Po prekročení medze pružnosti dochádza k trvalým deformáciám. V prípade povrchových vrstiev dochádza k predĺženiu vlákien, v strede naopak ku skráteniu. Najväčšie napätie v dreve vzniká, ak je vlhkosť povrchových vrstiev nižšia ako BNV a vlhkosť stredu sa pohybuje nad BNV. V tomto úseku najčastejšie dochádza k poškodeniu štruktúry. Vzniku napätia v dreve sa nedá vyhnúť. Je možné ho len minimalizovať. Skrytou vadou dreva je skornatenie. Zároveň je to aj najnebezpečnejším problémom. Nie je možné ju registrovať vizuálnou kontrolou. Vhodným ošetrením je však možné ho zmenšiť, dokonca až odstrániť vďaka plastickým vlastnostiam dreva. Skornatenie sa v praxi určuje vidličkovou metódou [24] [29].



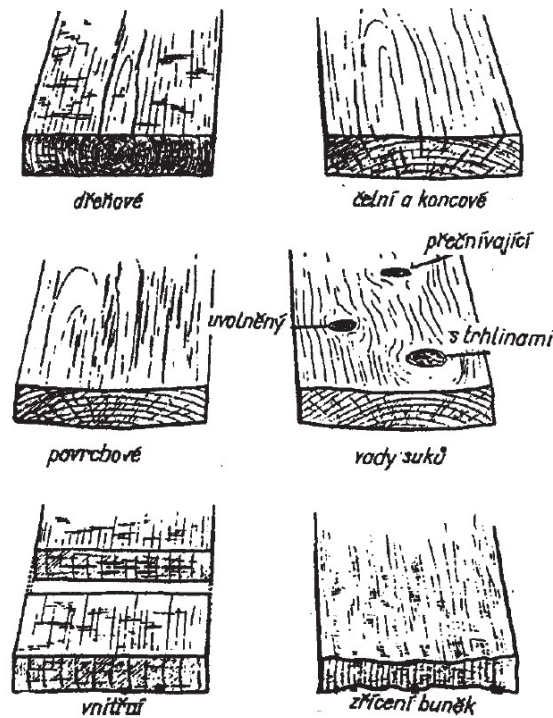
Obr. 26 Zosychanie priečných profilov v závislosti na polohe v kmeni [29]

3.4.1 Trhliny

Trhliny vznikajú pri napätiach prekračujúcich medzu pevnosti v dreve. Podľa miesta vzniku sa rozdeľujú [25] [28]:

- **Povrchové** – Vznikajú pri procese sušenia so strmým vlhkostným spádom. Tvorí sa na dotyčnicových plochách okrajových dosiek, v smere dreňových lúčov ktoré pevnosť dreva znižujú. Pri umelom sušení vznikajú hlavne na začiatku procesu v dreve s vysokou počiatočnou vlhkosťou. K vzniku povrchových mikrotrhlín dochádza taktiež pri vyvážaní dreva do studeného prostredia bez patričného vychladnutia.

- **Vnútorné** – nie sú na sušenom rezive viditeľné. Vznikajú v druhej fáze skornatenia prekročením medze pevnosti a zrútením buniek. Častokrát vznikajú pokračovaním trhlín povrchových a čelných.
- **Čelné** – Jedná sa o trhliny na priečnom reze. Vznikajú v smere dreňových lúčov. Príčinou ich vzniku je väčšia rýchlosť pohybu vlhkosti v smere drevných vlákien voči smeru kolmom na vlákna. Táto rýchlosť je 10 – 15 krát väčšia.
- **Dreňové** – vyskytujú sa u stredového reziva ktoré obsahuje dreň. Ochranou pred nimi môže byť vyrezanie dreňovej časti.



Obr. 27 Typy trhlín v drevených polotovarochoch

4 PRAKTICKÁ ČASŤ

4.1 Úvod

Praktická časť tejto diplomovej práce sa zaoberá optimalizáciou výroby drevených polotovarov na linke drevospracujúceho závodu DCP Timber s. r. o. V podniku bola inštalovaná nová, vysoko automatizovaná linka na spracovanie guľatiny. Firma sa zaoberá porezom výhradne smrekového dreva. Výsledným produktom sú stavebné a stolárske výrobky so širokým spektrom využitia.

Vstup je guľatina neodkôrnená ktorá sa jednotlivými procesmi na linke stane balíkmi určené na konkrétny účel. V záujme optimalizácie výroby sa guľatina triedi na 3 kvalitatívne triedy. Každému sortimentu prislúcha daný hrúbkový stupeň. Guľatina je čelným nakladačom s drapakom naložená na priečny zásobný dopravník na vstupe, odtiaľ je systémom dopravníkov prevezená na prvé deliace stanovište. Nachádza sa tu šikmá pásová píla s frézou Primultini. Guľatina je tu narezaná na polohranené rezivo. Prizmy sú následne hrúbkovo triedené a dvoj etážovým dopravníkom transportované pred rozmietačiu pílu, ktorá pozdĺžnym rezom viacerých pílových kotúčov súčasne rozreže prizmy na požadované profily. Z rozmietačej píly putuje rezivo do zásobníka. Odtiaľ po jednom kuse prechádzajú meracou zónou so snímačmi a fotobunkami. Operátor vizuálnou kontrolou zatriedi jednotlivé kusy do kvalitatívnych tried. Kusy reziva so zhodnými kvalitatívnymi a rozmerovými parametrami sú sústreďované v gurtňových boxoch. Po naplnení boxu objemom reziva odpovedajúceho normalizovanému balíku, je uvedený box spustený a uvoľnený. Rezivo z boxu je uložené na dopravník smerujúci k skracovacej a baliacej linke. Jednotlivé kusy sú najprv zarezané na presnú dĺžku a vchádzajú do balíkovacieho stroja. Ten pozostáva z hydraulického plošiny na ktorú sa nasunie vrstva reziva ktorá zodpovedá budúcej šírke balíka. Plne automatizované zásobníky latiek túto vrstvu priečne preložia, hydraulická plošina sa zníži a čaká na nasunutie ďalšej vrstvy. Proces sa opakuje až kým nemá balík požadovanú výšku.

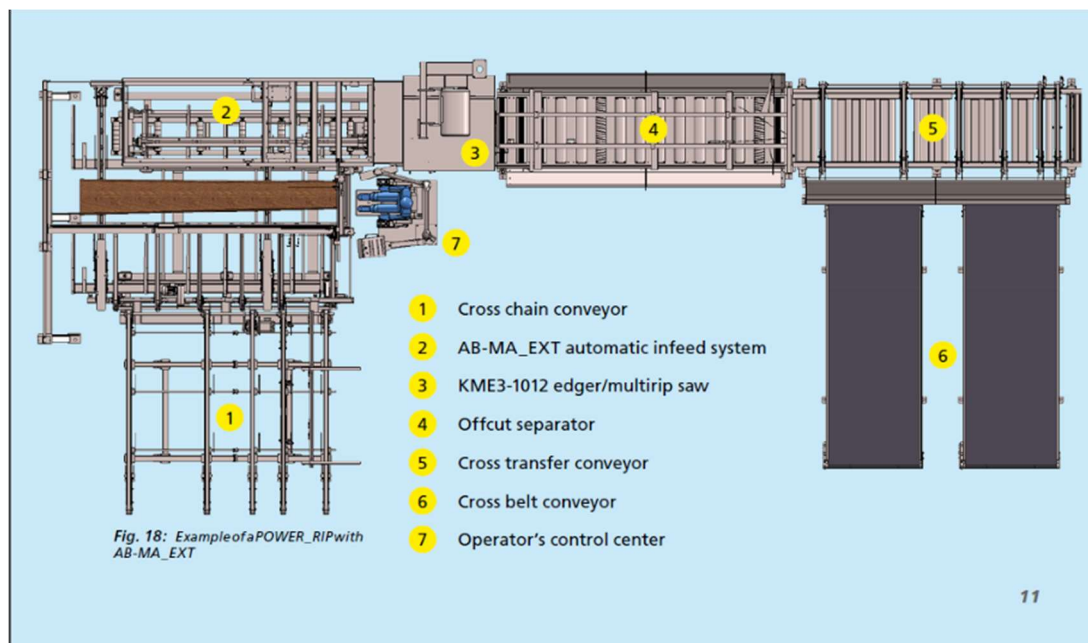


Obr. 28 Výrobná linka na spracovanie guľatiny firmy DCP Timber s r.o.

Napriek tomu, že investor zadal presné požadované výkonové parametre výroby, v praxi však neboli dosiahnuté. Zásadné nedostatky vykazovala hlavne rozmietačia píla. Dodávateľom deklarované rýchlosti posuvu a rozmerové presnosti rezu nezodpovedali realite. Pre obrábanie

s výrobcem odporúčaným typom pílových kotúčov bol posuv výrazne nižší. Táto skutočnosť spôsobila spomalenie toku materiálu linkou. Pásová píla ktorá sa nachádza v prvom úseku linky vo všeobecnosti nedosahuje produktivity rozmietacej píly. V tomto prípade však ani ona nemohla pracovať na plný výkon, pretože dopravníky spájajúce tieto dva úseky boli zaplnené drevnou hmotou ktorú rozmietačia píla nebola schopná spracovať.

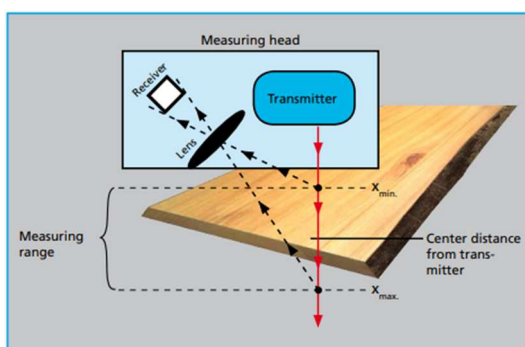
4.2 Kotúčová rozmietačia píla Paul AB920-XL



Obr. 29 Layout rozmietacej píly Paul AB920-XL [30]

4.2.1 Meranie prizmy

Prizma odrezaná na pásovej píle prechádza sústavou dopravníkov k vstupu do rozmietacej píly. Na poslednom dopravníku prejde vysokou rýchlosťou v priečnom smere ktorý využíva 32 bezkontaktných laserových snímačov. Nazývajú sa triangulačné meracie hlavice. Týmto hlavicami je prenášaný laserový lúč, ktorý sa odráža od povrchu obrobku. Na základe uhla pod ktorým sa odrazený lúč vráti do prijímača, software spočíta vzdialenosť vysieláča a povrchu. Veľký počet meracích hláv zabezpečuje, že aj nepravidelný tvar prizmy s neomietanými hranami je perfektne zosnímaný. Počítač potom môže potom pracovať s veľmi presnou modelovou reprezentáciou obrobku. Rad snímačov sa nachádza aj na spodnej strane dopravníka, vďaka čomu nie je nutné kus na snímanie otáčať [31].



Obr. 30 Schéma merania prizmy [31]



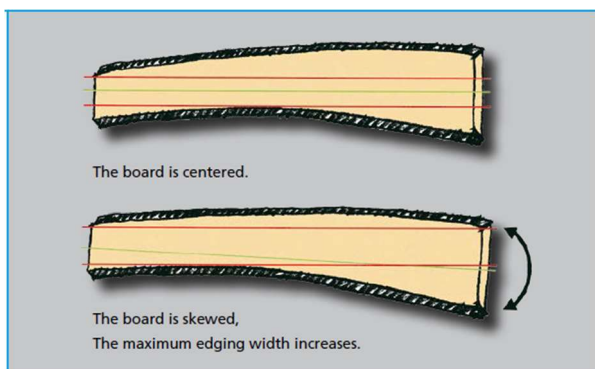
Obr. 31 meracie hlavice [31]

4.2.2 Optimalizácia, centrovanie a rovnanie prízem v plniacom systéme

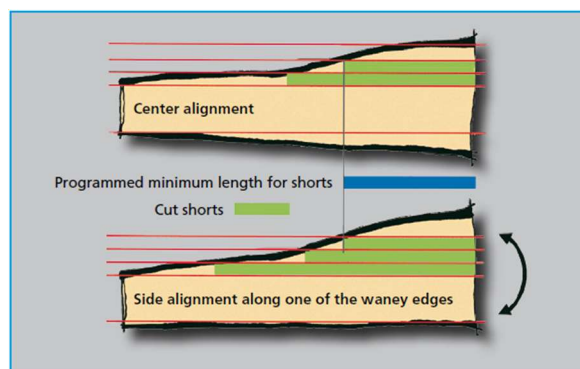
Zosnímaný obrobok vchádza do plniaceho systému rozmietacej pily. Tu je vycentrovaný voči rezným kotúčom. Software za použitia optimalizačných algoritmov určí ideálny charakter rezu v závislosti na parametroch a požadovaných výsledných rozmeroch. Zohľadniť dokáže aj faktory ako priorita niektorých profilov či fixné vzdialenosti medzi kotúčmi. Všetky rezy sú zaznamenávané a štatisticky vyhodnocované. Rozmietacia píla disponuje schopnosťou automaticky pozdĺžne natočiť obrobok tak, aby rez zohľadňoval ohyb dosky. Na otáčateľný integrovaný prenosový stôl je umiestnený obrobok a za pomoci hydraulického systému je natočený do prísuvnej polohy rozmietacej pily. Následne je zvolený jeden z troch metód zarovnania [31]:

- Zarovnanie na stred
- Bočné zarovnanie pozdĺž pravej neomietanej hrany
- Bočné zarovnanie pozdĺž ľavej neomietanej hrany

Toto natočenie vedie k väčšej výťažnosti dreva. Horizontálne prehýbanie a ohyb obrobku systém neovplyvňuje, kdeže toto zariadenie pracuje bez plota.



Obr. 32 Zarovnávanie prizmy [31]

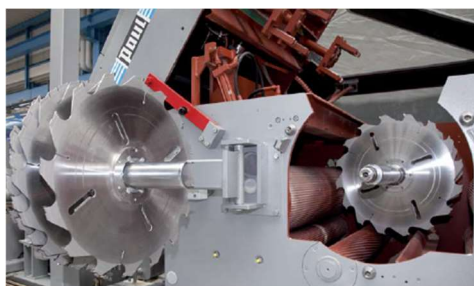


Obr. 33 Výťažnosť prírezu [31]

4.2.3 Rezný proces

Správne vycentrovaný a natočený obrobok je zasúvaný do rozmietacej pily. Posuv zabezpečuje hydraulicky poháňaná závesná reťaz. Prizma leží na posuvných valcoch s polyuretánovým povlakom a reťaz na ňu zvrchu tlačí, zabezpečuje polohu a eliminuje možnosť vykláznutia z polohy, do ktorej bol obrobok ustavený. Obrobok následne s vysokou presnosťou vchádza do rezu v rozmietacej píle [31].

Model AB-MA_EXT je rozmietacou kotúčovou pilou s vrchným uložením pilových kotúčov. Hriadeľ poháňaný výkonným elektromotorom sa nachádza nad rezným oblúkom a pílenie je súbežné. Vďaka súbežnému pílieniu je opotrebovanie nástroja menšie a kvalita obrobeného povrchu je lepšia. Na hriadeľ sa nachádzajú teleskopické púzdra, na ktorých sú upevnené pilové kotúče. Výhodou takéhoto systému je, že systém si po zmeraní a natočení prizmy môže sám zvoliť optimálne rozmery jednotlivých rezov s maximálnou výťažnosťou. Rýchlosti posuvov sú automaticky upravované v závislosti na hrúbke obrobku, šírke ostria pilového kotúča a jeho počte zubov. Vďaka tomu je zabezpečená maximálna efektívnosť. Za pilovými kotúčmi sa nachádzajú pozdĺžne triediace lišty, ktoré majú za úlohu priviesť rozrezané polotovary na príslušný dopravník [31].



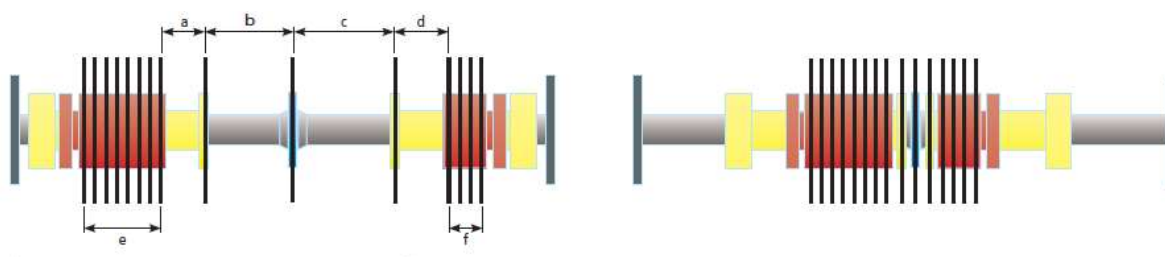
Obr. 34 Uloženie kotúčov na hriadelí [31]



Obr. 35 Triediace lišty [31]

4.2.4 Uloženie pílových kotúčov na hriadelí

Pri konfigurácii rozmetacej píly s pohyblivými pílovými púzdrami sa pílové kotúče spolu môžu pohybovať na minimálnu šírku 18 mm. Stredný pílový kotúč je napevno pripevnený na hriadeľ. Vpravo aj vľavo od neho sa nachádzajú multipílové púzdra, ktoré sú nasunuté na jednopílové puzdro pevne upnuté na hriadeľ. Puzdro s viacerými pílovými kotúčmi sa po jednopílovom puzdre môže nezávisle pohybovať. Rozsahy pohybu ako aj upínacie dĺžky sa pri rôznych aplikáciách líšia.



Obr. 36 Rozsahy pohybov teleskopických púzdiel [31]

Tabuľka 6 Hodnoty rozsahov teleskopických púzdiel

Parameter	Rozmedzie pohybu
Pohyblivá vzdialenosť a	18–100 mm
Pohyblivá vzdialenosť b	18-140 mm
Pohyblivá vzdialenosť c	18-250 mm
Pohyblivá vzdialenosť d	18-160 mm
Upínacia dĺžka e	300 mm
Upínacia dĺžka f	130 mm

4.3 Optimalizácia rýchlosti posuvu

Na splnenie požiadaviek kupujúceho, dodávateľ navrhol a dodal rozmetaciu pílu s elektromotorom s výkonom 200kW a sadou 36 zubových kotúčov s úpravou rezných hrán materiálom stelit. Jedným z požadovaných parametrov tohoto stroja bolo, aby pri obrábaní prizmy vysokej 150 mm dosahovala rýchlosť posuvu minimálne 35 m.min⁻¹. Počas skúšobnej prevádzky bolo zistené, že pri tejto rýchlosti nedochádza k dostatočnému odvodu triesky z miesta rezu a medzizubové medzery sa plnia pilinou. Táto skutočnosť spôsobovala nerovnomerné zahrievanie pílového kotúča až do bodu, kedy strácal svoju dynamickú stabilitu. Takýto kotúč už nereže priamočiaro ale vychýľuje sa z rezu tzv. „pláva“. Zahriať sa môže až

na teplotu prevyšujúcu 700 °C a po vychladnutí je ako po geometrickej tak aj po pevnostnej stránke nenávratne znehodnotený. V záujme šetrenia rezných nástrojov bolo potrebné dopočítať maximálnu rýchlosť posuvu pri ktorej mohla rozmietacia píla s týmto typom pílových kotúčov pracovať.



Obr. 37 Nepravidelný rez 1



Obr. 38 Nepravidelný rez 2



Obr. 39 Nepravidelný rez 3



Obr. 40 Znehodnotené kotúče

4.3.1 Optimalizácia podľa obráteného modelu A. L. Beršadského

V tomto spôsobe riešenia optimalizácie rezného procesu sa vychádza z výkonu elektromotora rozmietacej píly, daných rezných výšok, počtu pílových kotúčov v zábere a ďalších parametrov ktoré určujú rýchlosť posuvu. Metóda je založená na izolovaných výpočtoch posuvov na zub v závislosti na rôznych faktoroch. Všetky vzťahy pre matematický model podľa A. L. Beršadského čerpajú z knihy Delenie a obrábanie dreva [10]. Tieto faktory sú:

- Zaplnenie zubových medzier pilinami
- Požadovaná nerovnosť povrchu
- Výkon pohonnej jednotky
- Dynamika stability pílového kotúča

Rýchlosť posuvu sa vypočíta z najmenej vypočítanej hodnoty posuvu na zub. Na začiatok je nutné dopočítať rozmerové hodnoty pílového kotúča, ktoré sa neuvádzajú v nástrojovom katalógu. Rozostup zubov t_z sa určuje podľa vzťahu:

$$t_z = \frac{\pi \cdot D}{z} \quad (1.1)$$

kde: D - Vonkajší priemer kotúča [mm],
 z - Počet zubov [-].

$$t_z = \frac{\pi \cdot 620}{36} = 54,105 \text{ mm}$$

Následne je treba dopočítať veľkosť kontaktného uhla φ_k . Pri vstupe hlavnej reznej hrany zuba pílového kotúča do obrobku vzniká uhol φ_{kvs} . Z bodu, v ktorom hlavná rezná hrana zuba pílového kotúča obrobok opúšťa, vzniká uhol φ_{kvys} . Vzťahy na výpočet týchto uhlov sa nachádzajú v tabuľke č. 7. Optimalizovaná rozmietacia píla má vrchné uloženie a súbežný posuv. Veľkosť kontaktného uhla φ_k je rozdielom týchto dvoch hodnôt a získa sa vzťahom:

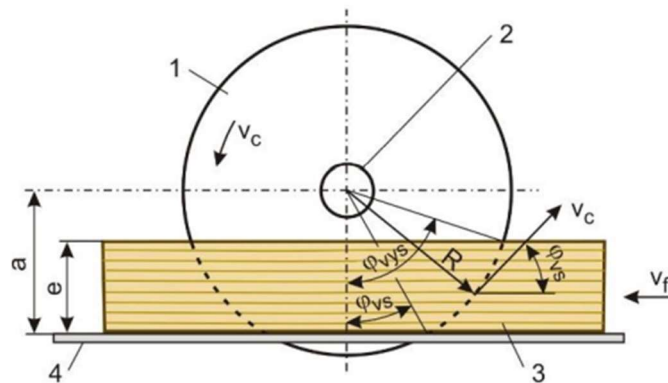
$$\varphi_k = |\varphi_{vs} - \varphi_{vys}| = \left| \arccos \frac{a-e}{R} - \arccos \frac{a}{R} \right| \quad (1.2)$$

kde: φ_{vs} - vstupný uhol hlavnej reznej hrany [°],
 φ_{vys} - výstupný uhol hlavnej reznej hrany [°],
 a - vzdialenosť stredu kotúča od stola píly,
 e - výška reznej medzery [mm],

Tabuľka 7 Vzťahy pre výpočet vstupného a výstupného uhla [10]

Poloha pílového kotúča	Protibežný posuv		Súbežný posuv	
	φ_{vs}	φ_{vys}	φ_{vs}	φ_{vys}
Vrchné	$\arccos \frac{a}{R}$	$\arccos \frac{a-e}{R}$	$\arccos \frac{a-e}{R}$	$\arccos \frac{a}{R}$
Spodné	$\arccos \frac{a+e}{R}$	$\arccos \frac{a}{R}$	$\arccos \frac{a}{R}$	$\arccos \frac{a+e}{R}$

$$\varphi_k = \left| \arccos \frac{280-150}{310} - \arccos \frac{280}{310} \right| = |25,414 - 65,206| = 39,79^\circ$$



Obr. 41 Veľkosti vstupného a výstupného uhla [10]

Středná hodnota kontaktního uhlu φ_{kstr} sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\varphi_{kstr} = \frac{\varphi_{vs} + \varphi_{vys}}{2} \quad (1.3)$$

kde: φ_{vs} - vstupný uhol hlavnej reznej hrany [°],
 φ_{vys} - výstupný uhol hlavnej reznej hrany [°],

$$\varphi_{kstr} = \frac{25,414 + 65,206}{2} = 45,310^\circ$$

Tabuľka 8 Rozvod a rozšírenie reznej hrany zubov pilových kotúčov

Rozvod a rozšírenie reznej hrany zubov pilových kotúčov na jednu stranu s' [mm] při pozdĺžnom a priečnom pílení dreva			
Priemer pilového kotúča D [mm]	Ihličnaté dreveniny		Tvrdé listnaté dreveniny
	Vlhkosť w = 30 %	Vlhkosť w > 30 %	
125 – 315	0,40 (0,20)	0,45 (0,30)	0,30 (0,20)
360 – 500	0,60 (0,30)	0,70 (0,40)	0,30 (0,30)
560 – 630	0,70 (0,40)	0,80 (0,50)	0,60 (0,40)
710 – 900	0,80 (0,50)	0,90 (0,60)	0,70 (0,50)
1000 - 1250	1,00 (0,70)	1,10 (0,80)	0,90 (0,60)
1500	1,20 (0,80)	1,30 (0,90)	1,10 (0,70)

Podľa tabuľky ??? sa určí rozšírenie reznej hrany zubov pilového kotúča v závislosti na vlhkosti a type rezanej dreveniny. Ide o smrekovú hmotu s vlhkosťou 30%. Táto hodnota sa dosadí do vzťahu pre výpočet šírky reznej medzery b_s :

$$b_s = s + 2s' \quad (1.4)$$

kde: s - hrúbka tela nástroja [mm],
 s' - rozšírenie zubu do strany [mm]

$$b_s = 5,7 + 2 \cdot 0,7 = 7,1 \text{ mm}$$

Prvým zisteným maximálnym posuvom na zub je f_{zl} . Tento posuv na zub je určený v závislosti na požadovanej drsnosti povrchu. Hodnota parametra f_{zl} je určená z tabuľky ???. Požadovaná výška nerovností plochy R_z je 500 μm .

Tabuľka 9 Uhol výstupu hlavnej reznej hrany pilového kotúča

Výška Nerovností R_z [μm]	Uhol výstupu hlavnej reznej hrany pilového kotúča z obrobku φ_{vys} [°]					
	20	30	40	50	60	70
	maximálny posuv na zub $f_{z/\max}$ [mm]					
1200	1,8/1,2	1,8/1,2	1,8/1,2	1,8/1,2	1,5/1,2	1,5/1,2
800	1,5/1,0	1,5/1,0	1,5/1,0	1,5/1,0	1,2/0,8	1,2/0,8
500	1,2/0,8	1,2/0,8	1,2/0,8	1,2/0,8	0,75/0,5	0,75/0,5
320	0,45/0,3	0,45/0,3	0,45/0,3	0,45/0,3	0,15/0,10	0,15/0,10
200	0,15/0,10	0,15/0,10	0,15/0,10	0,15/0,10	0,15/0,10	0,15/0,10
100	0,15/0,10	0,15/0,10	0,15/0,10	0,15/0,10	-	-

$$f_{zl} = 0,5 \text{ mm}$$

Ďalší zisťovaný posuv na zub je f_{zII} . Jeho maximálna hodnota je ohraničená zaplnením medzizubovej medzery. Veľkosť parametru je závislá na geometrickom tvare zubu a výške

reznej medzery. Koeficienty sú uvedené v tabuľke ?? . Hodnota f_{zII} sa vypočíta pomocou vzťahu:

$$f_{zII} = \frac{\theta \cdot t_z^2}{\sigma \cdot e} \quad (1.5)$$

- kde: θ - Parameter tvaru zuba [-],
 σ - parameter napätia zubovej medzery [-],
 t_z - rozostup zubov [mm]
 e - výška reznej medzery [mm],

Tabuľka 10 Parameter θ [10]

Uhol čela γ [°]	Parameter θ pri z rovné						
	24	36	48	60	72	96	120
35	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	-	-
20	-	0,3	0,3	0,3	-	-	-
0	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5
-25	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5

$$f_{zII} = \frac{0,3 \cdot 54,105^2}{1 \cdot 150} = 5,854 \text{ mm}$$

Určenie doporučených otáčok hriadeľa rozmietačej píly n_1 pri reznej rýchlosti $v_c=50 \text{ m.s}^{-1}$ podľa vzťahu:

$$n_1 = \frac{60000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (1.6)$$

- kde: v_c - rezná rýchlosť [m/s],
 D - vonkajší priemer kotúča [m/s],

$$n_1 = \frac{60000 \cdot 50}{\pi \cdot 620} = 1540,209 \text{ ot/min}$$

Z tabuľky č. 11 sa určia maximálne prípustné otáčky pílového kotúča. Pracovné otáčky pílového kotúča sa musia pohybovať v intervale medzi doporučenými a maximálnymi otáčkami. V prípade, že by táto podmienka nebola splnená, musí sa použiť kotúč s väčšou hrúbkou. Pracovné otáčky boli zvolené $n = 2000 \text{ ot/min}$.

Tabuľka 11 Maximálne dovolené otáčky pílových kotúčov

Priemer pílového kotúča D [mm]	Hrúbka pílového kotúča s [mm]	Maximálne dovolené otáčky pílových kotúčov n [min^{-1}] pri teplotnom spáde Δt [°C]							Koeficient A [°C/kW]
		0	5	10	15	20	30	50	
630	2,2	1950	1750	1600	1400	1150	-	-	3,1
	2,5	2200	2050	1900	1700	1550	1100	-	2,9
	2,8	2450	2350	2200	2050	1900	1550	1300	2,7
	3	2650	2500	2400	2250	2150	1850	1000	2,6

$$n_1 < n < n_{max}$$

$$1540,209 < 2000 < 2650$$

Výpočet reznej rýchlosti v_c pri zvolených pracovných otáčkach podľa vzťahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (1.7)$$

kde: D - vonkajší priemer kotúča [m/s],
 n - pracovné otáčky [m/s],

$$v_c = \frac{\pi \cdot 620 \cdot 2000}{60 \cdot 1000} = 64,926 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pre pozdĺžne rezanie platí, že uhol prerezávania vlákien $\varphi_2 = \varphi_{kstr}$. Výpočet fiktívnej reznej sily na jednotku dĺžky rezu F'_{ef} podľa vzťahu:

$$F'_{ef} = 3,924 + 0,0353 \cdot \varphi_2 \quad (1.8)$$

kde: φ_2 - rýchlosť pohybu abrazívnych častíc [m/s],

$$F'_{ef} = 3,924 + 0,0353 \cdot 45,310 = 5,326 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Výpočet dĺžky kontaktného oblúka l_k podľa vzťahu:

$$l_k = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi_k}{360} \quad (1.9)$$

kde: D - vonkajší priemer kotúča [mm],
 φ_k - kontaktný uhol [°].

$$l_k = \frac{\pi \cdot 620 \cdot 39,79}{360} = 215,285 \text{ mm}$$

Výpočet reznej sily na jeden zub F_{cz} podľa vzťahu:

$$F_{cz} = \frac{1000 \cdot P_{el} \cdot \eta \cdot t_z}{v_c \cdot l_k \cdot i} \quad (1.10)$$

kde: P_{el} - výkon elektromotora rezného mechanizmu [kW],
 η - účinnosť elektromotora [-],
 t_z - rozostup medzi zubami [mm],
 v_c - rezná rýchlosť [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 l_k - dĺžka kontaktného uhla [°],
 i - počet pílových kotúčov v zábere [-]

$$F_{cz} = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 0,9 \cdot 54,105}{64,926 \cdot 215,285 \cdot 7} = 99,535 \text{ N}$$

Pre výslednú rýchlosť musí byť splnená podmienka $v_c > 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ aby za v_e bolo možné dosadiť v_c . V opačnom prípade $v_e = v_c$. Výpočet tangenciálneho tlaku na čelo zubu p_ξ pre pozdĺžne rezanie podľa vzťahu:

$$p_\xi = (0,196 + 0,00392 \cdot \varphi_2) \cdot \delta + (0,0686 + 0,00147 \cdot \varphi_2) \cdot v_e - (5,39 + 0,147 \cdot \varphi_2) \quad (1.11)$$

kde: φ_2 - rýchlosť pohybu abrazívnych častíc [m/s],
 δ - charakteristická rýchlosť [m/s],

v_e - experimentálně stanovená konstanta reprezentující část paprsku v řezu,

$$p_{\check{c}} = (0,196 + 0,00392 \cdot 45,310) \cdot 75 + (0,0686 + 0,00147 \cdot 45,310) \cdot 64,926 - (5,39 + 0,147 \cdot 45,310) = 24,748 \text{ MPa}$$

Pre všetko nezamrznuté rezivo platí, že $t_d = 0^\circ\text{C}$. Výpočet koeficientu faktoru stavu dreveny k_{sd} podľa vzťahu:

$$k_{sd} = 1 + 0,009 \cdot t_d + 0,0025 \cdot t_d \quad (1.12)$$

kde: t_d - teplota dreva [$^\circ\text{C}$].

$$k_{sd} = 1$$

Pre rovnomerne rozšírené zuby má faktor vplyvu úpravy zubov $k_v = 1,1$. Výpočet tangenciálneho tlaku rezného v závislosti na trení pilín v reznej škáre p_f podľa vzťahu:

$$p_f = k_{y(v)} \cdot k_{sd} \cdot (0,2 + 0,00012 \cdot e) \quad (1.13)$$

kde: $k_{y(v)}$ - faktor vplyvu úpravy zubov [-],

k_{sd} - faktor vplyvu stavu dreveny [-],

e - výška reznej medzery [mm]

$$p_f = 1,1 \cdot 1 \cdot (0,2 + 0,00012 \cdot 150) = 0,249 \text{ MPa}$$

Výpočet opotrebenia reznej hrany zuba pilového kotúča r_n v závislosti na čase medzi otreniami T a dráhe L_r podľa vzťahu:

$$r_n = \Delta r_{n1} \cdot L_r = \frac{\Delta r_{n1} \cdot T \cdot l_k \cdot n \cdot K_1 \cdot K_2}{1000} \quad (1.14)$$

kde: Δr_{n1} - pre mäkké dreveny $= 0,001$ [$\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$],

L_r - dráha, ktorú rezná hrava prejde v materiály za čas T [m],

T - čas práce [min^{-1}],

l_k - dĺžka kontaktného oblúka [mm],

n - otáčky kotúča [min^{-1}],

K_1 - koeficient časového využitia stroja [-],

K_2 - koeficient technologického využitia stroja [-],

$$r_n = \frac{0,001 \cdot 240 \cdot 215,285 \cdot 2000 \cdot 0,8 \cdot 0,85}{1000} = 70,269 \mu\text{m}$$

Polomer zaoblenia reznej hrany pre ostrý náastroj je určený jako $r_{no} = 10 \mu\text{m}$. Výpočet parameteru opotrebovania k_m podľa vzťahu:

$$K_{rn} = 1 + \frac{0,2 \cdot r_n}{r_{no}} \quad (1.15)$$

kde: r_n - veľkosť opotrebenia reznej hrany [μm],

r_{no} - polomer zaoblenia reznej hrany [μm]

$$K_{rn} = 1 + \frac{0,2 \cdot 70,269}{10} = 2,406$$

Keďže pri pílení kotúčovou pilou je nominálna hrúbka prierezu triesky premenná hodnota, vo výpočte sa pracuje so strednou hodnotou hrúbky triesky. Výpočet nominálnej strednej hrúbky triesky h_{Dstr} podľa vzťahu:

$$h_{Dstr} = \frac{(\frac{F_{cz}}{k_d \cdot k_w \cdot k_{sd}} - K_{rn} \cdot F'_{ef} \cdot l_s) \cdot b_s}{(p_c \cdot b_s + p_f \cdot e) \cdot l_s} \quad (1.16)$$

- kde: F_{cz} - rezná sila na jeden zub [N],
 k_d - koeficient vplyvu druhu dreveny [-],
 k_w - koeficient vplyvu vlhkosti [-],
 k_{sd} - faktor stavu dreveny [-],
 K_{rn} - parameter opotrebovania [-],
 F'_{ef} - fiktívna rezná sila na jednotku dĺžky [$N \cdot mm^{-1}$],
 l_s - šírka reznej hrany [mm],
 b_s - šírka reznej medzery [mm],
 p_c - tangenciálny tlak na čelo zubu [MPa],
 p_f - tangenciálny rezný tlak v závislosti na trení pilín [MPa],
 e - výška reznej medzery [mm].

$$h_{Dstr} = \frac{(\frac{99,535}{0,95 \cdot 0,95 \cdot 1} - 2,406 \cdot 5,326 \cdot 5,7) \cdot 7,1}{(24,748 \cdot 7,1 + 0,24 \cdot 150) \cdot 5,7} = 0,219 \text{ mm}$$

Výpočet maximálneho prípustného posuvu na zub f_{zIII} . Tento posuv je ohraničený výkonom elektromotora rezného mechanizmu. Počíta sa podľa vzťahu:

$$f_{zIII} = \frac{h_{Dstr} \cdot l_s \cdot l_k}{e \cdot b_s} \quad (1.17)$$

- kde: h_{Dstr} - nominálna stredná hrúbka triesky [mm],
 l_s - šírka reznej hrany [mm],
 l_k - dĺžka kontaktného oblúka [mm],
 e - výška reznej medzery [mm],
 b_s - šírka reznej medzery [mm].

$$f_{zIII} = \frac{0,219 \cdot 215,285 \cdot 7,1}{150 \cdot 7,1} = 0,314 \text{ mm}$$

Výpočet maximálneho prípustného posuvu na zub f_{zIV} , ohraničeného dynamickou stabilitou pílového kotúča. Počas pozdĺžneho rezania sa obvodová časť kotúča zohrieva rýchlejšie ako vnútorná. Pri rôznej distribúcii tepla vzniká na obvode a v strede teplotný rozdiel. V zóne prítlačných prírub spolu s dnom zubovej medzery po dosiahnutí kritickej hodnoty Δt_D stráca pílový kotúč dynamickú stabilitu. Kritické hodnoty Δt_D sú v tabuľke ???. Charakter ochladzovania sa zohľadňuje koeficientom k_o , ktorý sa pre pílenie bez chladenia vypočíta vzťahom:

$$k_o = \frac{0,85}{A}, \quad A = 12,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{k_t}{D^{1,3} \cdot n^{0,4} \cdot s^{0,5}} \quad (1.18)$$

- kde: A - rychlost pohybu abrazivních částic [m/s],
 D - charakteristická rychlost [m/s],
 n - pracovní otáčky [min^{-1}],
 s - šírka reznej hrany [mm].

Tabuľka 12 Hodnoty koeficientov tepelného spádu pre reznú rýchlosť 50 m.s⁻¹ [10]

Priemer		Hodnoty Δt_D [°C] pri $v_c = 50 \text{ m.s}^{-1}$ a f_z [mm]									
Pílové kotúče [mm]	Prírubby [mm]	f_z [mm]									
		2,2	2,5	2,8	3	3,2	3,6	4	4,5	5	5,5
630	160	17	26,5	37	44	-	-	-	-	-	-
710	160	7,9	14,2	21	27	32	-	-	-	-	-
800	160	-	-	7,7	11	14	21,5	-	-	-	-
900	200	-	-	-	-	11	17,7	25	-	-	-
1000	200	-	-	-	-	-	9	14	22	-	-
1250	240	-	-	-	-	-	-	3,6	8	13	-
1500	300	-	-	-	-	-	-	-	7,7	11,3	15

Pre pílové kotúče bez pracujúce bez chladenia s polomerom $D > 500 \text{ mm}$ sa však koeficient zanedbáva. Maximálny posuv na zub f_{zIV} sa vypočíta podľa vzťahu:

$$f_{zIV} = \frac{\frac{6 \cdot 10^7 \cdot k_o \cdot \Delta t_D}{k_d \cdot k_w \cdot k_{sd} \cdot e \cdot z \cdot n} - \frac{k_{rn} \cdot F'_{ef} \cdot l_s}{\sin(\varphi_{2str})}}{p_{\check{c}} \cdot b_{\check{s}} + p_f \cdot e} \quad (1.19)$$

- kde: k_o - koeficient ochladzovania [-]
 Δt_D - koeficient tepelnej distribúcie [-],
 k_d - koeficient vplyvu dreveniny [-]
 k_w - koeficient závislosti na vlhkosti [-]
 k_{sd} - rýchlosť posuvu [mm/s],
 e - hustota abrazívneho materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].
 z - počet zubov [-]
 n - pracovné otáčky [min^{-1}]
 k_{rn} - Koeficient opotrebovania reznej plochy [-]
 F'_{ef} - fiktívna rezná sila na jednotku dĺžky [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$],
 l_s - šírka reznej hrany zuba [mm]
 φ_{2str} - stredná hodnota kontaktného uhla [°]
 $p_{\check{c}}$ - tangenciálny tlak na čelo zuba [MPa],
 $b_{\check{s}}$ - šírka reznej hrany zuba [mm]
 p_f - tangenciálny rezný tlak v závislosti na trení pilín [MPa],

$$f_{zIV} = \frac{\frac{6 \cdot 10^7 \cdot 26,5}{0,95 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 150 \cdot 36 \cdot 2000} - \frac{2,48 \cdot 5,326 \cdot 5,7}{\sin(45,310)}}{24,748 \cdot 7,1 + 0,24 \cdot 150} = 0,270 \text{ mm}$$

Tabuľka 13 Výsledné maximálne posuvy na zub podľa hlavných kritérií

Maximálne posuvy na zub podľa kritérií [mm]			
f_{zI}	f_{zII}	f_{zIII}	f_{zIV}
0,5	5,854	0,314	0,270

Na výpočet rýchlosti posuvu sa použije najmenší z vypočítaných posuvov na zub. Podľa očakávaní vyšla najmenšia hodnota posuvu na zub podľa kritéria straty dynamickej stability kotúča. f_{zIV} . Táto posuvová rýchlosť je platná len pre rezný proces s rovnakými vstupnými hodnotami. Pri zmene hodnôt premenných ako je výška reznej medzery či počet zubov pílového kotúča sa musí tento matematický model optimalizácie prepočítať. Rýchlosť posuvu v_f sa vypočíta podľa vzťahu:

$$v_f = \frac{f_{zp} \cdot z \cdot n}{1000} \quad (1.20)$$

kde: f_{zp} - rychlost pohybu abrazivních částic [m/s],
 z - charakteristická rychlost [m/s],
 n - experimentálně stanovená konstanta reprezentující část paprsku v řezu,

$$v_f = \frac{0,270 \cdot 36 \cdot 2000}{1000} = 19,44 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

4.4 Hodnotenie rozmerových presností polotovarov

Po upravení posuvovej rýchlosti v_f sa zlepšil odvod triesky z miesta rezu a pílové kotúče prestali mať tendenciu v reze „plávať“. Nastal však problém, že rezivo po trieskovom obrobení týmito typov kotúčov nedosahovalo požadované rozmerové tolerancie. Firma teda dospela k rozhodnutiu zmeniť rezné nástroje. Do skúšobnej prevádzky zaradila najprv 32 a následne 26 zubové pílové kotúče. Obe tieto variácie na rozdiel od pôvodných stelitovaných nástrojov disponujú pílovými zubmi s SK doštičkami. Všetky kotúče mali zhodný priemer 620 mm.

Tabuľka 14 Parametre rôznych druhov pílových kotúčov

	značka	Pílový kotúč 1	Pílový kotúč 2	Pílový kotúč 3
výrobca	-	Cedro	Paul	Paul
materiál reznej hrany	-	stelit	SK doštičky	SK doštičky
počet zubov	z	36	32	26
vonkajší priemer [mm]	D	620	620	620
hrúbka tela [mm]	s	4,0	3,8	3,8
šírka ostria [mm]	S	5,7	5,5	5,5
uhol chrbta [°]	α	15	15	15
uhol čela [°]	γ	20	20	20

Aby boli pre všetky kotúče splnené rovnaké podmienky, bolo zabezpečené aby všetky rezané prizmy mali rovnakú vlhkosť 30%. Rezané obrobky mali hrúbku 150 mm a do rozmietačej píly vstupovali rýchlosťou posuvu $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Štatistická súbor obsahuje 20 rozrezaných vzorkov pre každý kotúč. Po prerezaní bol náhodný kus zo série odobraný a digitálnym posuvným meradlom odmeraný. Presnosť merania sa pohybovala v rádoch stotín milimetrov. Meranie prebiehalo na troch miestach obrobku. V strede a vo vzdialenosti 20 centimetrov od oboch okrajov. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke č. 15



Obr. 42 36 zubový kotúč



Obr. 43 32 zubový kotúč



Obr. 44 26 zubový kotúč

Tabuľka 15 Rozmerové odchylky pre rôzne typy kotúčov

Rozmerové odchylky [mm]									
č.	Pílový kotúč 1 (36 zubov, Stelit)			Pílový kotúč 2 (32 zubov, SK doštičky)			Pílový kotúč 3 (26 zubov, SK doštičky)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	-1,68	0,17	1,30	-1,07	0,54	0,49	-0,02	-0,05	0,18
2	1,70	2,13	-0,39	0,85	-0,13	-0,53	0,25	0,04	-0,16
3	1,78	1,24	0,40	-0,49	0,84	0,45	-0,20	-0,12	0,08
4	-1,67	0,64	1,46	-0,97	-0,96	0,21	-0,28	0,17	0,32
5	-0,43	-0,56	-1,90	0,19	0,76	-0,24	0,22	-0,13	-0,25
6	-1,05	1,82	-1,74	-1,09	-0,29	0,38	0,26	0,31	-0,27
7	1,52	-0,18	-1,75	-0,77	0,39	-0,42	0,22	-0,24	0,13
8	1,62	-1,30	1,49	-0,74	-0,90	0,20	-0,11	0,15	0,10
9	0,71	-0,42	-1,26	-0,14	-0,44	0,84	0,32	0,20	-0,06
10	-0,88	-1,75	0,68	-1,09	-0,13	-0,72	0,29	-0,26	0,25
11	-1,45	0,65	-1,32	1,09	0,49	0,37	-0,18	-0,29	0,15
12	1,27	1,38	1,60	0,17	1,01	0,07	0,28	-0,08	-0,29
13	-1,09	-1,81	-1,12	0,01	1,04	0,08	-0,12	-0,12	-0,23
14	0,28	-0,40	2,13	-0,16	-0,70	-1,08	0,08	-0,06	0,22
15	0,81	0,90	-1,51	1,03	0,23	0,09	0,11	-0,25	0,34
16	-1,32	1,20	2,08	0,38	0,25	0,77	-0,04	0,11	0,13
17	-0,54	0,37	-2,10	-1,04	-0,41	0,76	-0,11	0,33	-0,21
18	0,46	2,12	1,12	-0,29	-0,81	1,00	0,09	0,12	0,01
19	0,49	1,95	-1,42	-0,05	1,08	0,83	0,31	-0,31	-0,28
20	1,05	-1,93	1,13	-0,05	-1,03	-0,61	-0,29	-0,23	0,26

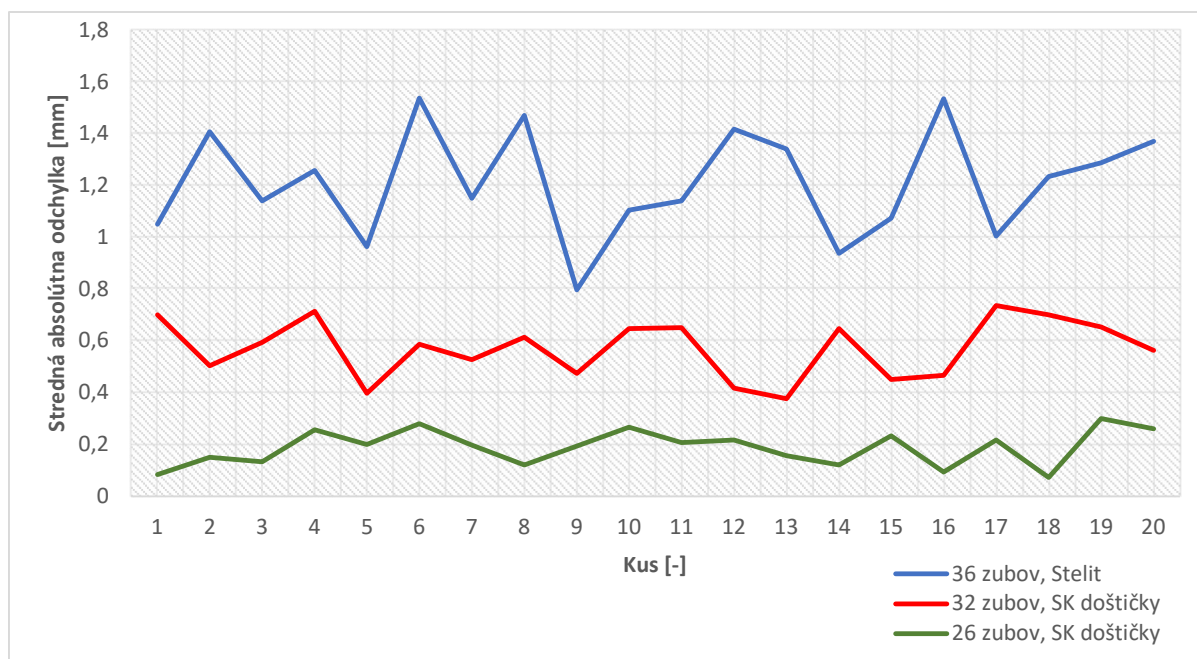
Zo štatistického súboru sa následne pre každý rez vypočítala stredná absolútna odchýlka. Tá je smerodatným ukazovateľom pri sledovaní presnosti s akou každý typ pílového kotúča dokázal pracovať. Pre dobrú vizualizáciu výsledkov boli hodnoty stredných absolútnych odchýliek vložené do grafu. Stredná absolútna odchýlka sa spočíta vzt'ahom:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_p|}{n}$$

Príklad výpočtu strednej absolútnej odchýlka pre 32 zubový pílový kotúč, rez č. 9. V grafe mu prislúcha zvýraznený bod.

$$d_{32,9} = \frac{|x_1 - x_p| + |x_2 - x_p| + |x_3 - x_p|}{3} = \frac{|49,86 - 50| + |49,56 - 50| + |50,84 - 50|}{3}$$

$$d_{32,9} = 0,47 \text{ mm}$$



Obr. 45 Grafické znázornenie rozmerových odchýliek vzorky 20 kusov

4.4.1 Optimalizácia výkonu elektromotora

Po zvolení vhodného rezného nástroja však stále zostával problém príliš nízkej rýchlosti posuvu. Pri pokusoch o zvýšenie tejto rýchlosti na požadovanú hodnotu $35 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ hlásil software chybu preťaženia systému. Výkon elektromotora je limitovaný bezpečnostným koeficientom, ktorý chráni pohonnú jednotku pred poškodením. Po prekročení istej hranice rezného výkonu systém automaticky znižoval rýchlosť posuvu. Rezný výkon v niektorých momentoch pred spomalením rýchlosti posuvu dosahoval hodnôt až 125 % maximálneho výkonu. To, samozrejme, nie je možné ale dá sa na základe toho odhadnúť potrebný rezný výkon. Verzia rozmietačej píly, ktorá bola zakúpená na túto linku má od výrobcu garantovanú technickú spôsobilosť na bezpečnú prevádzku 250 kW motora. Komponenty vrátane prevodovky a elektrických rozvodov sú na túto úpravu dimenzované. Možnosť výmeny pohonnej jednotky sa preto zdá byť výhodnou. Je teda nutné spočítať aký výkon by mal mať elektromotor, aby boli splnené nároky firmy.

Tabuľka 16 Koeficienty pre výpočet optimalizácie

Vstupné parametre pre výpočet		
Parameter	značenie	hodnota
Počet zubov nástroja	z	26
Rýchlosť posuvu	v_f	$35 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky	n	$2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
Hrúbka tela nástroja	s	5,5 mm
Hodnoty spočítané v prvej časti		
Rezná rýchlosť	v_c	$64,926 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Stredná hodnota kontaktného uhla	Φ_{kstr}	$45,310^\circ$
Dĺžka kontaktného uhla	l_k	215,285 mm
Fiktívna rezná sila na jednotku dĺžky	F'_{ef}	$5,326 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$
Parameter opotrebovania reznej hrany zubu	k_{rn}	2,48
Tangenciálny rezný tlak v závislosti na trení [MPa]	p_f	0,249 MPa
tangenciálny tlak na čelo zubu	$p_{\check{c}}$	24,748 MPa

Z tabulky č.8 sa odčíta koeficient s' a dosadí sa do vzťahu na výpočet šírky reznej medzery b_s :

$$b_s = s + 2s' \quad (2.1)$$

kde: s - hrúbka tela nástroja [mm],
 s' - rozšírenie zubu do strany [mm]

$$b_s = 5,5 + 2 \cdot 0,7 = 6,9 \text{ mm}$$

Ďalej sa určí rozostup zubov pílového kotúča t_z ktorý sa vypočíta podľa vzťahu:

$$t_z = \frac{\pi \cdot D}{z} \quad (2.2)$$

kde: D - vonkajší priemer kotúča [mm],
 z - počet zubov [-].

$$t_z = \frac{\pi \cdot 620}{26} = 74,915$$

Následne sa spočíta hodnota posuvu na zub f_z . Táto premenná je závislá na rýchlosti posuvu, ktorá je v tomto prípade jednou s požiadaviek zadáných firmou. Firma požaduje aby rýchlosť posuvu dosahovala minimálne 35 m.min^{-1} . Posuv na zub f_z sa spočíta podľa vzťahu:

$$f_z = \frac{1000 \cdot v_f}{z \cdot n} \quad (2.3)$$

kde: v_f - rýchlosť posuvu [m.min^{-1}],
 z - počet zubov [-],
 n - pracovné otáčky [m.min^{-1}].

$$f_z = \frac{1000 \cdot v_f}{z \cdot n} = \frac{1000 \cdot 35}{26 \cdot 2000} = 0,673 \text{ mm}$$

Výpočet strednej hodnoty hrúbky triesky h_{Dstr} je závislý na dĺžke reznej hrany zubu pílového kotúča. Použitý nástroj má zuby s rozšírenou reznou hranou, pre ktoré platí $l_s = s$. Hodnota strednej hrúbky triesky h_{Dstr} sa vypočíta zo vzťahu:

$$h_{Dstr} = \frac{b_s}{l_s} \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_{kstr}) \quad (2.4)$$

kde: b_s - šírka reznej medzery [mm],
 l_s - šírka reznej hrany [mm],
 f_z - posuv na zub [mm]
 φ_{kstr} - stredná hodnota kontaktného uhla [$^\circ$].

$$h_{Dstr} = \frac{6,9}{5,5} \cdot 0,673 \cdot \sin(45,310^\circ) = 0,600$$

Výpočet reznej sily na jednotku plochy rezu k_c podľa vzťahu:

$$k_c = \left(\frac{k_{rn} \cdot F'_{ef}}{h_{Dstr}} + p_c + \frac{p_f \cdot e}{b_s} \right) \cdot k_d \cdot k_w \cdot k_s \quad (2.5)$$

kde: b_s - šírka reznej medzery [mm]
 l_s - šírka reznej hrany zuba [mm],
 f_z - posuv na zub [mm],
 φ_{kstr} - stredná hodnota kontaktného uhla [$^\circ$].

Tabuľka 17 Koeficienty závislosti na vlhkosti dreva

Vlhkosť [%]	8 -12	18 - 22	25–30	50 -70	> 70
K_w	1	1,07	1,08	1,13	1,07
Poznámka : pre zamrznuté drevo s vlhkosťou viac ako 70%, $K_w = 1,5$					

$$k_c = \left(\frac{2,406 \cdot 5,326}{0,600} + 24,748 + \frac{0,249 \cdot 150}{6,9} \right) \cdot 0,95 \cdot 1,08 \cdot 1 = 53,531 \text{ MPa}$$

Výpočet reznej sily ktorou pôsobí jeden zub na obrobok F_{cz} . Vypočíta sa podľa vzťahu:

$$F_{cz} = \left[k_{rn} \cdot F'_{ef} \cdot b_s \cdot l_s + h_{Dstr} \cdot l_s \left(p_{\check{c}} + \frac{p_f \cdot e}{b_s} \right) \right] \cdot k_d \cdot k_w \cdot k_s \quad (2.6)$$

- kde: k_{rn} - parameter opotrebovania reznej hrany zubu [-],
 F'_{ef} - fiktívna rezná sila na jednotku dĺžky [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$],
 b_s - šírka reznej medzery [mm]
 l_s - šírka reznej hrany zuba [mm],
 h_{Dstr} - nominálna stredná hrúbka triesky [mm],
 $p_{\check{c}}$ - tangenciálny tlak na čelo zubu [MPa],
 p_f - tangenciálny rezný tlak v závislosti na trení pilín [MPa],
 e - výška reznej medzery [mm],
 k_d - koeficient vplyvu druhu dreviny [-],
 k_w - koeficient vplyvu druhu vlhkosti [-],
 k_s - koeficient stavu dreviny [-]

$$F_{cz} = \left[2,48 \cdot 5,326 \cdot 6,9 \cdot 5,5 + 0,478 \cdot 5,5 \cdot \left(24,748 + \frac{0,249 \cdot 150}{6,9} \right) \right] \cdot 0,95 \cdot 1,08 \cdot 1$$

$$F_{cz} = 616,414 \text{ N}$$

Počas rezného procesu zaberá v obrobku viac zubov, preto je sila ktorou pílový kotúč počas jednej otáčky pôsobí na obrobok F_c vyjadrená vzťahom:

$$F_c = F_{cz} + \frac{l_k}{t_z} \quad (2.7)$$

- kde: F_{cz} - rezná sila pôsobiaca na zub [N],
 l_k - dĺžka kontaktného oblúka [mm],
 t_z - veľkosť medzizubovej medzery [mm].

$$F_c = 616,414 + \frac{215,285}{74,915} = 619,288 \text{ N}$$

Výsledný rezný výkon je vypočítaný podľa vzťahu:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{1000} \quad (2.8)$$

- kde: F_c - rezná sila [N],
 v_c - rezná rýchlosť [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{1000} = \frac{619,288 \cdot 64,926}{1000} = 40,207 \text{ kW}$$

Pre šesť kotúčov v zábere sa potrebný výkon elektromotora následne spočíta podľa vzťahu:

$$P_{el} = \frac{P_c \cdot i}{\eta} \quad (2.9)$$

kde: P_c - Rezný výkon [kW],
 i - počet pílových kotúčov [-].

$$P_{el} = \frac{40,207 \cdot 6}{0,9} = 268,046 \text{ kW}$$

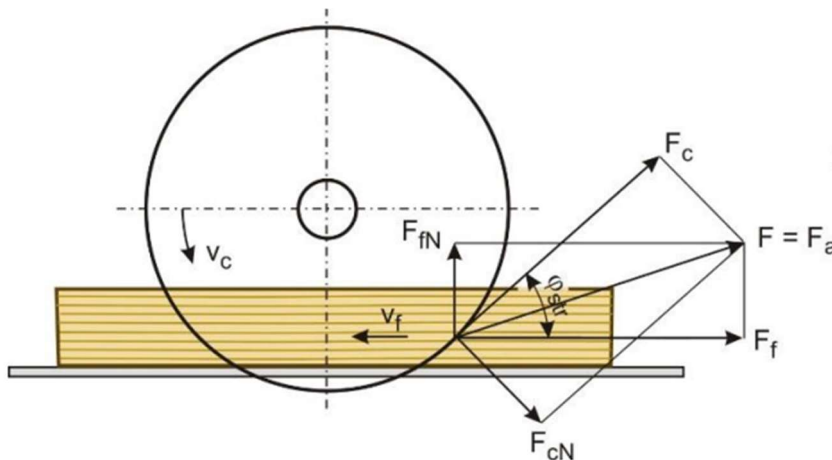
Z výpočtov vyšlo, že na splnenie požiadaviek kladených na kotúčovú rozmietáciu pílu by mal elektromotor dosahovať výkon 268 kW. Táto hodnota približne odpovedá pôvodným odhadom. Ďalej sa vypracovala silová analýza sústavy nástroj – obrobok.

$$F_{cN} = \frac{l_s \cdot l_k}{t_z} \left[0,5 \cdot k_{rn}^2 \cdot (k_{rn} - 0,8) \cdot F'_{ef} - (h_{Dstr} - 0,1) \cdot \left(p_{\check{c}} + \frac{p_f \cdot e}{b_s} \right) \cdot tg(90 - \gamma - \varphi_k) \right] \quad (2.10)$$

kde: l_s - šírka reznej hrany zuba [mm],
 l_k - dĺžka kontaktného oblúka [mm],
 k_{rn} - parameter opotrebovania reznej hrany zuba [-],
 F'_{ef} - fiktívna rezná sila na jednotku dĺžky [$N \cdot mm^{-1}$],
 h_{Dstr} - nominálna stredná hrúbka triesky [mm]
 $p_{\check{c}}$ - tangenciálny tlak na čelo zuba [MPa],
 p_f - tangenciálny rezný tlak v závislosti na trení pilín [MPa],
 e - výška reznej medzery [mm],
 b_s - šírka reznej medzery [mm]
 μ - uhol čela [°]
 φ_k - veľkosť kontaktného uhla

$$F_{cN} = \frac{5,5 \cdot 215,285}{74,915} \left[0,5 \cdot 2,406^2 \cdot (2,406 - 0,8) \cdot 5,326 - (0,478 - 0,1) \cdot \left(24,748 + \frac{0,249 \cdot 150}{6,9} \right) \cdot tg(90 - 20 - 39,79) \right]$$

$$F_{cN} = 283,032 \text{ N}$$



Obr. 46 Rozloženie síl na reznej hrane [10]

Sily odporu proti posuvu v smere X sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\begin{aligned}F_f &= \sum F_c = F_c \cdot \cos(\varphi_{kstr}) + F_{cN} \cdot \sin(\varphi_{kstr}) \\F_f &= \sum F_c = 597,873 \cdot \cos(45,310) + 283,032 \cdot \sin(45,310) \\F_f &= 621,680\end{aligned}$$

Normálová zložka sa dopočíta podľa vzťahu:

$$\begin{aligned}F_{fN} &= \sum F_{cN} = F_{cN} \cdot \sin(\varphi_{kstr}) - F_{cN} \cdot \cos(\varphi_{kstr}) \\F_{fN} &= \sum F_{cN} = 283,032 \cdot \sin(45,310) - 283,032 \cdot \cos(45,310) \\F_{fN} &= 245,537 \text{ N}\end{aligned}$$

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Hlavným cieľom praktickej časti bolo zistiť ktoré premenné majú vplyv na nízku produktivitu rozmetacej píly. Výpočtami bolo zistené, že na splnenie požiadaviek ktoré má firma na stroj je nutné zmeniť rezný nástroj a zvýšiť výkon pohonnej jednotky. Ďalej je potrebné spočítať

Zmena typu pílového kotúča predstavuje z hľadiska ceny rezného nástroja pre podnik zanedbateľný rozdiel. Rozdiel v rozmerových presnostiach a v kvalite povrchu obrobkov je však markantný. Firemná brúsiareň je vybavená multifunkčnou brúskou Vollmer CHD 270 ktorá dokáže naostriť ako stelitové zuby, tak aj zuby s doštičkami zo SK. Po uvážení týchto dôvodov sú oveľa vhodnejšou voľbou 26zubové pílové kotúče s SK doštičkami.

Už na prvý pohľad vidno, že po zvýšení výkonu elektromotora na 250 kW a použití vhodného nástroja, rýchlosť posuvu rapídne stúpla. S rýchlosťou posuvu rastie aj produktivita.

Tabuľka 18 Porovnanie produktivity pre rôzne výkonné elektromotory

Výkon elektromotora	Porez za smenu (8 hodín)	Porez za deň (2 smeny)	Porez za mesiac (21 pracovných dní)
200 kW	62 m ³	124 m ³	2 604 m ³
250 kW	100 m ³	200 m ³	4 200 m ³

Tabuľka 19 Náklady pred optimalizáciou a po optimalizácii

Výrobné parametre, výrobné náklady pred/po optimalizácii		
	Pred optimalizáciou	Po optimalizácii
Pílový kotúč	36 zubov, Stelit	26 zubov, SK doštičky
Rýchlosť posuvu	19,4 m.s ⁻¹	35 m.s ⁻¹
Výkon elektromotora	200 kW	250 kW
Spotreba energie	17 500 €	18 000 €
Cena elektromotora	-	30 300 €
Cena montáže	-	2000 €
Objem reziva za mesiac	2 280 m ³	4 200 m ³
Fixné náklady		
Mzdy zamestnancov	7 operátorov × 1 600 € × 2 smeny = 22 400 €	
PHM	1 000 €	
Náhradné diely	6 000 €	

Aby sa rozhodlo či je výhodné do kúpy silnejšieho elektromotora investovať, spočíta sa návratnosť tejto investície. Spočítajú sa celkové mesačné náklady výrobnéj linky. Silnejší motor má o čosi väčšiu spotrebu avšak za rovnaký čas vyprodukuje väčší objem reziva. Mesačné náklady sa podelia množstvom kubických metrov reziva ktoré sú na linke obrobené. Týmto spôsobom sa získa cena výroby jedného metra kubického reziva. Návratnosť investície je závislá na rozdieli týchto dvoch cien. Tento rozdiel určuje o koľko lacnejšia bude výroba jedného metra kubického reziva. Doba návratnosti sa získa podielom ceny stroja:

- Výpočet ceny výroby 1 m³ reziva s použitím 200 kW motora:

$$n_{200\text{ kW}} = \frac{46\,900}{2\,604} = 18,01 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

- Výpočet ceny výroby 1 m³ reziva s použitím 250 kW motora:

$$n_{250\text{ kW}} = \frac{47\,400}{4\,200} = 11,29 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

- Úspora pri výrobe 1 m³ reziva pri investícii do 250 kW motora:

$$n_r = n_{200\text{ kW}} - n_{250\text{ kW}} = 18,01 - 11,29 = 6,72 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

- Objem reziva, pri ktorom úspora pokryje náklady na nákup, montáž a prevádzku:

$$\frac{30\,300 + 2000}{6,72} = 4806 \text{ m}^3$$

- Čas, za ktorý k návratu investície dôjde:

$$\frac{4806}{100} \approx 49 \text{ smien} \approx 25 \text{ pracovných dní}$$

Výpočtom bolo zistené, že úspora ktorú stroj vytvorí, pokryje nákupnú cenu stroja za približne 25 dní. Táto nízka doba návratnosti presvedčila vedenie podniku, že zakúpenie 250 kW motora bude výhodnou investíciou.

ZÁVĚR

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce bolo zistenie príčiny, kvôli ktorej bola maximálna nastaviteľná rýchlosť posuvu na kotúčovej rozmietačej píle drevospracujúceho závodu príliš nízka. Nízky posuv spôsoboval, že produktivita tohoto stroja bola v porovnaní s jej potenciálom veľmi malá. Po analyzovaní problému bolo nutné navrhnúť riešenie. Pri požadovaných rýchlostiach posuvu bolo odpozorované, že na pílových kotúčoch, ktoré dodávateľ stroja odporučil, dochádzalo k strate dynamickej stability. Kotúče tak znehodnocovali rezivo nepravidelným rezom a aj samy o sebe boli trvalo poškodené. Bolo odpozorované, že to spôsobuje nedostatočný odvod triesky z miesta rezu. Pilina vznikajúca v reze zapĺňala zubové medzery a vznikajúce trenie neúmerne zahrievalo kotúč. Z tohoto dôvodu bolo matematickým modelom optimalizácie kotúčovej píly spočítané, pri akej maximálnej rýchlosti posuvu je možné stroj udržať v prevádzke. Výpočtami bolo zistené, že maximálna rýchlosť posuvu je 19,4 m.min⁻¹. Táto hodnota bola s ohľadom na produktivitu neakceptovateľná. Z tohoto dôvodu firma nakúpila dva ďalšie typy kotúčov a experimentovala s rozmerovou presnosťou obrobkov pri ich implementácii do výroby. Všetky tri typy kotúčov boli uvedené do prevádzky s rovnakými vstupnými podmienkami. Sledovalo sa, ktorý typ pílového kotúča bude dosahovať najmenšie rozmerové odchýlky. Najpresnejšie kusy reziva dokázali vyrobiť 26 zubové kotúče s reznými hranami s doštičkami zo SK.

Aby firma dosiahla požadovanú rýchlosť posuvu, zvýšiť výkon pohonnej jednotky. Výpočtami bolo určené že nový elektromotor by mal mať výkon 268 kW. Maximálny výkon na aký je kotúčová rozmietačia píla dimenzovaná je 250 kW. Na motor o takomto výkone si dala firma spraviť cenovú ponuku. Výpočtom návratnosti sa zistilo, že pri cene 30 300 € je vďaka zníženiu nákladov novým motorom doba návratnosti len 25 dní. Pre firmu sa tak jedná o veľmi výhodnú investíciu a nový motor si objednala.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GANDELOVÁ, Libuše a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. *Stavba dřeva*. 1. Brno: Mendelova univerzita, 2014. ISBN 978-80-7375-966-7.
- [2] BALABÁN, Karel. *Anatomie dřeva: 1. část - Náuka o dřevě*. 1. Praha: SZN - Státní zemědělské nakladatelství, 1955. ISBN 30.
- [3] POŽGAJ, A. – CHOVANEC, D. – KURJATKO, S. – BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydanie Bratislava. 1997, 485 s. ISBN 80-07-00960-4.
- [4] GANDELOVÁ, Libuše a Petr HORÁČEK. *Nauka o dřevě*. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-715-7577-1.
- [5] LOKAJ, Antonín. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
- [6] Bc. Simona Kolláriková *Stavební průzkum a hodnocení stavu konstrukce*. Brno, 2021. 96 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. *Vedoucí práce Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.*
- [7] ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. *Stavba dřeva: (cvičení)*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-168-5.
- [8] HEŘMÁNKOVÁ, Věra. *Dřevo, dřevěné výrobky a konstrukce: Podklady předmětu BL01 - stavební látky*. Brno, 2016. B.r.
- [9] ADÁMEK, Jiří. *Vlastnosti a zkoušení stavebních materiálů*. 1. Brno: CERM, 1995. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0609-7.
- [10] SIKLIENKA, Mikuláš, Ján ŠUSTEK a Andrej JANKECH. *Delenie a obrábanie dreva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2017. ISBN 978-80-228-2845-1.
- [11] *STN ISO 7984: Drevospracujúce zariadenia. Technická klasifikácia strojov a zariadení na spracovanie dreva a pomocných zariadení na spracovanie dreva*. 1995.
- [12] JANÍČEK, František. *Strojnictví: stroje a zařízení pro zpracování dřeva : [pro studijní obory zpracování dřeva na SOŠ]*. Praha: Sobotáles, 1996. ISBN 80-859-2018-2.
- [13] Detvaj, J.: *Technológia piliarskej výroby, Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, Katedra mechanickej technológie dreva, skriptum, 2009, ISBN 978-80-228-2076-9*.
- [14] LISIČAN, Jozef. *Teória a technika spracovania dreva*. Zvolen: MATCENTRUM, 1996. ISBN 80-967-3156-4.

- [15] MIKOLAŠÍK, Ľudovít. *Drevárske stroje a zariadenia. 1. vyd.* Bratislava: Alfa - Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1981.
- [16] JAVOREK, Ľubomír. *Nástroje. Vo Zvolene: Technická univerzita, 2006. ISBN 978-80-228-1714-1.*
- [17] PROKEŠ, S. *Snižovanie hluku v drevospracujúcim priemysle. 1. vyd.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [18] SKLENKA, Jozef. *Pílenie na kotúčovej pile. Zvolen, 2013. Bakalárska práca. Technická univerzita vo Zvolene. Vedoucí práce Javorek, Ľubomír.*
- [19] Katalog - Nástroje na drevo. Praha: *PILANA TOOLS* a.s., 2008.
- [20] SIKLIENKA, M., KMINIAK, R. *2013/a. Delenie a obrábanie dreva. 1 vyd. Zolen: TU vo Zvolene. 207 s. ISBN 978-80-228-2618-1.*
- [21] STN ISO 3002/1 *Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení. Časť 1: Geometria aktívnej časti rezných nástrojov. Základné termíny, súradnicové sústavy, nástrojové a pracovné uhly, lamače triesky: Slovenský metrologický ústav, 1993.*
- [22] PALMQVIST, J. *Parallel and normal cutting forces in peripheral milling of wood. Holz als Roh- und Werkstoff[online]. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 0312n. l., 61(6), 409-415 [cit. 2022-04-22]. DOI: 10.1007/s00107-003-0427-0. ISSN 0018-3768.*
- [23] *Vybavení CNC obráběcích center dřevoobráběcími nástroji. MM Průmyslové spektrum. Industria Press: MM publishing, 2003, (10), 36. DOI: 031026.*
- [24] VIKTORIN, Zbyněk. *Teorie sušení řeziva: Technická příručka pro dřevařské technology, sušárenské techniky a provozovatele sušáren. Praha, 2010.*
- [25] VIKTORIN, Zbyněk a Jiří KOUKAL. *Teorie sušení řeziva. 1. Praha: KATRES spol s r.o., 2001.*
- [26] TREBULA, P. a I. KLEMENT. *Sušenie a hydrotermická úprava dreva. II. vydanie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. ISBN 80-228-1421-0.*
- [27] *Graf rovnovážné vlhkosti. In: Bronetius [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: http://www.bronetius.cz/graf_rovnovane_vlhkosti.html*
- [28] REGINÁČ, L. *Náuka o dreve II. 1. vyd. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska vo Zvolene v editačnom stredisku, 1990. ISBN 80-228-0062-7.*
- [29] HEŘMÁNKOVÁ, Věra. *Stavební látky: drevo. VUT v Brně, FAST: Výukový materiál predmetu BI001 Stavební látky, VUT v Brně FAST, 2020.*
- [30] *Circular Resaws/Ripsaws: Series SGL. Dürmentingen Germany: Maschinenfabrik GmbH & Co. KG, 2018.*

[31] Edging and Ripping Systems. Dürmentingen, *Germany*: *Maschinenfabrik* GmbH & Co. KG, 2018.