



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО
СКОПЈЕ**

**ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ НА МЕБЕЛ И
ЕНТЕРИЕР**



Дамјан Милан Станојевиќ

**ВЛИЈАНИЕ НА РЕЖИМИТЕ НА ОБРАБОТКА ВРЗ
КВАЛИТЕТОТ НА РЕЗНАТА ПОВРШИНА ПРИ РЕЖЕЊЕ СО
КРУЖНА ПИЛА**

Докторски труд

Скопје, 2025.



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО
СКОПЈЕ**
**ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ НА МЕБЕЛ И
ЕНТЕРИЕР**



Дамјан Милан Станојевиќ

**ВЛИЈАНИЕ НА РЕЖИМИТЕ НА ОБРАБОТКА ВРЗ
КВАЛИТЕТОТ НА РЕЗНАТА ПОВРШИНА ПРИ РЕЖЕЊЕ СО
КРУЖНА ПИЛА**

Докторски труд

Скопје, 2025.

Докторанд:

ДАМЈАН МИЛАН СТАНОЈЕВИЌ

Тема:

ВЛИЈАНИЕ НА РЕЖИМИТЕ НА ОБРАБОТКА ВРЗ КВАЛИТЕТОТ НА РЕЗНАТА ПОВРШИНА ПРИ РЕЖЕЊЕ
СО КРУЖНА ПИЛА

Ментор:

Проф.д-р Зоран Трпоски,

Универзитет „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ во Скопје

Факултет за дизајн на мебел и ентериер

Комисија за одбрана:

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ (претседател)

Установа од која доаѓа

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ,

Установа од која доаѓа

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ,

Установа од која доаѓа

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ,

Установа од која доаѓа

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ,

Установа од која доаѓа

Научна област:

СООДВЕТНА НАУЧНА ОБЛАСТ

Датум на одбрана:

(Ако датумот не е утврден, се додава дополнително рачно)

Дамјан Милан Станојевиќ

ВЛИЈАНИЕ НА РЕЖИМИТЕ НА ОБРАБОТКА ВРЗ КВАЛИТЕТОТ НА РЕЗНАТА ПОВРШИНА ПРИ РЕЖЕЊЕ СО КРУЖНА ПИЛА

– Апстракт –

Во оваа докторска теза беа спроведени одредени истражувања поврзани со испитувањето на влијанието на режимот на обработка врз квалитетот на обработената површина при режење на буково дрво на кружна пила. Истражувањето е извршено при надолжно режење на буково дрво со кружна пила. Главната цел на истражувањето е да се прикаже влијанието на различните начини на обработка со режење од аспект на добиениот квалитет на режењето и потрошувачката на енергија за режење. Главната цел на ова истражување е да се прикаже, опише и анализира корелацијата помеѓу влезните фактори, со што се постигнува бараниот квалитет на обработка со оптимална потрошувачка на моќноста за режење. Е многу важно да се одреди корелацијата помеѓу избраните влијателни фактори (брзина на помошно движење, големина на истуреност на кружната пила) од една страна и моќноста на режење и квалитетот на обработената површина од друга страна. Елементите на обработката на режењето кои беа разгледани во дисертацијата се брзината на помошното движење и истуреноста на алатот во однос на предметот на обработка. Елементите врз основа на кои е оценето влијанието на режимот на обработка се моќноста на режење, акустичната емисија и квалитетот на резната површина (рапавоста и точноста на обработката). Воспоставени се начини на надолжна обработка на буковото дрво со режење, при што имаше три големини на брзината на поместување и три големини на истуреност на алатот над објектот за обработка, со постојана брзина на режење. Направени се мерења на соодветни уреди, а врз основа на резултатите се донесени одредени заклучоци. Истражувањето е фокусирано на развој на модел за анализа и предвидување на моќноста на режење, како и квалитетот на режењето при надолжно режење, следејќи ја хипотезата дека различните влијателни параметри за обработка ќе предизвикаат различна моќност на режење, различен интензитет на акустична емисија, како и различен квалитет на обработената површина при константна брзина на главната движење кружни пили.

Клучни зборови: Квалитет на површина, буково дрво, пила, кружна пила, моќност на режење

Благодарност – Неизмерна благодарност му должам на мојот ментор професор д-р Зоран Трпоски, кој секогаш веруваше во мене. Ви благодариме за вашата несебична помош, доверба, инспиративни разговори, трпение и постојана поддршка при изработката на оваа докторска дисертација. Ти благодарам што ме охрабруваше и често ме критикуваше за мојот напредок.

Многу сум благодарен за сугестиите и стручната помош на сите членови на Комисијата за одбрана на докторската дисертација.

Посебна благодарност ѝ должам на студентската служба предводена од Анастасија Темелкова.

Им благодарам на моите родители за нивната храброст, охрабрување и влевање сила и волја.

Благодарам на моето семејство за разбирањето на нервозата во одредени ситуации, имаше и такви моменти.

Изјавувам дека докторскиот труд е оригинален труд што го имам изработено самостојно.

Своерачен потпис на докторандот
(на електронската верзија потпис и скратеницата с.р.)

(на електронската верзија на докторски труд)

Изјавувам дека електронската верзија на докторскиот труд е идентична со отпечатениот докторски труд.

Потпис на авторот, с.р

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД	13
2. ПРЕДМЕТ И ЦЕЛ НА ТРУДОТ.....	15
2.1. Целта на истражувањето и очекуваните резултати.....	16
2.2. Хипотези	17
3. ТЕОРЕТСКА ОСНОВА.....	18
3.1. Структура на дрвото.....	18
3.1.1. Макроскопска структура на буково дрво.....	19
3.1.2. Микроскопска структура на буково дрво.....	21
3.1.3. Својства на дрвото важни за режење.....	22
3.2. Механичка обработка на дрвото.....	24
3.2.1. Основи на теоријата на режење.....	25
3.2.1.1. Основна геометрија на острицата.....	26
3.2.1.2. Почетно острење и затапување на острицата.....	29
3.2.1.3. Форми на затапување.....	32
3.2.1.4. Основни видови на режење.....	34
3.2.2. Формирање на струготини за време на режењето	36
3.2.2.1. Формирање на струготини при надолжно режење.....	37
3.2.3. Теорија на сложено режење.....	38
3.2.4. Параметри на процесот на сложено режење	
– режење со кружна пила.....	39
3.2.5. Кинематика на режење.....	39
3.3. Квалитет на површината.....	41
3.3.1. Рапавоста на површината	43
3.4. Претходни истражувања	46
3.4.1. Процес на режење на дрвото.....	46
3.4.2. Брзина на поместува.....	47
3.4.3. Алат (геометрија, истуреност, абење).....	50
4. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО.....	52

4.1.	Избор на суровини и производство на епрувети за испитување на физичките својства	54
4.1.1.	Испитување и анализа на физичките својства	56
4.2.	Експериментални мерења	62
4.2.1.	Мерење на абегето на алатот	63
4.2.2.	Мерење на моќноста на режење	66
4.2.3.	Мерење на акустичната емисија	67
4.2.4.	Мерење на рапавоста на резната површина	69
4.2.5.	Мерење на точноста на обработката	70
5.	РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИСТРАЖУВАЊЕТО	71
5.1.	Својства на дрвото	71
5.1.1.	Физички својства на целосниот примерок	71
5.1.2.	Избор на примерокот за истражување	73
5.2.	Мерење на затапеноста на алатот	74
5.2.1.	Резултати од мерењето на затапеноста на алатот	74
5.3.	Мерење на моќноста на режење при режење со кружна пила	74
5.3.1.	Резултати од мерењето на моќноста на режење за време на режењето со кружна пила	74
5.3.2.	Анализа на резултатите од мерењето на моќноста на режење при режење со кружна пила	78
5.4.	Мерење на акустична емисија	79
5.4.1.	Резултати од мерењето на акустичните емисии	80
5.4.2.	Анализа на резултатите од мерењето на акустична емисија	81
5.5.	Мерење на рапавоста на обработената површина	81
5.5.1.	Резултатите од мерењето на рапавоста на обработената површина	81
5.5.2.	Анализа на резултатите од мерењата на рапавоста на обработената површина	85
5.6.	Мерење на точноста на обработената површина	87
5.6.1.	Резултатите од мерењето на точноста на обработената површина	87
5.6.2.	Анализа на резултатите од мерењата на точноста на	

обработената површина	88
5.7. Анализа на влијанието на брзината на помошното движење и висината на режењето врз моќноста на режењето	88
6. ДИСКУСИЈА	89
7. ЗАКЛУЧОЦИ	91
8. ЛИТЕРАТУРА.....	95
БИОГРАФИЈА НА АВТОРОТ.....	99

ЛИСТА НА СЛИКИ

Слика 3.1: Структура на дрвото.....	19
Слика 3.2: Основни пресеци во дрвото: попречни, радијални и тангенцијални...	20
Слика 3.3: Трахеален распоред на пресек од буково дрво	21
Слика 3.4: Механички елементи во буково дрво	22
Слика 3.5: Методи на механичка обработка на дрво, (Csanady, Magoss, 2013) ...	25
Слика 3.6: Основни елементи на елементарното острица	27
Слика 3.7: Приказ на аглите што се користат за дефинирање на геометријата на острицата	28
Слика 3.8: Формирање на површината за режење, (Goglia, 1994)	29
Слика 3.9: Идеален и вистински раб на острицата (Goglia, 1994.)	30
Слика 3.10: Типична крива на абеење на алатот (Goglia, 1994.)	31
Слика 3.11: Абеење на задната површина (Goglia, 1994.)	32
Слика 3.12: Форми на отапување на предната површината: а) полирање на предната површина и б) појава на кратери на површината ...	33
Слика 3.13: Абеење на острицата на алатот во форма на зголемување на радиусот на заоблување рабовите на алатот и можните начини за прикажување на затапеноста на алатот	33
Слика 3.14: Надолжно режење дрво	34
Слика 3.15: Попречно режење дрво	35
Слика 3.16: Тангенцијално режење на дрвото	35
Слика 3.17: Формирање на струготина за различни насоки на режење: а) по должината низ дрвните влакна, б) попречно на дрвните влакна, в) по должината од дрвните влакна, г) паралелно со дрвните влакна, (Porankiewicz, Goli, 2014)	36
Слика 3.18 Форми на струготини при надолжно режење: а-спирална струготина, б-искршена струготина, ц-деформирана струготина, (Извор: Кршљак, 2002)	37
Слика 3.19: Сложено режење со праволиниско движење на алатот; а) полузатворено режење: 1 – главна површина за режење, 2 – странична површина и б) затворено режење: 1 – главна површина за режење, 2 – странични површини	

на режење	38
Слика 3.20: Кружно режење со ротирачко острица	
а) надолжен пресек, б) пресек (Зубчевић, 1988)	39
Слика 3.21: Шематски приказ на противсмерно режење со кружна пила	
а) оската на алатот над работното парче, б) оската на алатот под работното парче	40
Слика 3.22: Шематски приказ на истосмерно режење со кружна пила	
а) оската на алатот над работното парче, б) оската на алатот под работното парче	40
Слика 3.23: Кинематика на режење со кружна пила (Кршљак, 2000)	41
Слика 3.24: Поделба на одредени видови отстапувања во системот „М“:	
а – комплексен површински профил со сите видови отстапувања,	
б – рапавост претставена со делови од профилот l 1, с – брановидност претставена со делови од профилот l 2, d – отстапување на формата за	
вкупната должина на профилот l 3, (Јаић, Живановић-Трбојевић, 2000)	45
Слика 3.25: Зависност на моќноста на режење од брзината на режење	
за време на рамнење на канадска топола	48
Слика 3.26: Зависност на моќта на режење од брзината на помошното движење	
при рамнење на канадска топола	48
Слика 3.27: Средно аритметичко отстапување на профилот R a и максимум	
висина на профилот Rz при помошни брзини на движење од 2,5 m/min и 15 m/min	50
Слика 4.1: План за истражување	53
Слика 4.2: Постапка за изработка на епрувети потребни за истражување	55
Слика 4.3: Букови штици на кои се испитувани физичките својства	55
Слика 4.4: Епрувети за испитување на физичките својства	56
Слика 4.5: Мерни епрувети за пресметување на влажноста и густината	57
Слика 4.6: Влажност на штиците во [%]	61
Слика 4.7: Густина на штиците во [g/cm ³]	61
Слика 4.8: Заби на кружна пила	63
Слика 4.9: Мерење на затапеноста на алатот со помош на дигитален	
микроскоп	64
Слика 4.10: Приказ на острицата на екранот на компјутерот	64
Слика 4.11: Сечилата со квантифицирана алатка се отапуват TW1	65

Слика 4.12: Картичка за аквизиција	66
Слика 4.13: Приказ на екран на снимени податоци	67
Слика 4.14: Приказ на екран за мерење на акустична емисија	67
Слика 4.15: Хоризонтално и вертикално растојание на микрофонот	68
Слика 4.16: Движење на акустичната емисија кога машината е во мирување	68
Слика 4.17: Движење на звучната емисија за брзината на поможното движење u_2 и истуреност на алатот h_1	69
Слика 4.18: Мерач на рапавост Timesurf TR200.....	69
Слика 4.19: Епрувети за мерење на рапавост	70
Слика 4.20: Измерена средна ширина на резот	70
Слика 5.1: Епрувети за испитување на физичките својства	72
Слика 5.2: Распределба на добиените резултати од мерењето на влажноста на тестираните примероци	72
Слика 5.3: Распределбата на добиените резултати од мерење на густината на испитуваните примероци од букови штици	73
Слика 5.4: Дијаграм на движење на просечна вредност на моќноста на режење во зависност од режимот на обработка	78
Слика 5.5: Дијаграам на движење на стандардното отстапување на моќноста на режење	79
Слика 5.6: Просечна вредност на рапавоста во зависност од режимот на обработка и затапеноста на алатот	85
Слика 5.7: Стандардна девијација на рапавоста во зависност од режимот на обработка и затапеноста на алатот	86
Слика 5.8: Просечната вредност на ширината на резот според режимите на обработка	88
Слика 5.9: Влијанието на брзината на помошното движење и големината на истуреноста на алатот на моќноста на режење	88

СПИСОК НА ТАБЕЛИ

Табела 3.1: Видови на отстапување на вистинската површина од идеалната површина (DIN 4760).....	42
Табела 4.1: Добиени вредности на влажност и густина на епруветите	58
Табела 4.2: Распоред на режими на обработка по работни ставки	65
Табела 5.1: Својства на штиците избрани за анализа	73
Табела 5.2: Вредности на абење на алатот	74
Табела 5.3: Резултати од моќноста на режењето	75
Табела 5.4: Резултати од моќноста на режењето	77
Табела 5.5: АП резултати за различни брзини на помошно движење и различни големини на истуреност на алатот	80
Табела 5.6: Големината на рапавоста на резната површина на TW1 во зависност од режимот на обработка	82
Табела 5.7: Големината на рапавоста на резната површина на TW2 во зависност од режимот на обработка	83
Табела 5.8: Средни вредности на параметарот на рапавост обработени површини Ra на степен на затапеност TW1.....	84
Табела 5.9: Средни вредности на параметарот на рапавост обработени површини Ra на степен на затапување TW2.....	84
Табела 5.10: Средни вредности на ширината на резот	87

1. ВОВЕД

Дрвото како материјал е многу погодно за внатрешна и надворешна декорација. Лесно се обликува со релативно мала потрошувачка на енергија. Има ниска звучна, топлинска и електрична спроводливост и висока отпорност на хемиски супстанции.

На Балканскиот Полуостров има околу 20 видови дрвја од индустриско значење, од кои само неколку се поважни. Најважни домашни видови дрвја се: бука, даб, смрча, ела и бор.

Буката (*fagus sylvatica* L.) е најраспространет дрвен вид во нашиот регион, а нејзината висинска распространетост е од 750 до 1540 метри надморска височина. Буковото дрво добро се обработува рачно и механички. Оптималната брзина на режење е околу 30 m/s (www.kolibica.com). Буковото дрво добро се пари и во процесот ја менува својата боја во црвеникава, добро се лепи, бруси, дупчи, витка, лупи и се обработува површински. Буковото дрво има многу широко поле на употреба и се користи за ниска и високоградба, за скали, за мебел, фурнир, паркет, за производство на иверки, потоа за производство на иверица, ламинирано и свиткано дрво и слично.

Режењето е процес на преработка на дрво со нарушување на врската помеѓу влакната по дадена траекторија на острицата. Обработката на дрвото со режење се врши со и без отстранување на струготини. Со отстранување на струготини дрвото се обработува со: бичење, режење, рамнење, глодање, дупчење, стругање, лупење, токарење, длабење и брусење. Без формирање на струготини, дрвото се обработува: со отсекување, просекување и пробивање (Кршљак, 1996). Процесот на режење дрво е составен од четири неразделни единици (Марко и Холик, 2000). Првиот е работното парче (тип на дрво, влажност, густина, температура, димензии, тврдина итн.). Втората единица се состои од условите за режење (тие претставуваат збир на фактори кои директно влијаат на работното парче, алатот и уредот и се неопходни за изведување на процесот на режење). Третата единица е механизмот за режење (главно движење, помошното движење, силите на режење, перформанси на моторот итн.). Четвртата единица е претставена со алатот (број на острици, видот на материјалот, геометрија на алатот итн.). Познавањето на секој од овие потсистеми придонесува за намалување на трошоците за производство и заштеда на енергија (Kovač, 2010).

Во пракса најважно е да се постигне резултат, а исто така многу е важно целиот технолошки процес на обработка на дрвото да се врши со најмали можни трошоци. Голем дел од овие трошоци е потрошувачката на енергија за режење. Постојат многу фактори кои влијаат врз потрошувачката на енергија. Тоа се: материјалот што се обработува, материјалот од кој е направен алатот, геометријата на алатот, брзината на главната движење, брзината на поместување итн.

Квалитетот на обработка се смета за еден од значајните ограничувачки параметри за максимизирање на перформансите на машините за обработка на дрво. Без разлика на видот на обработката и неговото совршенство, не е можно да се создаде детал така што тој „идеално“ одговара на димензиите означени на соодветниот цртеж. Новосоздадените површини при режење дрво никогаш не се совршено мазни, без разлика дали се рамни или закривени. Критериуми кои го карактеризираат квалитетот на обработената површина се

површинската рапавост, брановидност, точност на обработка и ресавост. Причините за рапавоста се главно следниве:

- ✓ траги за обработка на алат,
- ✓ нерамномерност од заостанати деформации на дрвото,
- ✓ траги од вибрации на машината, алатот и работното парче,
- ✓ режими на режење,
- ✓ затапеноста на острицата на алатот,
- ✓ насока на режење во однос на насоката на протегање на дрвните влакна и
- ✓ физичките и механичките својства на дрвото, особено волумната маса.

Подоброто познавање на процесот на режење во голема мера влијае на подобрување на квалитетот на обработената површина, прецизноста на обработката, економичноста и продуктивноста. Квалитетот на обработената површина, точноста на обработката и потрошувачката на енергија претставуваат постојан предизвик во истражувањето на проблематиката на алатите за режење со цел да се постигне нивниот оптимален сооднос. Голем број влијателни фактори и нивните интеракции се присутни во секој процес на обработка, па затоа е исклучително тешко теоретски со сигурност да се одредат оптималните параметри. Поради оваа причина, примената на експериментите и анализата на така добиените резултати се неопходни во развојот на нови и подобрување на постоечките процеси и системи на обработка. Во голем број на експерименти, се забележува врска помеѓу две или повеќе променливи. Со формирање на соодветен математички модел може да се дефинира влијанието на независните фактори врз зависните променливи, односно да се одредат вредностите на параметрите што фигурираат во математичкиот модел. Моделот може да определи на различни начини, но основниот критериум за евалуација на моделот е колку адекватно ја опишува состојбата на процесот на обработка. Познато е дека експерименталните модели на процесот на обработка најпрецизно ги опишуваат реалните процеси кои важат само во областа на варирачки влезни фактори. Главните цели на моделирањето на процесот на преработка се зголемување на продуктивноста, економичноста, квалитетот на производот, и намалување на потрошувачката на материјали, енергија, времето на обработка и трошоците за обработка по единица производ.

Формата на равенката што ја поврзува зависната променлива (моќноста на режење, рапавоста на обработената површина, точност на обработка) со независно променливи количини (брзина на помошно движење, големина на истуреност на кружната пила, затапеност на алатот) претставува математички модел. Воспоставената зависност ги открива причинско-последичните врски помеѓу променливите и дава можност, во поголема или помала мера, за сигурно предвидување или проценка на зависната променлива.

Структурата на ова дело се состои од девет поглавја кои опфаќаат: вовед, предмет и цел на трудот, теоретски основи, методологија на истражување, резултати и анализа на резултатите од истражувањето, дискусија, заклучоци, литература и на крајот, биографијата на кандидатот со авторско резиме.

2. ПРЕДМЕТ И ЦЕЛ НА ТРУДОТ

Истражувањето планирано како дел од предложената дисертација се однесува на факторите кои влијаат на моќноста на режењето и квалитетот на резната површина. Овие фактори се брзината на поместување, затапеноста на алатот и истуреноста на остриците на кружната пила над деталот. Сепак, не сите од овие фактори имаат подеднакво влијание врз моќноста на режење и квалитетот на режењето. Некои од нив дејствуваат во форма на позитивна, а некои во форма на негативна корелација:

- Брзината на поместот влијае на тој начин што со нејзиното зголемување доаѓа до зголемување на моќноста на режење, а од друга страна се намалува квалитетот на режењето.
- Затапеноста на алатот влијае на тој начин што со неговото зголемување се зголемува моќноста на режење, додека квалитетот на режењето се намалува. Бидејќи за режење ќе се користи една пила со 24 заби, затапеноста на алатот ќе се контролира на четири заби кои се подеднакво распоредени.
- И, конечно, големината на истуреноста влијае така што со зголемување на големината на истуреноста на остриците се јавуваат поголеми амплитуди на вибрации на остриците од пилата, а со тоа и зголемување на рапавоста на резната површина (намалување на квалитет). Од друга страна, зголемувањето на истуреноста на пилата до 35 mm ја зголемува моќноста на режење, а со дополнително зголемување (над 35 mm) моќноста на режење се намалува (Mikulaš and Luboš, 2006.).

Проблемот е и квантификацијата на затапеноста на алатот, како и квантификацијата на ефектот на секој поединечен фактор врз силата на режењето, рапавоста на површината и прецизноста на обработката.

Предмет на докторската дисертација е влијанието на брзината на движење, големината на истуреноста на кружната пила над обработуваното парче и затапеноста на кружната пила врз силата на режење и квалитетот на обработената површина при режење на бука (*Fagus silvatica* L.) со кружна пила. Излезните критериуми кои ќе бидат разгледани во оваа дисертација ќе бидат квалитетот на обработената површина (рапавоста на обработената површина и точноста на обработка) и моќноста на режење. Критериуми за влезните т.е. независните променливи ќе бидат брзината на поместот, затапеноста на алатот и вредноста на истуреноста на кружната пила над работното парче.

2.1. Целта на истражувањето и очекувани резултати

Основната цел на ова истражување е да се прикаже, опише и анализира корелацијата помеѓу влезните фактори, со што се постигнува бараниот квалитет на обработка со оптимална потрошувачка на моќност за режење. Многу е важно да се одреди корелацијата помеѓу избраните влијателни фактори (брзина на помошното движење, големината на испакнување на кружната пила, затапеноста на алатот) од една страна и моќноста на режење и квалитетот на обработената површина од друга страна. Исто така, една од целите на истражувањето е резултатите од истражувањето да придонесат за подобро разбирање на режењето на дрво со кружна пила преку изработка на модел за анализа на квалитетот на обработената површина и моќноста на режење. Целта е и да се утврдат реалните можности и ограничувања за добивање на висококвалитетна површина при комбинирање на различни влијателни параметри. Една од целите е да се определи влијанието на влезните параметри (пред се зтапувањето на алатот) врз појавата на принудни вибрации. Се очекува силно влијание на затапеноста на алатот врз појавата на принудни вибрации, а можна е и појава на резонанца (максимална амплитуда на осцилација).

Како што споменавме погоре, типот на механичка обработка што ќе се анализира во дисертацијата е режењето со кружна пила, како еден од најраспространетите видови на обработка во финалната обработка на дрвото.

Се очекува дека анализата на податоците собрани во експериментот ќе покаже кој од трите влијателни фактори (брзина на помошното движење, истуреност на пилата и затапеност на алатот) има најголемо влијание на моќта на режење, како и на квалитетот на обработената површина.

Очекуван научен придонес на дисертацијата:

- Добивање на модел кој ја одредува комбинацијата на влијателни фактори за постигнување на најдобар квалитет на обработка со оптимална потрошувачка на моќност за режење;
- Дефинирање на корелација помеѓу факторите кои влијаат на квалитетот на обработената површина и моќноста на режење;
- Одредување на режим на обработка со цел подобрување на квалитетот на обработената површина.

Овој модел треба да им служи на сите кои се занимаваат со обработка на дрво на таков начин што ќе ја дефинира големината на факторите кои влијаат за да се добие најдобар квалитет на обработената површина со оптимална потрошувачка на енергија. На овој начин, производителите на мебел однапред ќе знаат какви големини на брзина на движење, истуреност и затапеност на алатот треба да ги преземат за да добијат што е можно помала рапавост на површината за обработка, најмала можна брановидност на резната површина, највисока можна точност на обработка со оптимална потрошувачка на моќност за режење. Овој општ модел ќе се воспостави за режење буково дрво на кружна

пила, но за други видови тврдо дрво (даб, јасен, брест, орев, цреша и сл.) потребно е да се добијат потребните коефициенти со експеримент.

2.2. Хипотези

Беа направени следните претпоставки - хипотези кои ќе бидат анализирани во рамките на докторската дисертација, врз основа на добиените резултати од истражувањето:

1. Хипотеза за карактерот на влијанието на затапеноста на алатот врз квалитетот на резната површина и врз моќта на режење;
2. Хипотеза за карактерот на влијанието на брзината на помошното движење и истуреноста на алатот врз акустичната емисија (бучава);
3. Хипотеза за карактерот на влијанието на големината на истуреноста на кружната пила врз квалитетот на резната површина и врз моќноста на режењето;
4. Хипотеза за карактерот на влијанието на брзината на помошното движење врз квалитетот на резната површина и врз моќноста на режењето.

3. ТЕОРЕТСКА ОСНОВА

Од сите материјали кои се обработуваат за човечки потреби, дрвото е едно од најважните. Денес, дрвото како материјал се користи за производство на илјадници различни производи. Затоа мора претходно повеќе или помалку механички да се обработи. Теоријата за обработка на дрво е изведена од теоријата за обработка на метал, која е похомоген материјал. Бидејќи дрвото е ортотропен-анизотропен материјал, покомплексен е за обработка.

Човекот ги користел првите алатки за преработка на дрво уште во старото камено доба, а заедно со развојот на алатите биле развиени и постапки за обработка на дрво и механизирани средства за работа., Првата кружна пила била патентирана во 1776 година (Goglia, 1994). На почетокот на 20 век се забележува зголемување на барањата за квалитетот на материјалите од кои е направен резниот алат, со цел да се зголемат брзините на режење. Пронајден е брзорезен челик кој ги исполнувал тогашните барања. Последниот период е одбележан со зголемена автоматизација на механизираниите средства за работа.

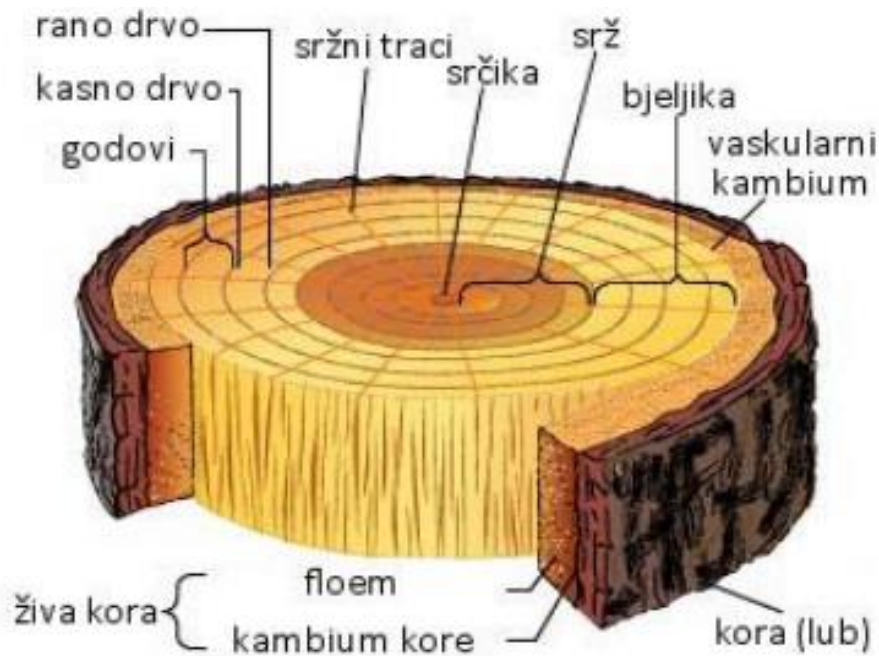
3.1. Структура на дрвото

Структурата на дрвото може да се набљудува со голо око или со лупа, кога зборуваме за макроскопска структура, потоа со микроскоп, кога зборуваме за микроскопска структура и со електронски микроскоп, кога зборуваме за субмикроскопска структура на дрво . За практичните потреби на обработката на дрвото најважно е да се знае макроскопската структура на дрвото. Секое дрво се состои од неговиот надземен дел, кој го сочинуваат стеблото, гранките и лисјата, а неговиот подземен дел - корените. Самиот раст на дрвото може да биде примарен (раст во висина) и секундарен (раст во дебелина). тоа подразбира зголемување на дијаметарот на стеблото, гранките и корените, како и раст во висина, што е поврзано со активноста на меристемското ткиво. Постојат примарни и секундарни меристеми кои се разликуваат, пред сè, во однос на развојот. Примарниот меристем се формира во првата година од животот и е одговорен за формирање на дрво - примарен ксилем и живиот дел од кората - примарен флоем. На крајот на првата година (на крајот на вегетациониот период) помеѓу примарниот ксилем и флоемот се формира секундарен меристем - васкуларен камбиум. Камбијалните меристемски клетки го покриваат стеблото и гранките во форма на мантија, која, кога се гледа на пресекот на дрвото, има облик на прстен, па оттука и името камбијален прстен (слика 3.1). Основната улога на камбиумот е дека неговите клетки се делат во текот на животот на дрвото и формираат секундарен ксилем и секундарен флоем. Во пролетта, камбиумот се активира во две насоки:

- ✓ Во радијална насока, проширување на сопствената обвивка со нови клетки

- ✓ Во тангенцијална насока, со делење на неговите ќелии и создавање дрвна маса и кора.

Добиените клетки го формираат слојот на раната зона во годишниот прстен за раст. Во јули и август, активноста на камбиумот се намалува или целосно престанува. Повторно започнува по есенските дождови. Во овој период во годината се создава зона на доцно дрво.



Слика 3.1. Структура на дрвото ([www. https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/](https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/))

Познавањето на анатомските карактеристики на буковото дрво е многу важно од гледна точка на квалитетот и можноста за користење на дрвото. Побарувачката за буково дрво (за граѓа, фурнир, паркет, мебел, огревно дрво и сл.) расте од година во година. Буката е најраспространет дрвен вид кај нас, а областа на распространување е централна и јужна Европа. Неговата висинска дистрибуција е од 750 м/н.в. на север до 1540 м/нв во тиролските Алпи и околу 1600 м/н.в. на Апенините и босанските планини.

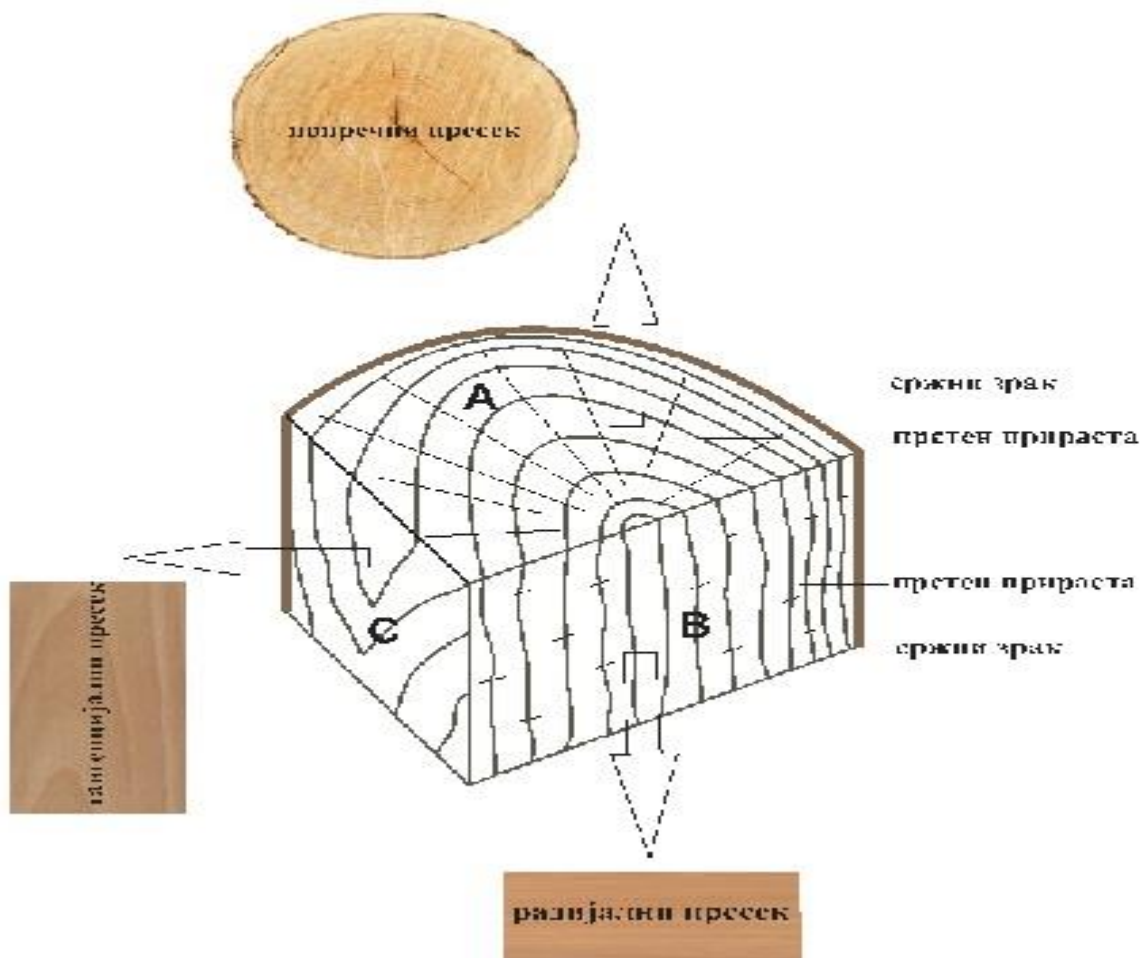
Буковото дрво е високо од 20 до 40 метри, должината на стеблото е 15-20 метри, а дијаметарот на градна височина е од 0,9 до 1,0 и повеќе метри. Круната е конусна, тркалезна и правилно формирана во состоина. Кората е мазна, тенка и со сива боја. Волумното учество на кората е околу 7,4%, а нејзината густина е 579 kg/m^3 .

Густината на буковото дрво е: во апсолутно сува состојба на влажност - 680, во просушена состојба - 720 и во сурова состојба 1070 kg/m^3 . Волуметриската порозност на буковото дрво е околу 52%. Вкупните линеарни тежини на буката се: аксијална 0,3; радијална 5,8 и тангенцијална 11,8%. Свкупно волуметриската тежина е 17,9%, а варира во интервал од 14,0 до 21,0%. Специфичната волуметриска тежина на еден процент од влажноста е од 0,46 до 0,6%.

3.1.1. Макроскопска структура на буково дрво

Макроскопската структура на дрвото ги подразбира карактеристиките на дрвото кои се видливи со голо око, а манифестацијата е внатрешната структура на дрвото.

На слика 3.2. се прикажани три основни пресеци од дрвото.



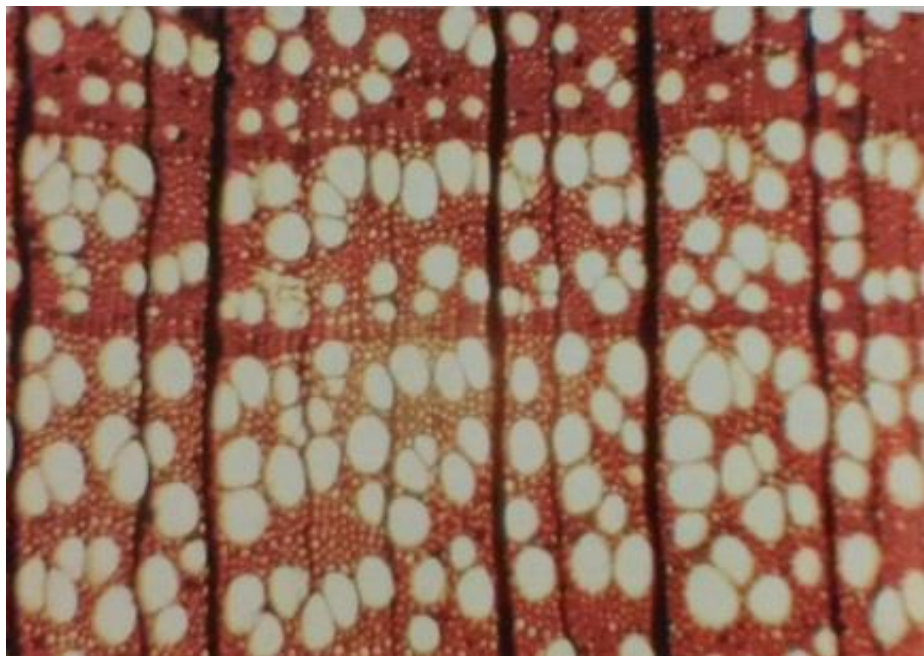
Слика 3.2. Основни пресеци во дрвото: попречен, радијален и тангенцијален

Буката спаѓа во групата на дифузно порозни видови со бакуљаво дрво. Бојата на дрвото е бело-жолтеникава до црвеникаво-бела. Прстените за раст се карактеристични, јасни и концентрични. Честа е појавата на лажна срцевина (тоа е знак за почеток на гниење), со темно кафеава боја која не ја следи границата на истиот прстен на растење. Дрвните зраци се високи и широки, хомогени и видливи на сите делови. На пресекот имаат изглед на радијални линии, на радијалниот пресек се разликуваат по боја и сјај од главната маса на дрвото, а на тангенцијалниот дел изгледаат како темни вретеновидни линии високи до 1 cm. Буковото дрво е тешко, тврдо, цврсто и средно еластично. Издржливоста на буковото

дрво се зголемува со парење и импрегнација. Кората на младите букови дрвја е тенка, пепеласто сива и останува мазна долго време.

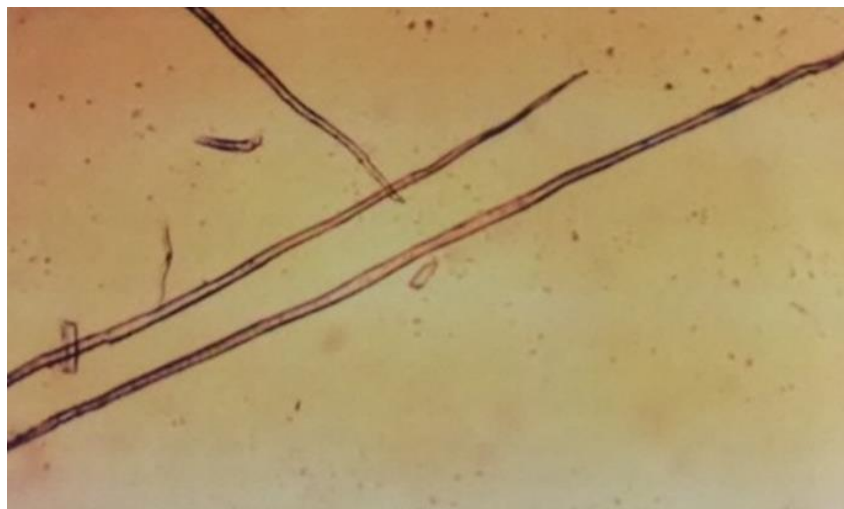
3.1.2. Микроскопска структура на буково дрво

Структурата на буковото дрво опфаќа: спроводливи елементи (трахеи), механички елементи (дрвни влакна и влакнести трахеиди) и паренхим (радијални и аксијални). На пресекот во внатрешноста на прстенот за растење, трахеите се во облик на кружно јајце, единечни или во помали групи (слика 3.3). Ширината на трахеалниот лумен се движи од 30 до 100 μm , а должината од 0,3 до 0,7 mm.



Слика 3.3 Трахеален распоред на пресек од буково дрво (Стојановић, Љ., 2005: Буква у Србији, Универзитет у Београду Шумарски факултет)

Механички елементи во буковото дрво се дрвни влакна и влакнести трахеиди (слика 3.4). Дрвните влакна се зашипени на краевите и имаат високолигнифицирани клеточни сидови. Тие се разликуваат едни од други по изгледот и видот на пори во клеточните сидови.



Слика 3.4. Механички елементи во буково дрво (Стојановић, Љ., 2005: Буква у Србији, Универзитет у Београду Шумарски факултет)

3.1.3. Својства на дрвото важни за режење

Дрвото како материјал за преработка има голема варијабилност во однос на структурата и помеѓу различни видови дрво и во рамките на истиот вид. Таа варијабилност има пресудно влијание врз формирањето на технолошките својства на дрвото.

Отпорот на пенетрација на острицата во дрвото главно го обезбедуваат механички ткива како што се трахеидите и либриформите, кои ја сочинуваат основната маса на дрвната материја. Дрвните влакна (либриформни влакна) ја формираат основната дрвна материја на структурата од тврдо дрво, во која се прикачени други елементи на структурата. Правоста, должината и дебелината на влакната, начинот на групирање и процентуалното учество на влакната во вкупната дрвна маса имаат значително влијание врз техничките својства на дрвото. Правоста на дрвните влакна е помала од правоста на четинарските трахеиди. На него влијаат и основните зраци кои ги пробиваат сноповите на влакната и предизвикуваат нивно отстапување. Колку е поголем уделот на либриформните влакна во дрвната маса, толку дрвото е потврдо и потешко, што влијае на зголемувањето на цврстината.

Дрвото е хигроскопски материјал, што значи дека ја апсорбира и десорбира влагата. Во зависност од местото каде што се наоѓа влагата во дрвото, како и од природата на врската помеѓу влагата и дрвото, влагата во дрвото може да се појави во три форми, и тоа:

- ✓ Слободна вода - се наоѓа во микрокапилари и клеточни лумени и не е врзана за клеточните сидови. Промената на содржината на слободната вода влијае само на промената на масата и густината на дрвото. Слободната вода лесно се отстранува

со острицата во процесот на отворено режење и речиси не нуди отпор, додека при затворено режење може да дојде до зголемување на отпорноста на дрвото при режење. Меѓутоа, ако оваа вода во дрвото замрзне, ќе има значителен отпор при режењето;

- ✓ Врзана (хигроскопна) влага - е влагата што се апсорбира (апсорбира) во порозните сидови на дрвните ќелии. Помеѓу микрофбрилите (тие ја сочинуваат структурата на клеточните сидови) и врзаната влага има исклучително силни сили на поврзаност. Затоа, промената на содржината на врзаната влага во дрвото влијае на промената на сите физички и механички својства на дрвото.

Водата делумно продира во клеточните сидови и таму се депонира меѓу структурните елементи (микрофбрили), а делумно останува на површината. Хигроскопската влага што се наоѓа во клеточните сидови (врзаната вода) е поврзана со силни физички и хемиски врски со микрофбрилите и не може да се отстрани со острицата кога се создаваат струготини во процесот на режење. Промената на содржината на врзана вода во дрвото влијае на сите физички и механички својства на дрвото, додека промената на содржината на слободната вода влијае само на промената на масата и густината на дрвото. Слободната вода се наоѓа во макрокапиларите и клеточните лумени и не е врзана за клеточните сидови. Лесно се отстранува со острицата во процесот на отворено режење и речиси не нуди отпор, додека при затворено режење може да дојде до зголемување на отпорноста на дрвото при режење. Меѓутоа, ако оваа вода во дрвото замрзне, ќе претставува значителен отпор при режењето, бидејќи има влијание врз потрошувачката на енергија.

Друго својство на дрвото кое има силно влијание врз густината, т.е. волумна маса е исто така, дрво порозност. Во овој поглед, правиме разлика помеѓу волумната маса на дрвото како порозно тело (се разликува според видот на дрвото) и волумната маса на дрвната супстанца (тоа варира во тесни граници и е приближно $1,50 \text{ g/cm}^3$). Температурата на дрвото влијае на јачината на дрвото, а со тоа и на самиот процес на режење. Ефектот на температурата на дрвото врз процесот на режење би бил:

- ✓ Процесот на режење дрво е проследен со одредена количина на топлина. Ова се случува со загревање на остриците на алатот и струготината. Температурата на струготината е многу повисока од температурата на предметот на обработка, а со тоа тековното зголемување на температурата на струготината може да ги промени неговите механички својства;
- ✓ Понекогаш температурата на дрвото намерно се зголемува за полесна обработка;

Различни видови дрво имаат различни механички својства. Разликите во својствата на различните видови се резултат на разликите во анатомската структура на тие видови, меѓутоа, постојат големи разлики во рамките на истиот вид дрво, но исто така и во рамките на истото дрво, па дури и во рамките на еден прстен на раст од истиот дел. (на пр. раното дрво има 3÷5 пати помала цврстина на притисок, истегнување и свиткување од доцното дрво во истиот прстен за раст). Затоа познавањето на влијанието на анатомската структура на дрвото врз неговите својства е многу важно за проценка на квалитетот на дрвото и неговата соодветност за одредена обработка. Постои реципрочна врска помеѓу механичките својства на дрвото и неговата волуметриска маса, така што генерално може да се каже: колку е потешко дрвото во рамките на истиот вид, толку е посилено и потврдо. Механичките својства на дрвото се најдобри во правец на влакната, а најлоши нормално на влакната.

Јакоста (максималното напрегање) на дрвото е едно од најважните механички својства

потребни во секоја носечка дрвна конструкција и вклучува цврстина на притисок, цврстина на истегнување, јакост на свиткување, јакост на смолкнување и цврстина на расцепување.

Тврдоста на дрвото е отпорот што дрвото го дава на навлегување на друго тело (на пр. алатка) во неговата маса, односно волумен под влијание на константна или ударна сила. Тврдоста на дрвото што се пресметува под влијание на сила со постепено зголемување на интензитетот се нарекува статичка цврстина, а цврстината што се одредува со удар врз површината на дрвото е динамичка цврстина. Дрвото има најголема цврстина на попречната површина, односно кога силата се применува паралелно со влакната. Во просек, оваа цврстина е поголема кај четинарите за 40%, а кај тврдите дрва за 30% од страничната цврстина на дрвото, што е приближно иста кај повеќето видови (Шошкиќ, Поповиќ, 2002). Покрај анатомскиот пресек, на тврдоста влијае и густината и влажноста на дрвото. Како по правило, цврстината се зголемува со зголемување на густината на дрвото, а се намалува со зголемување на влагата. Сувото дрво е потврдо од влажното, дрвото од горниот дел на дрвото е потешко од долниот дел, а срцевината е потврда од беликата.

3.2. Механичка обработка на дрво

Механичката обработка на дрвото се дефинира како технолошка постапка за добивање елементи со одредени димензии, форми и квалитети. Технологијата за механичко дрво е наука која ја проучува обработката на дрвото со промена на неговата форма и волумен без промена на квалитетот на материјалот.

Постојат голем број на влијателни фактори кои можат да ги дефинираат условите што се јавуваат при механичката обработка на дрвото. Нивното индивидуално и меѓусебно дејствување, неможноста за определување на одредени параметри и мерење на нивните индивидуални ефекти, го прават проблемот на процесот на механичка обработка на дрвото многу сложен.

При механичката обработка на дрвото потребно е да се набљудува заедничкото влијание на четири основни фактори кои заеднички влијаат на обработката и тоа:

- ✓ Материјал (дрво и производи од дрво),
- ✓ Алатка,
- ✓ Машина и
- ✓ Човек

Механичките технологии се засноваат на пластичноста и деливоста на дрвото. Имено, дрвото има способност да ја зачува остварената деформација, т.е. форма по престанок на дејството на надворешните сили (пластичност) и способност за раздвојување под дејство на надворешни сили (деливост). Во зависност од овие својства, можеме да ја систематизираме механичката обработка на дрвото во две групи:

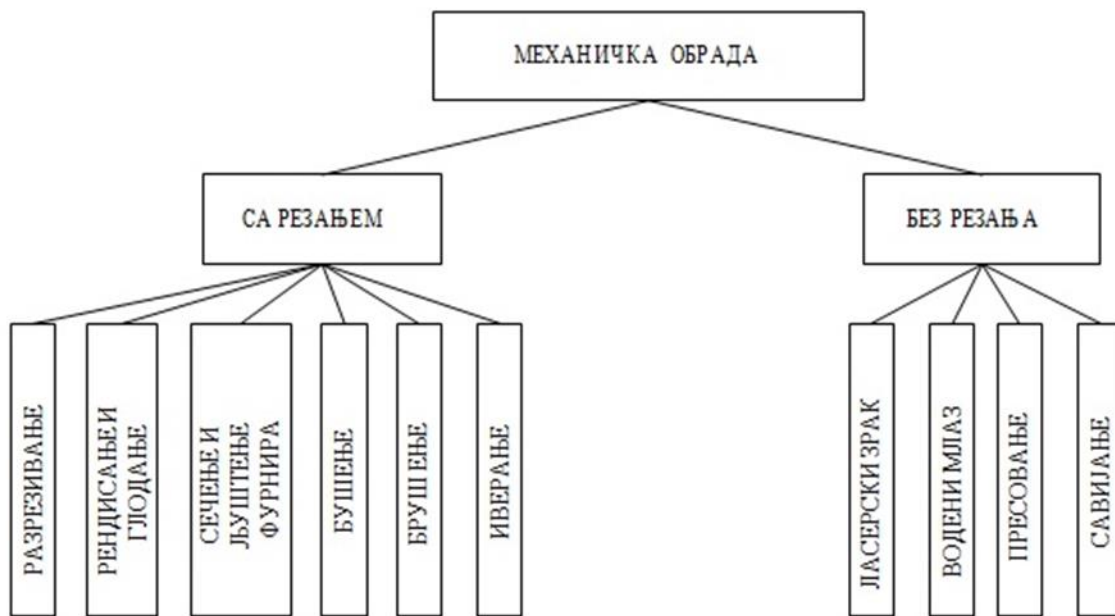
- ✓ обработка на дрво со пластична деформација и
- ✓ обработка на дрво со режење

Постапките за механичка обработка на дрво може да се класифицираат на различни начини. Според (Kršljak, 2013), механичката технологија на дрво исто така се одвива на

два начина:

- ✓ преработка на дрво без раскинување на врските помеѓу дрвните влакна, што вклучува виткање и набивање (притискање) дрво и
- ✓ обработка на дрво со нарушување на врските помеѓу дрвните влакна, што вклучува дробење, расцепување и режење.

Исто така, механичката обработка на дрвото може да се подели на обработка со режење и обработка без режење (слика 3.5).



Слика 3.5. Методи на механичка обработка на дрво, (Csanady, Magoss, 2013)

Механичката обработка со режење, сметајќи го дрвото како материјал, сè уште има доминантно значење во однос на механичката обработка без режење. Теоријата за режење дрво произлезе од теоријата за режење метал користејќи и научни и технолошки искуства и достигнувања, но поради специфичноста на дрвото како материјал, се изучува како посебна дисциплина.

3.2.1. Основи на теоријата на режење

Според (Зубчевиќ, 1988), проучувањето на теоријата на режење, историски гледано, имало неколку насоки:

- ✓ Механичко-математичката теорија се заснова на законите на отпорот, односно цврстината на материјалот и е поврзана со пресметките на реолошките својства на

дрвото, проучувајќи ги деформациите на моделот во и надвор од границите на еластичноста.

- ✓ Физичката теорија на режењето ги испитува молекуларните промени кои се случуваат на лизгачката површина на острицата врз дрвото, што доведува до затапување на остриците и се рефлектира во начинот на режење.
- ✓ Физичко-технолошката теорија настанала врз основа на систематизацијата на лабораториските и технолошките резултати, давајќи им ги потребните теоретски толкувања.

За полесно разбирање на интеракцијата на алатите и материјалите (дрвото), пред сè, потребно е да се разгледа елементарното режење, а потоа и посложените операции што можат да се сретнат во пракса. Таквиот рез се нарекува елементарен рез, а острицата во облик на клин елементарно острица.

Според (Кршљак, 2013), карактеристиките на елементарното режење се:

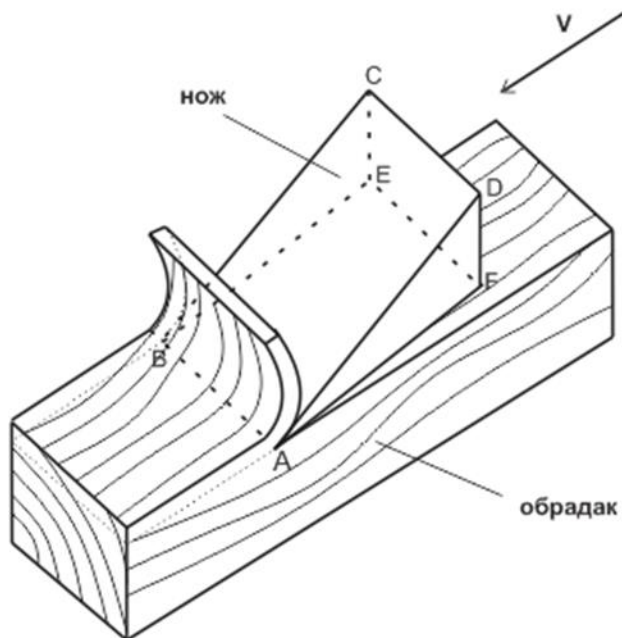
- ✓ по целата ширина и должина на режењето, струготината е со иста дебелина,
- ✓ во режењето учествува само острицата, каде што должината на острицата е поголема од широчината на режењето,
- ✓ патеката на секоја точка на острицата е праволиниска,
- ✓ острицата се движи со приближно иста брзина,
- ✓ рамнината на режење и насоката на движење на острицата во таа рамнина, при минување на острицата низ дрвото, се ориентирани под одреден (константен агол) во однос на протокот на дрвните влакна..

3.2.1.1. Основна геометрија на острицата

Деформацијата на дрвото при режењето се одредува со услови на режење како што се: анатомска структура на дрвото, механичко-физички својства на дрвото, форма и острина на острицата, брзина на режење и дебелина на струготината. Геометриските параметри на острицата заедно со степенот на острење играат многу важна улога во процесот на создавање на струготина, т.е. во процесот на режење дрво (Зубчевиќ, 1988).

Острицата е активниот дел од алатот за режење и има форма на клин.

На слика 3.6. прикажани се основните параметри на елементарното острица



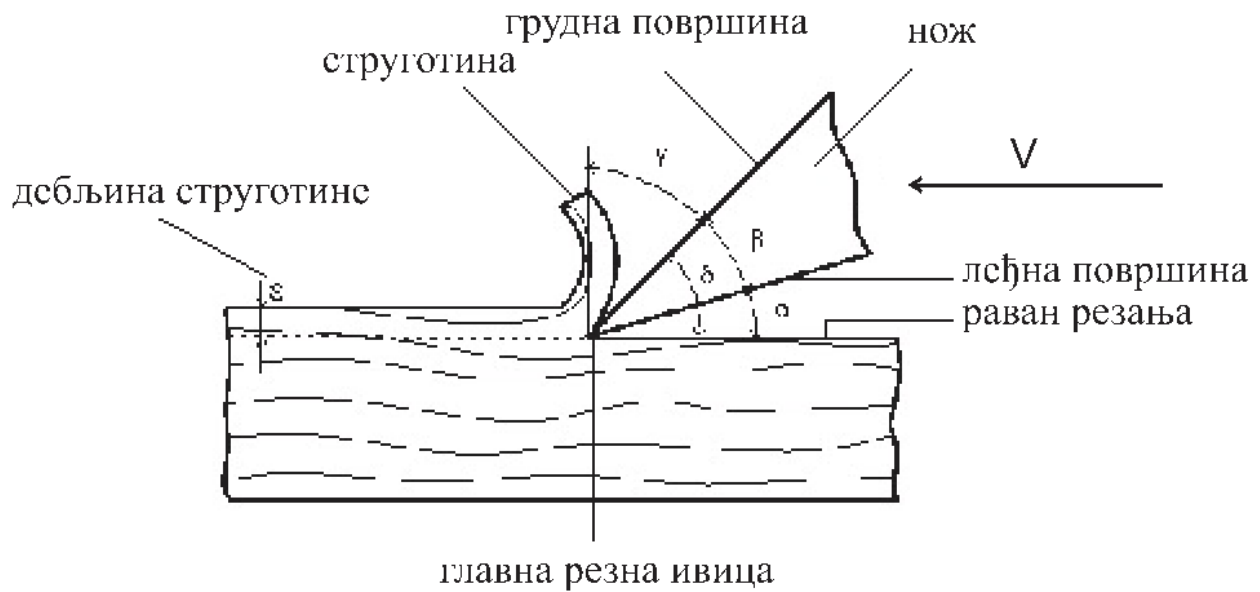
Слика 3.6. Основни елементи на елементарното острица

Острицата се состои од:

- ✓ Предна површина (ABCD),
- ✓ Задна површина (ABEF) и
- ✓ Странични површини, лево (ADF) и десно (BCE)

Напречниот пресек на површините на предната и задната површина го формира главниот раб на режење на острицата (AB). Предната површината делува на струготината, додека задната површина е свртена кон рамнината за режење. Острицата се движи со брзина V во насока насочена кон главната острица, со што се отстранува струготина со одредена дебелина и ширина од работното парче. Ако должината на главната острица е еднаква или поголема од ширината на струготината, тогаш режењето се нарекува отворено режење. Ако во процесот на режење дрво е вклучена и друга странична острица, тоа е полузатворен рез. Ако покрај главната острица, во процесот на режење учествуваат и двете странични острици, тоа е затворен рез.

На слика 3.7. прикажани се аглите што се користат за дефинирање на геометријата на острицата.



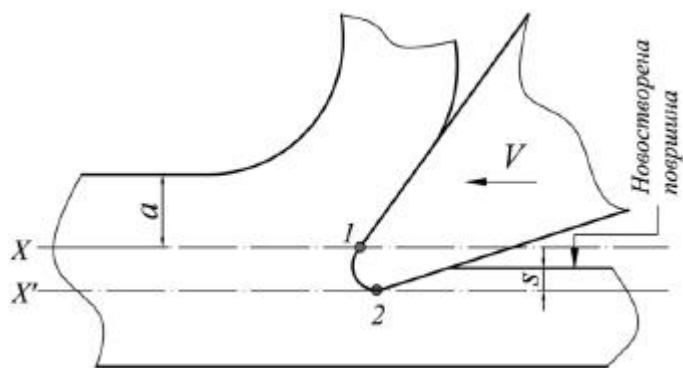
Слика 3.7. Приказ на аглите што се користат за дефинирање на геометријата на острицата.

На слика 3.7. означени се следните агли:

- ✓ γ – преден агол, дефиниран како агол помеѓу предната површина и нормалата на рамнината за режење,
- ✓ β – агол на острење, се дефинира како агол што ги преклопува предната и задната површина и
- ✓ α – заден агол, дефиниран како агол помеѓу задната површина на острицата и рамнината за режење.

Збирот на аглите $\alpha + \beta = \delta$ се нарекува агол на режење. Квалитетот на површината за режење зависи од аголот на режење δ , а со намалување на овој агол се зголемува квалитетот на режењето. Сепак, невозможно е произволно да се намали овој агол бидејќи се одредува според големината на аголот на острење β , кој не може да се намали со оглед на потребната јачина на острицата.

При отстранување на струготината, најистакнатата точка на острицата, под влијание на надворешна сила, продира во работното парче во насока на режење. Таа насока на режење претставува линија на режење која не се совпаѓа со обработената површина (слика 3.8).

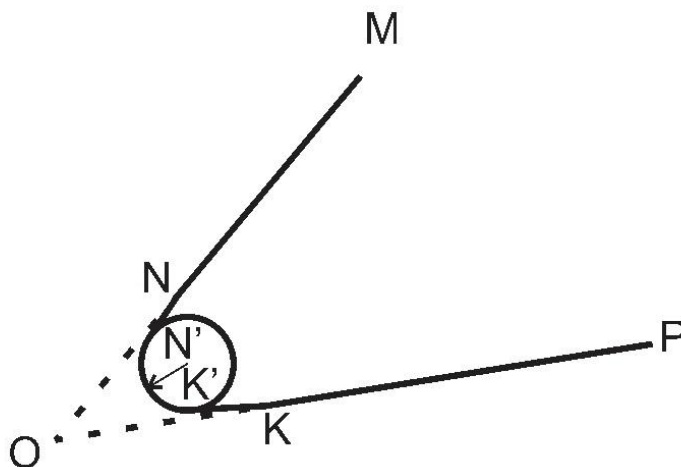


Слика 3.8. Формирање на површината за режење (Goglia, 1994)

Практично, најистакнатата точка на острицата (1) се движи по патеката h-h, а најниската точка на острицата (2) по патеката x'-x', така што дрвните влакна се поделени на две нивоа. Материјалот на работното парче над линијата за режење h-h се деформира и формира струготина, додека материјалот под оваа линија е компримиран под притисок на острицата до линијата x'-x'. Тој компримиран слој, поради еластичноста и пластичноста на дрвото, има тенденција да се врати во првобитната положба, односно има тенденција да се опушти до линијата за режење, што е невозможно поради присуството на трајни деформации. Последица на ова е формирање на новосоздадена површина за режење со набиени влакна на релаксирачкиот слој со дебелина s.

3.2.1.2. Почетно острење и затапување на острицата

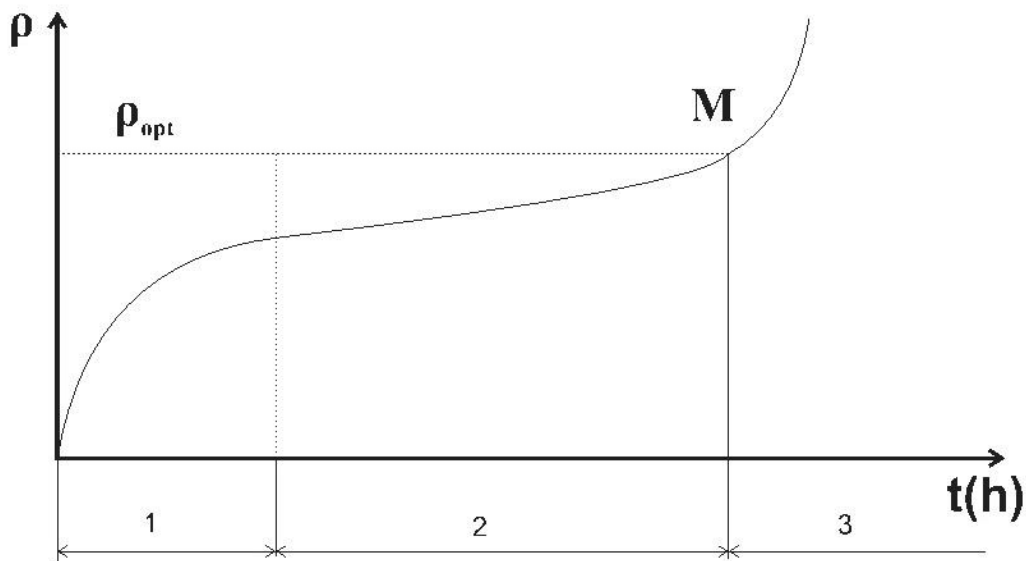
Веќе е кажано дека острицата го претставува пресекот на предната и задната површина на острицата. Острицата за режење претставено на овој начин би претставувало геометриски концепт и затоа се нарекува „идеална острица“. Меѓутоа, во пракса едноставно е невозможно да се постигне идеална острица. Вистинската острица се добива со острење на сечилото, слојот од материјал добиен со леене или ковање, со користење на абразивни зрна со фина гранулација и висока цврстина. Затоа, во реални услови не е можно да се добие идеална острица, што се должи на структурата на материјалот од кој е направен ножот, што се должи на структурата на абразивното средство што се користи за формирање на острицата. На слика 3.9. е прикажано идеално (геометриско) острица M, N, O, K, P и вистинско, реална острица M, N, NI, OI, KI, K, P кое има приближна форма на идеалната острица, но сепак има заокружување на врвот со соодветен радиус r . Радиусот на заокружување кај наострените пили се движи од 6 до 10 μm , додека некои автори наведуваат почетен радиус на заокружување од 10 до 25 μm (Goglia, 1994).



Слика 3.9. Идеален и вистински раб на острицата (Goglia, 1994.)

Со набљудување на острицата за режење за време на ефективно режење, може да се забележи промена во микрогеометријата на острицата. Промената на микрогеометријата на острицата за режење е придружена со одредени појави: растата силите во зона на острицата, побарувачката за моќност се зголемува, квалитетот на резната површина се намалува. Важноста на промената на микрогеометријата на острицата е многу добро илустрирана со експеримент направен при режење дабови гредички. Почетниот радиус на заоблување е $15\ \mu\text{m}$. По одредена должина на режење, радиусот на заоблување се зголемил на $30\ \mu\text{m}$. Иако радиусот се зголемил само за $15\ \mu\text{m}$, имало значителна разлика во потребната моќност на режење. На почетокот на режењето, со радиус на заоблување од $15\ \mu\text{m}$, потребната моќност на режење изнесувала $1,2\ \text{kW}$. На крајот на режењето, со радиус на заоблување од $30\ \mu\text{m}$, потребната моќност на режење изнесувала $1,8\ \text{kW}$. Ова практично значи дека поради зголемувањето на радиусот на заокружување од само $15\ \mu\text{m}$, моќта на режење се зголемила за 50% (Goglia, 1994).

Радиусот на заоблување r се зема како мерка за затапеност на острицата на алатот. Ако се набљудува радиусот на заокружување на острицата во зависност од ефективно време на режење, ќе се забележат одредени законитости во различни периоди на режење. Типична крива на абене на алатот ја има формата прикажана на слика 3.10.



Слика 3.10. Типична крива на абеење на алатот (Goglia, 1994.)

Првиот период, означен со бројот 1, се нарекува период на прекин. Во овој период, абеењето на алатот е најинтензивно бидејќи пресекот на врвот на острицата е мал, а силите што се јавуваат на острицата при режењето, поради малата површина на пресекот, предизвикуваат напрегања повисоки од границата. Како резултат на тоа, алатката се троши поинтензивно.

Вториот период, означен со бројот 2, се нарекува период на умерено абеење. Во овој период, интензитетот на абеење на алатот се намалува поради зголемувањето на пресекот на врвот на острицата. Овој период трае до точката М, кога започнува периодот на забрзано абеење.

Третиот период, означен со бројот 3, се нарекува период на забрзано или катастрофално абеење. Причината за забрзано абеење е зголемување на отпорот и големо зголемување на моќта на режење. Силата на режење се претвора во топлинска енергија во самата точка на режење. Поголемиот дел од топлинската енергија се троши директно преку острицата, така што многу се загрева. Температурата на острицата може да достигне преку 800°C (Goglia, 1994). Како резултат на тоа, механичките својства на материјалот на острицата се влошуваат и острицата наеднаш затапува.

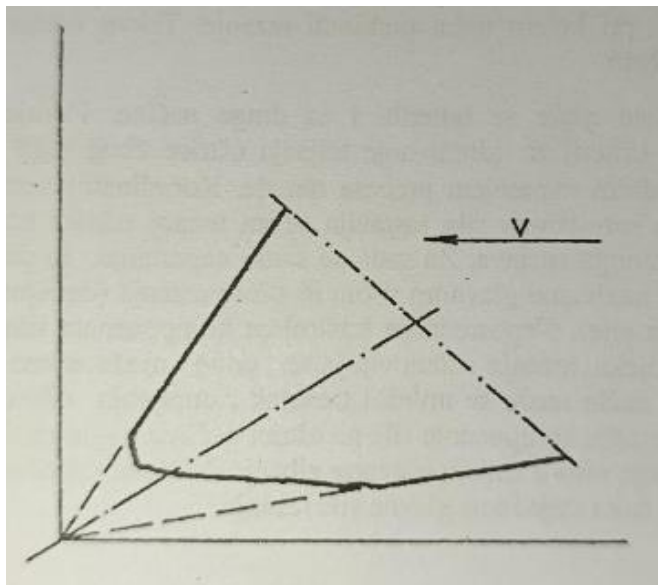
3.2.1.3. Форми на затапување

Во зависност од начинот на обработка, материјалот што се обработува и материјалот од кој е направена алатката, затапувањето на острицата од алатот може да има различни форми. Сите форми на затапување може да се класифицираат во три основни групи:

1. Абење на задната површина,
2. Абење на предната површина,
3. Заоблување на острицата.

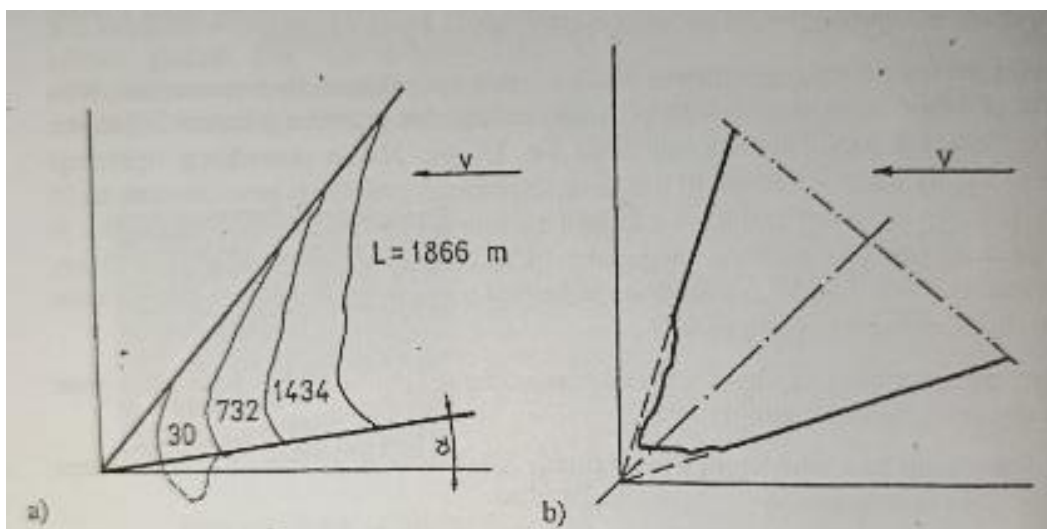
Сите три основни форми на затапување претставуваат постепено зголемување на радиусот за време на ефективното режење.

Абењето на задната површина се јавува поради триење помеѓу материјалот од кој е направен предметот на обработка (дрвото) и материјалот од кој е направен алатот. Абењето е поголемо кај потежок материјал, толку е посилно неговото абразивно дејство и поголема е брзината на режење. Класичен пример за абење на задната површина е прикажан на слика 3.11.



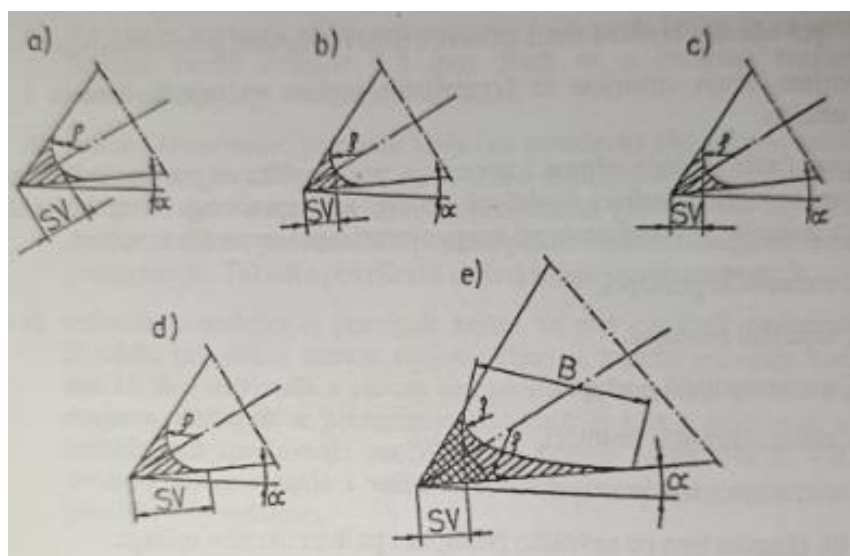
Слика 3.11. Абење на задната површина (Goglia, 1994.)

Предната површина од острицата се троши поради триењето со струготината. Абењето се зголемува со зголемување на брзината на режење и со зголемување на дебелината на струготината. Во зависност од начинот на обработка, абењето на површината на предната површина може да се манифестира на два начина: полирање на предната површина или појава на кратери на површината. На слика 3.12. се прикажани форми на абење на предната површина на острицата.



Слика 3.12. Форми на отапување на предната површина:
 а) полирање на предната површина и
 б) појава на кратери на површината (Goglia, 1994.)

Затапувањето на острицата, кое се квантифицира со зголемувањето на радиусот на заоблување на острицата на алатот, се издвојува како посебен облик на абење на алатот бидејќи оваа форма на затапување е доминантна во обработката на дрвото. На слика 3.13. претставени се можните начини на мерење на радиусот на заоблување.



Слика 3.13. Абење на острицата на алатот во форма на зголемување на радиусот на заоблување рабовите на алатот и можните начини за прикажување на затапеноста на алатот (Goglia, 1994.)

3.2.1.4. Основни видови на режење

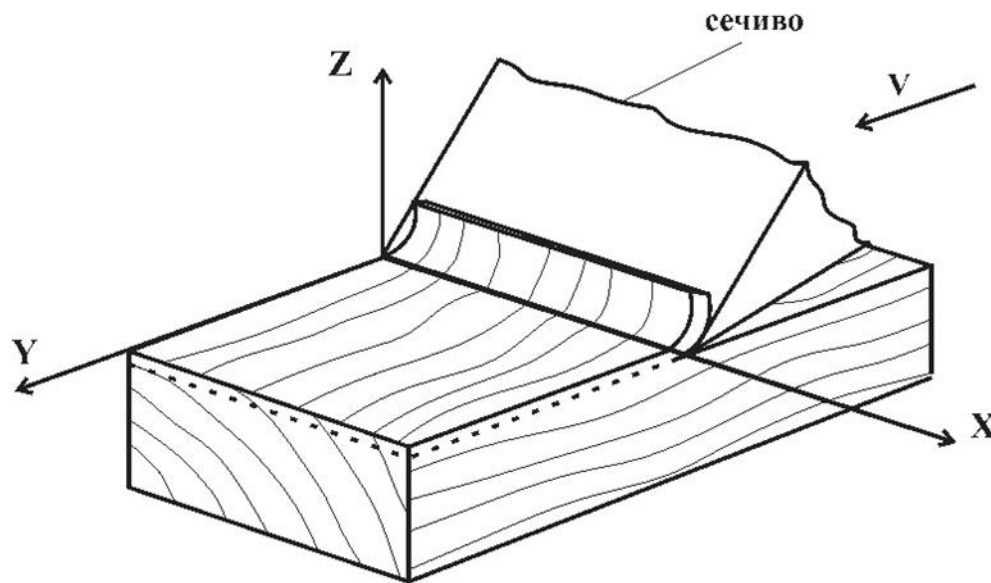
Режењето е процес на преработка на дрво со кинење на врската помеѓу влакната по дадена траекторија на острицата. Обработката на дрвото со режење се врши со и без отстранување на струготини. Со отстранување на струготини дрвото се обработува со: бичење, режење, рамнење, глодање, дупчење, стругање, лупење, продлабочување и брусење. Без формирање на струготини, дрвото се обработува со отсекување, просекување и пробивање (Кршљак, 1996).

Основните типови на режење се дефинирани според насоката на движење на острицата и положбата на рамнината за режење според насоката на дрвните влакна. Затоа, разликуваме три основни типа на режење, имено:

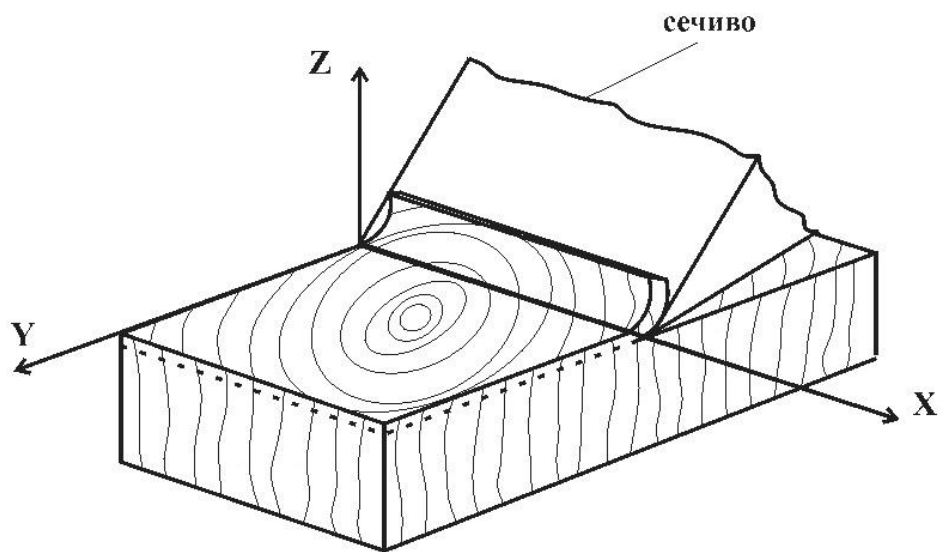
- ✓ Надолжно,
- ✓ Попречно и
- ✓ Тангенцијално.

Надолжното режење се случува кога правецот на векторот на брзината на режење (ϕV) и рамнината на режењето (ϕR) се паралелни со правецот на дрвните влакна, додека работ на режење (ϕ_0) е нормален на влакната, т.е. ϕV и $\phi R = 0^\circ$, $\phi_0 = \pi/2$.

На слика 3.14. дадена е претстава за надолжното режење на дрво.

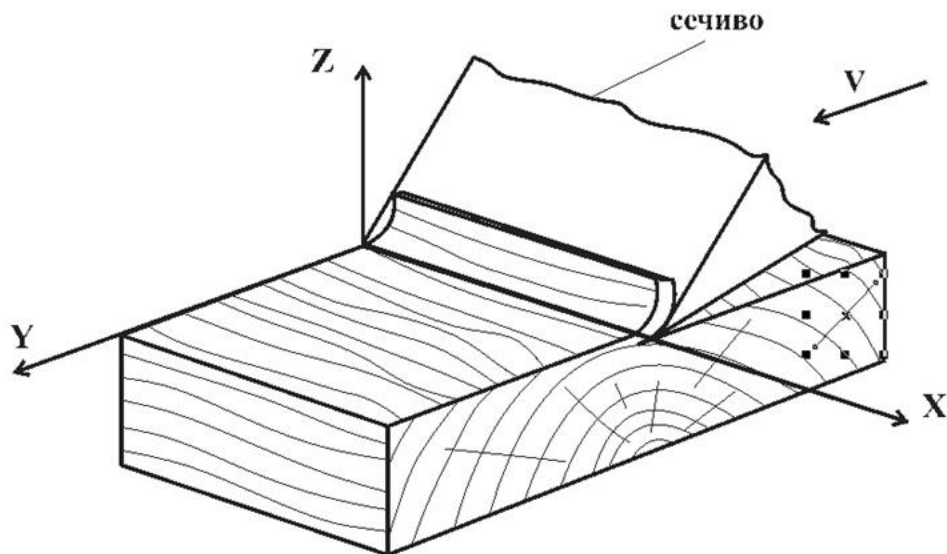


Слика 3.14. Надолжно режење дрво



Слика 3.15. Попечно режење дрво

Тангенијалното режење настанува кога насоката на векторот на брзината на режење (ϕV) е во насока на протегање на влакната, додека рамнината на режење (ϕR) и работ на острицата (ϕ_o) се паралелни со насоката на протегање на дрвните влакна, т.е. $\phi V = \pi/2$, и $\phi R = \phi_o = 0^\circ$. Карактеристично тангенцијално режење е при изработка на лупен фурнир. На слика 3.16. даден е приказ на тангенцијално режење на дрво.

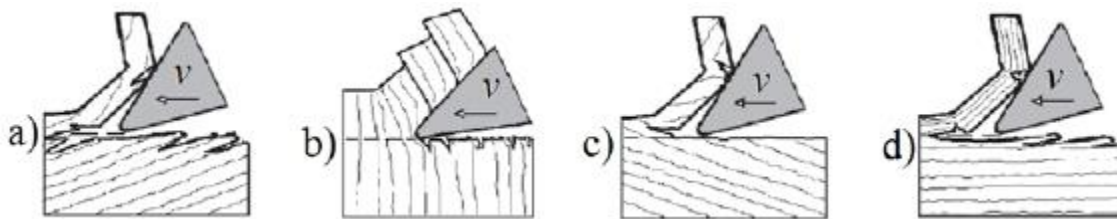


Слика 3.16. Тангенцијално режење на дрвото

Слика 3.17. покажува начини на формирање на струготина за различни насоки на режење. Кога аголот се совпаѓа со насоката на дрвните влакна и насоката на векторот на брзина на режење $\phi_s=0^\circ$. Типичен резултат на режењето се ниските вредности на силите за режење и добар квалитет на обработената површина во однос на другите вредности на аголот ϕ_s (Слика 3.17d).

Кога вредноста на аголот ϕ_s е помеѓу -90° и 0° , т.е. станува збор за режење по дрвните влакна, пукнатината може да се прошири под рамнината на режење и да резултира со оштетување на површината (Слика 3.17a), што е во целосна спротивност со резултатите од режењето по дрвните влакна (слика 3.17 s) кога вредноста на аголот ϕ_s е помеѓу 0° и 90° .

Слика 3.17б го прикажува режењето попречно на дрвните влакна. Највисоките сили на режење и најлошиот квалитет на обработената површина се забележани кај попречното режење, додека надолжното режење дава најниски вредности на силите за режење и најдобар квалитет на обработената површина (Costes et al., 2004; Porankiewicz, Goli, 2014).



Слика 3.17: Формирање на струготина за различни насоки на режење:
а) по должината низ дрвните влакна, б) попречно на дрвните влакна,
в) по должината од дрвните влакна, г) паралелно со дрвните влакна, (Porankiewicz, Goli, 2014)

3.2.2. Формирање на струготини за време на режењето

Процесот на формирање на струготини е поделен на три основни единици: одвојување од работното парче, отцепување на струготини и отстранување на струготини.

Создавањето на струготини е условено од низа услови како што се: видот на режењето во однос на протегањето на дрвните влакна, потоа физичко-механичките својства на дрвото, влажноста на дрвото, заобленоста на острицата на алатот - ρ , режењето. агол - ρ , преден агол - γ , триење на острицата и струготини, температура на дрвото, брзина на режење, дебелина на струготини.

Одвојувањето на струготини е вообичаено дејство за сите видови режење со помош на острица во облик на клин, додека уништувањето и отстранувањето на струготини е специфично за одредени методи на режење како режење, мелење, вртење итн. (Зубчевић, 1988).

На почетокот на режењето, т.е. кога острицата на алатот го прави првиот контакт со дрвото, влакната пред острицата прво се отклонуваат, т.е. дрвните влакна се деформирани и компресирани. Со дополнително пробивање на острицата се кинат дрвните влакна, се создава струготина која се деформира и се кине, а од другата страна се создава нова површина или површина за режење.

3.2.2.1. Формирање на струготини при надолжно режење

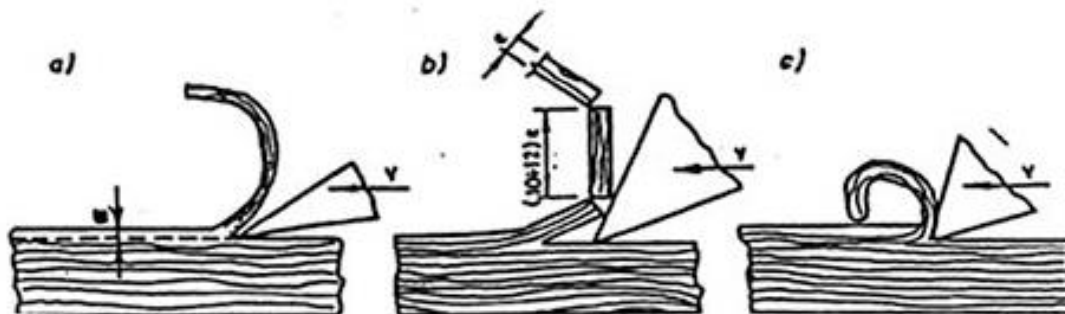
Надолжното режење се врши паралелно со протегањето на дрвните влакна. Во овој случај, векторот на брзината на режење и рамнината на режење се паралелни, а острицата е нормално на правецот на истегнување на дрвните влакна. Навлегувањето на острицата долж продолжувањето на влакната предизвикува одвојување на струготини во рамнината каде што меѓусебната врска помеѓу влакната е слаба. При надолжното режење може да се формираат два основни типа на струготини (Зубчевић, 1988):

- ✓ Прв тип или спирална струготини и
- ✓ Вториот тип кога се создава предпукнатина пред работ на острицата

Ако исечениот слој е со мала дебелина (тенки струготини) и аголот на режење на острицата е мал, струготината е во форма на спирала (Слика 3.18а).

Ако струготините се подебели и аголот на режење на острицата е поголем, се формираат струготини што се помалку еластични и се кршат или превиткуваат на помали или поголеми елементи, што резултира со формирање на скршени струготини (Слика 3.18б).

Третиот тип – деформирани струготини (сл. 3.18в) се јавува ако на острицата во близина на работ на режење се формираат набиени наслаги на струготини, што може да се случи под голем агол на режење. (Кршљак, 1996).



Слика 3.18: Форми на струготини при надолжно режење: а-спирална струготина, б-искршена струготина, в-деформирана струготина, (Кршљак, 1996)

Структурата на струготини е најкомпактна за време на надолжното режење во споредба со другите видови на режење. При попречното режење, острицата на острицата е нормална на правецот на дрвните влакна, врскаста помеѓу влакната е многу слаба и струготините се расфрлани во мали елементи. Површината на предната површина на острицата ги одвојува добиените струготини од основната маса на дрвото, додека под линијата за режење, во поголема или помала мера, се јавува раслојување на влакната.

Споредувајќи ги сите три типа на режење, можеме да дојдеме до заклучок дека отпорите се најголеми при попречното режење, а потоа следат тангенцијално и надолжно режење. Поради зголемениот отпор, има и зголемено абеење на алатот, што резултира со послаб квалитет на обработка. Констатирано е дека при режењето на дрвото материјалот на острицата се троши поради триење, што има ефект на зголемување на радиусот на заоблување ρ .

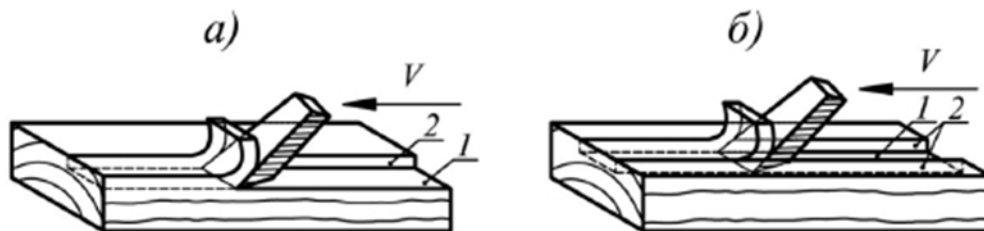
Зголемувањето на овој радиус резултира со губење на својствата за режење на острицата, што резултира со зголемување на силата на режење, работата на режење и намалување на квалитетот на обработената површина. Исто така, со зголемување на триењето се забележува и намалување на аголот на абеење, што негативно се одразува на квалитетот на обработената површина.

3.2.3. Теорија на сложено режење

Во обработката на дрво, сложеното режење е застапено значително повеќе од елементарното режење. Според Кршљак (Kršljak, 2013), карактеристиките на сложеното режење се:

- ✓ дебелината на струготини по должината на режењето, односно долж преминот на острицата, може да биде еднаква или нееднаква,
- ✓ во режењето покрај главната острица учествуваат и помошните острици,
- ✓ патеката за режење може да биде и крива линија,
- ✓ кога патеката за режење е криволинеарна во едно поминување на острицата низ дрвото, аголот помеѓу рамнината на режење и протокот на дрвните влакна не е константен.

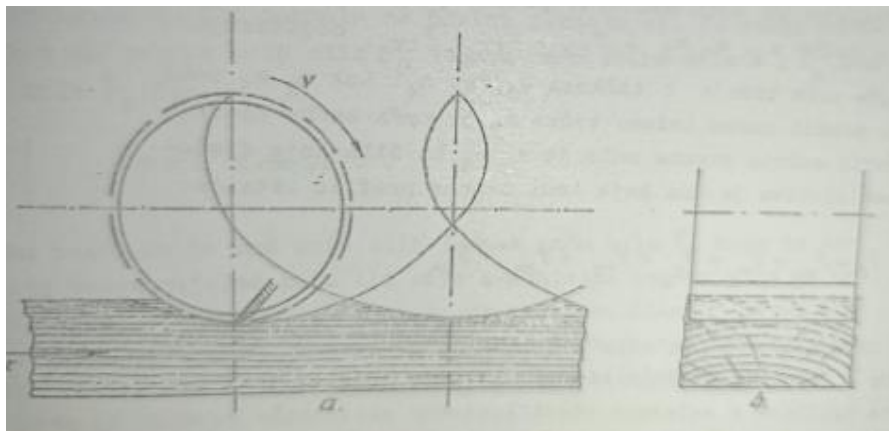
Ако во процесот на режење, покрај главната острица, учествува и една помошна острица, режењето е полузатворено, а кога во процесот на режење, покрај главната острица, учествуваат и помошните сечила, режењето е затворено. (Слика 3.19). Во двата горенаведени случаи на сложено режење кога алатот се движи во права линија, должината на главната острица е пократка од ширината на работното парче. Главната острица на алатот ја обработува главната (долна) површина за режење, а помошните ножеви истовремено ги обработуваат страничните површини за режење, додека клинот за режење прави праволиниско движење во насока на векторот на брзина v .



Слика 3.19: Сложено режење со праволиниско движење на алатот;
 а) полузатворено режење: 1 – главна површина за режење, 2 – странична површина и
 б) затворено режење: 1 – главна површина за режење, 2 – странични површини
 на режење (Кршљак, 1996)

3.2.4. Параметри на процесот на сложено режење – режење со кружна пила

Режењето со кружна пила има огромна примена и во примарната и во финалната обработка на дрвото. Кружно режење се случува кога се ротира главата за режење, на чиј раб е фиксиран острицата. Со ротирање на алатот со острицата на нејзиниот раб околу неговата оска, острицата ги отстранува струготините од работното парче во рамномерен процес. Во овој случај, површината за режење не се совпаѓа со рамнината за режење. Ако работното парче се движи во права линија за време на кружното вртење на острицата, површината за режење ќе има форма на циклоид во надолжниот пресек, т.е. права линија во пресекот (Слика 3.20).



Слика 3.20. Кружно режење со ротирачка острица
а) надолжен пресек, б) пресек (Зубчевић, 1988)

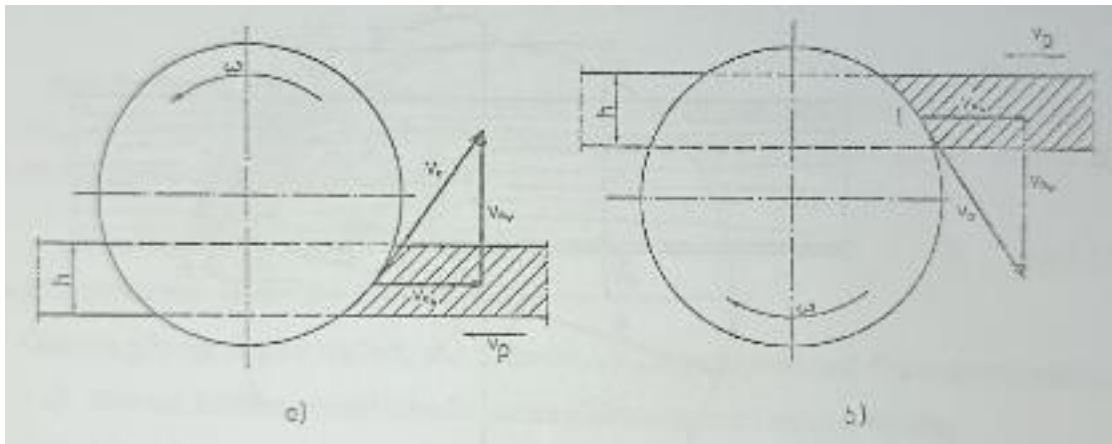
3.2.5. Кинематика на режење

За да се постигне режење со кружни пили, потребно е да се обезбедат две движења. Главното, работно движење го врши исклучиво алатот (кружна пила) со еднаква аголна брзина. Таа е еднаква по насока и големина на брзината на точката на острицата на алатот во набљудуваната положба, така што може да се напише како:

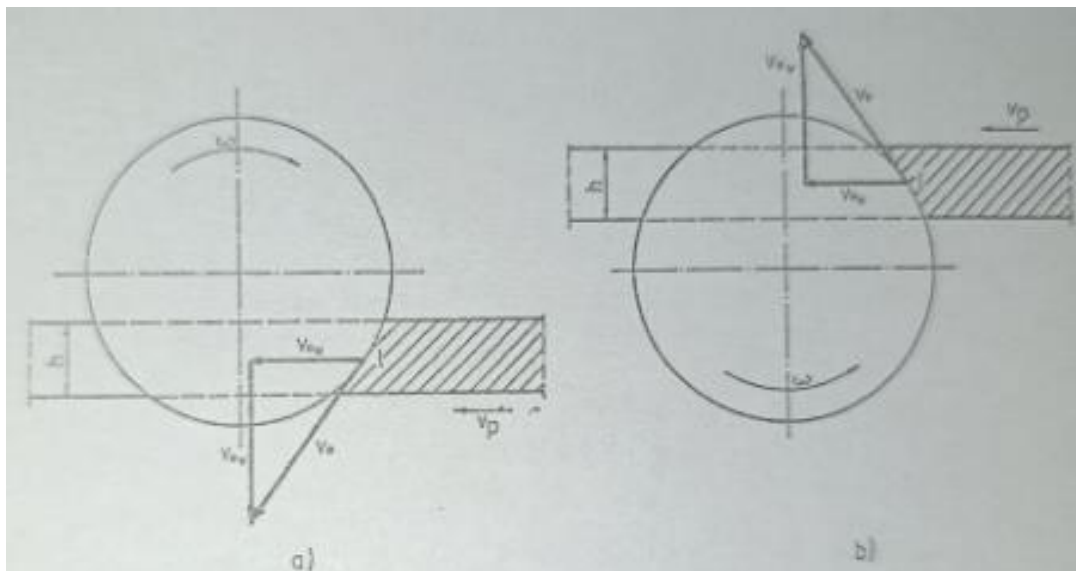
$$v = v_0 = D \cdot \pi \cdot n$$

каде што D е дијаметарот на кругот по кој се движи набљудуваната точка на острицата, а n е фреквенцијата на ротација на работното вратило (s^{-1}).

Помошното движење, односно движењето, заедно со главното движење, го врши и алатот (нишало и супорт). Кај повеќето кружни пили, помошното движење го врши работното парче. Во однос на односот на главните и помошните насоки на движење, се разликуваат истосмерно и противсмерно режење. На слика 3.21. прикажано е противсмерното, а на слика 3.22. истосмерно режење.

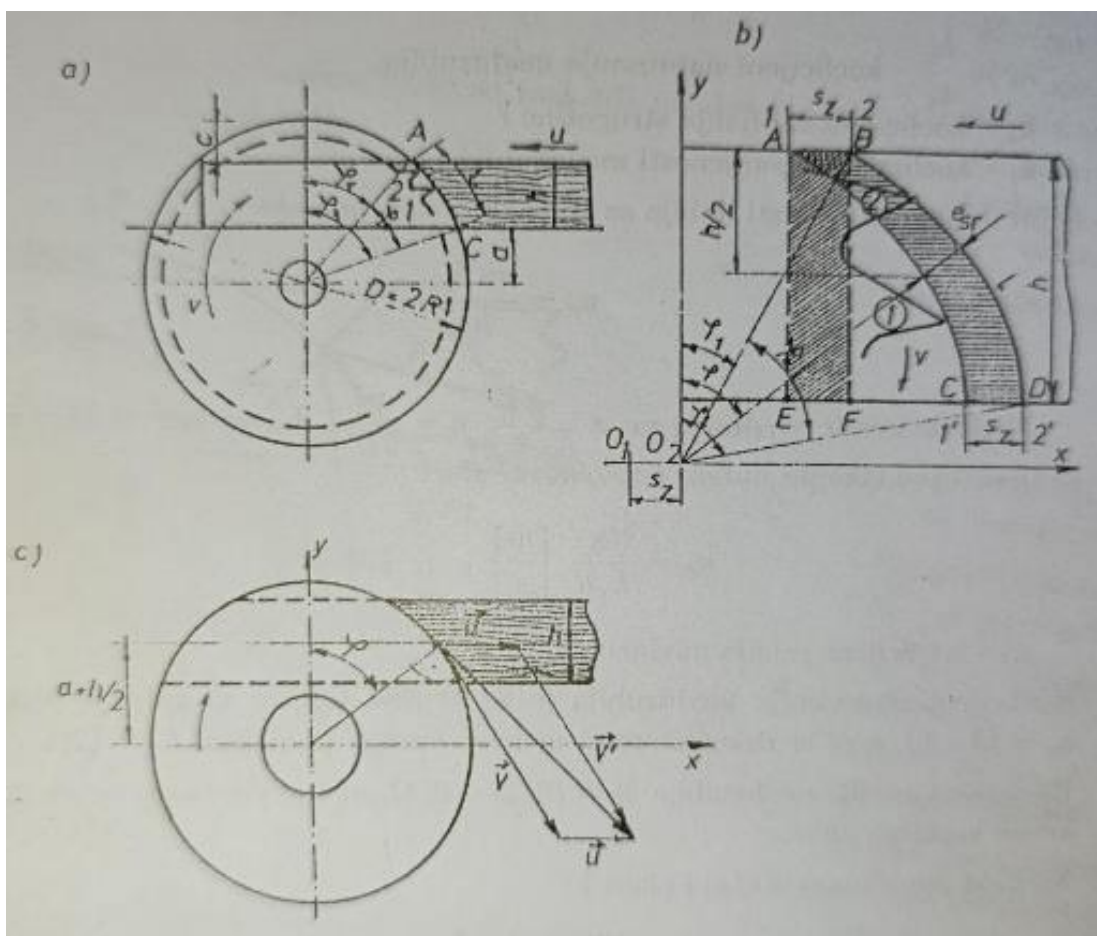


Слика 3.21. Шематски приказ на противсмерно режење со кружна пила
а) оската на алатот над работното парче, б) оската на алатот под работното парче (Goglia, 1994.)



Слика 3.22. Шематски приказ на истосмерно режење со кружна пила
а) оската на алатот над работното парче, б) оската на алатот под работното парче (Goglia, 1994.)

Највообичаен начин на режење со кружни пили е кога алатот го врши главната движење со брзина v , а предметот на обработка врши противнасочно праволиниско движење (поместување) со брзина u (слика 3.23).



Слика 3.23. Кинематика на режење со кружна пила (Кршљак, 2000)

Формата на струготини се одредува според деловите на патеките на две соседни сечила низ работното парче. Патеката на забот 1 е линијата 1-1', а патеката на забот 2, кога станува збор за местото на забот 1, е линијата 2-2'. Патеките на острицата се делови од циклоидата.

3.3. Квалитет на површината

Квалитетот на површината, дефиниран со состојбата на геометријата на третираната површина, е претставен со низа индикатори, пред се со видовите на нерамнини и отстапувања од идеално рамната површина. Во оваа смисла, геометријата на површината е обликувана во форма на макрогеометрија и микрогеометрија. Макрогеометријата ја рефлектира состојбата и формата на вкупната континуирана површина, потпирајќи се на идеалната површина на обработениот дел. Микрогеометријата ја претставува состојбата и обликот на обработената површина на нејзините репрезентативни делови, потпирајќи се на идеалниот пресек на соодветното тело.

Според стандардот DIN 4760, кој предвидува отстапувања во шест линии, јасно се забележуваат разликите помеѓу поединечните отстапувања (Табела 3.1).

Табела 3.1. Видови на отстапување на вистинската површина од идеалната површина (DIN 4760)

Отстапувањето претставено како зголемен профил		Пример за тип на отстапување	Пример за причината за создавањето
1.ред	Отстапување на обликот 	Неправилност Нецилиндричност Неконусност	Грешка во машинската водилка, лоша поставеност на деталите, промена на цврстината, абеење
2.ред	Брановидноста 	Бранови	Ексцентрично поставување или грешка во обликот на глодалка, вибрации на машини и алати
3.ред	рапавост 	Олуци	Форма на формирање на струготини, помошно движење или прилагодување алатки
4.ред		Бразди: вдлабнатини и испакнатини 	откинати струготини, траги од обработка, промена на формата при обработката со абразија
5.ред	Не може графички да се прикажат	Внатрешно тело (структура)	Кристализација, хемиски површини дејство, корозија
6.ред	Не може графички да се прикажат	Мрежеста структура на материјалот	Физички и хемиски феномени во градењето на материјата, напрега и се лизга до мрежата на кристали
		Најчесто претставени отстапувања од 1-ви до 4-ти ред	

ISO стандардите ги дефинираат основните концепти на техничката геометрија на површината тела:

- ✓ вистинска површина е површината што го ограничува телото и го одвојува од околината. Се формира во процесот на изработка на техничко тело и неговата вистинска состојба не може да се одреди со мерење.
- ✓ геометриска површина е идеална површина со дадена геометриска форма, која нема никакви неправилности или отстапувања. Тоа е замислена површина со различна форма која може приближно да се претстави само со цртеж. Техничките тела не можат да имаат таква површина.
- ✓ ефективната површина е приближна слика на реалната површина и е резултат на мерење на реалната површина.
- ✓ површински профил е линија која се добива со режење на површината со специјално избрана рамнина, чија положба во однос на геометриската површина се одредува договорно. Површинскиот профил може да биде: реален профил, геометриски профил и ефективен профил, во зависност од тоа дали се добива со вкрстување со избраната рамнина на реалната, геометриската или ефективната површина.

3.3.1. Рапавост на површината

Во дрвната индустрија, естетските својства на мебелот и другите дрвни производи се многу важни. Овде, пред сè, мислиме на квалитетот на површината, односно на рапавоста на производот, што е многу тешко да се одреди поради хетерогената структура на дрвото, кинематиката на процесот на обработка и условите за режење.

Во овој поглед, може да се издвојат позначајни фактори кои влијаат на квалитетот на обработката, како што се насоката на режење, геометријата на острицата и состојбата на острење, дебелината на струготината, неточно острење на алатот, технолошки параметри (брзина на режење, брзина на помошно движење итн.). Затоа, важно е да се избере соодветен метод кој на ефикасен начин ќе ја одреди рапавоста.

За одредување на квалитетот на третираната површина се користат различни методи и уреди, како што се: визуелни, оптички, пневматски, ултразвучни, електрични и контактни профилометри.

Новосоздадените површини при режење дрво никогаш не се совршено мазни, без разлика дали се рамни или закривени. За нерамномерноста на новосоздадената површина при режење дрво има две причини:

- ✓ Структурни неправилности - тие се последица на анатомската градба на дрвото. Нивните големини и распоред зависат првенствено од видот на дрвото. Овие испакнатини воопшто не можат да се избегнат, тие секогаш го следат режењето на дрвото.
- ✓ Нерамнини предизвикани од режење - микронерамнини поврзани со рапавоста на новосоздадената површина за режење. Причините за овие нерамнини се различни:
 - Траги од обработка на алат,
 - Нерамнини од преостанати деформации на дрво,
 - Траги од вибрации на машината, алатите и предметите за обработка,
 - Режији на режење,
 - Состојба на острицата на алатот (степен на острината),
 - Вид на режење (однос на рамнината на режење со правецот на истегнување на дрвните влакна),

- Физичко - механички својства на дрвото, особено волумумната маса. Нерамнините предизвикани со режење можат да се појават како: брановидност, рапавост, брановидност со рапавост и деструктивни нерамнини (Зубчевић, 1988).
- ✓ Брановидноста најчесто се јавува при обработка со ротациони алати (глодање, режење со кружни пили, рамнење и сл.).
- ✓ Рапавоста како микронерамномерност на новоформираната површина за режење секогаш го придружува секој тип на обработка на дрво, пред се како траги од острицата на алатот, распоредени во форма на неправилни испакнатини или вдлабнатини.
- ✓ Деструктивни испакнатини - бушавост и влакнатост.

Рапавоста на резната површина, како еден од показателите за квалитетот на резната површина, не може теоретски да се пресмета, но постојат индиректни и директни начини на кои рапавоста може да се квантифицира со различни мерни инструменти.

При режење на гатер, на сортиментите се појавуваат попречни, рамномерно распоредени испакнатини или бразди, како последица на кинематиката на режењето. Овие жлебови одговараат на поместувањето по вртеж на гатерската рамка.

Рапавоста на површината, како еден од показателите за квалитетот на површината, има повеќекратно значење при обработката на површината на дрвото. Најголем дел од физичките, механичките, хемиските и естетските својства на дрвото зависат од рапавоста на површината. Тоа зависи од многу фактори како што се: видот на режењето, брзината на режење, брзината на помошното движење, предниот и задниот агол од забите, длабочината на режењето, аголот на контактот, вибрациите на алатот, влажноста на дрвото, насоката на помошното движење.

Постојат два вида на рапавост:

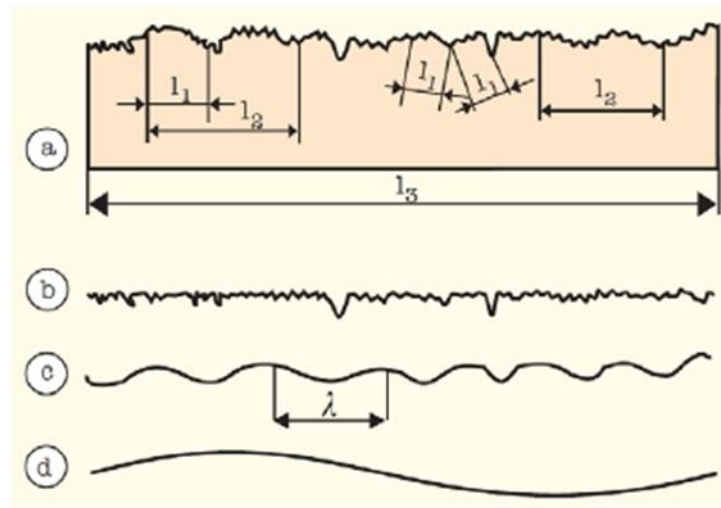
- ✓ рапавост при обработка - последица на условите и режимот на обработка и
- ✓ структурна рапавост - последица на внатрешната структура на дрвниот вид.

Проценката на рапавоста на површината на дрвото е тешка задача, бидејќи рапавоста на дрвото зависи од клеточната структура на дрвните видови и од обработката.

Постојат два системи за дефинирање на рапавоста:

- ✓ систем „М“ (Medium) – систем на средна линија
- ✓ систем „Е“ (Envelope) – систем на завојна линија.

Суштинската разлика помеѓу овие два системи е во начинот на пристапување кон проблемот на рапавоста и начинот на негово издвојување од другите видови отстапувања. Системот М е прифатен од Меѓународната организација за стандардизација (ISO) и пошироко се користи во пракса. Суштината на одвојувањето на рапавоста од отстапувањето на обликот и брановидноста во системот „М“ се состои во изборот на должината на дел од профилот на површината (Слика 3.24). Според овој систем, профилот на површината е поделен на надолжни делови.



Слика 3.24. Поделба на одредени видови отстапувања во системот „М“:
 а – комплексен површински профил со сите видови отстапувања,
 б – рапавост претставена со делови од профилот l_1 , с – брановидност претставена
 делови од профилот l_2 , д – отстапување на формата од
 вкупната должина на профилот l_3 ,
 (Јаић, Живановић-Трбојевић, 2000)

Должината поврзана со рапавоста се нарекува референтна должина (l). Референтната должина е договорената должина на делот од профилот кој служи за одредување на рапавоста, така што се елиминираат другите видови отстапувања.

Набљудуваната должина е должината на профилот на површината неопходна за сигурно одредување на карактеристиките на рапавоста. Вклучува најмалку една референтна должина и по правило треба да вклучува неколку референтни должини. Правилниот избор на големината на референтната должина ги исклучува грешките во обликот и брановидноста.

Изборот на референтната должина е оставен на искуство и експериментирање, бидејќи иста големина на референтната должина за различни површини нема да ги елиминира отстапувањата во формата и брановидноста, односно истата површина за различни големини на референтната должина ќе даде различни вредности на рапавост.

Средната линија на профилот (m) е линија која има облик на геометриски профил и која го пресекува ефективниот профил така што, во границите на референтната должина, збирот на квадратите на растојанијата $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ од сите точки на профилот од таа линија е минимум. Средната линија служи како почетна точка за одредување нумерички вредности во системот „М“, средното отстапување на профилот, што е и најчесто користениот критериум за рапавост.

Горната линија на профилот (y_g) е линија која, во границите на референтната должина, ја допира највисоката точка на ефективниот профил и е повлечена паралелно со средната линија на профилот. Долната линија на профилот (y_d) е линија која, во границите на

референтната должина, ја допира најниската точка на ефективниот профил и е повлечена паралелно со средната линија на профилот. Растојанието помеѓу горните (y_g) и долните (y_d) линии на профилот е максималната длабочина на испакнатините или максималната висина на испакнатините $R_{max} = Y_g - Y_d$.

3.4. Претходни истражувања

Низ историјата е докажано дека пилата била и останува еден од најкористените рачни алатки. Датира од времето на неолитската револуција пред 9500 години (Џонс и Симонс, 1961). Во наредниот период, употребата на пилата продолжила низ бронзеното и железното време, а потоа е пренесена во времето на Римската империја. Се повеќе се користела во градежништвото. Рачната пила со затворена рачка каква што ја знаеме денес има свое потекло кон крајот на 18 век. Пред него се користеле пили со отворена рачка. Забите на пилата се формирале со рака и се прилагодувале со мал чекан и наковална. Во земјите во развој, каде што столарите ги гледаат своите алатки како инвестиција, овој метод е сè уште широко распространет.

Голем број теоретичари и научници биле ангажирани во истражување на полето на режењето со кружна пила.

Меѓу факторите со најголемо влијание врз обработливоста на дрвото се:

1. Својства на дрвото:

структурни својства, хемиски состав и технички својства и

2. Технолошки фактори:

алат (геометрија на материјалот и острицата), машина (компактност и точност, динамички карактеристики, толеранција во водилките и другите кинематички склопови), струготини (димензии, форма, способност за кршење, отстранување на струготини од зоната на режење), методи на обработка (режење, глодање, стругање, дупчење и дробење) и режим на обработка (брзина на режење, брзина на помошно движење, длабочина на режење).

Значителен број студии се занимавале со влијанието на овие фактори врз обработливоста на дрвото (Franz, 1958; McKenzie, 1961; Davis, 1962; Afanasev, 1961). Резултатите од нивното истражување укажуваат дека во преработката на дрво постои директна корелација помеѓу споменатите фактори и моќта на режење.

3.4.1. Процес на режење на дрвото

Процесот на режење дрво е составен од четири неразделни единици (Марко и Холик, 2000). Првиот е работното парче (тип на дрво, влажност, густина, температура, димензии, јачина итн.). Втората единица се состои од услови за режење (тие претставуваат збир на фактори кои директно влијаат на работното парче, алатот и уредот и се неопходни за изведување на процесот на режење). Третата единица е механизмот за режење (главно

движење, храна, сили за режење, перформанси на моторот итн.). Четвртата единица е претставена со алатот (број на сечила, тип на материјал, геометрија на алатот итн.). Познавањето на секој од овие потсистеми придонесува за намалување на производните трошоци и заштеда на енергија (Kovač, 2010).

(Крилов, 1980) изјавил дека една од основните карактеристики на дрвото која во голема мера влијае на однесувањето на кружната пила е несомнено содржината на влага во дрвото.

(Orlovski et al., 2013; Aquilera and Martin, 2001; Kovač and Mikleš, 2010) изјавиле дека потрошувачката на енергија при механичка обработка на дрвото е позитивна корелација со потребната моќност на режење: поголемата моќ на режење влијае на поголема потрошувачка на енергија.

Ковач и Миклеш (2010) ја истражуваа потрошувачката на енергија во процесот на режење дрво со кружна пила и го проучуваа влијанието на различната геометрија на алатот.

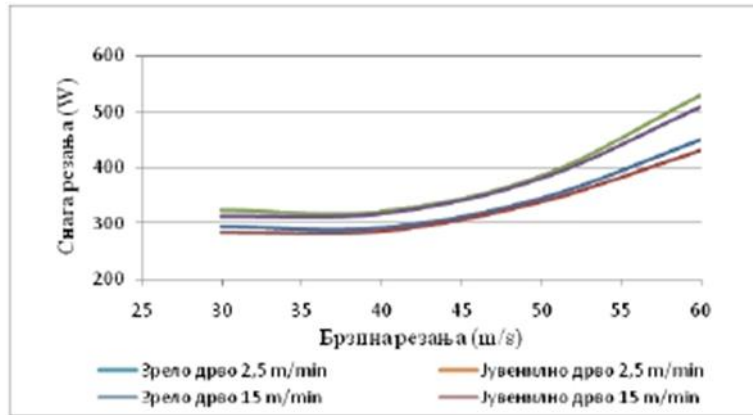
3.4.2. Брзина на поместот

(Alam et al., 2002) развиле метод за оптимизирање на брзината на помошното движење со цел да се обезбеди стабилност на острицата на кружната пила при режење дрво. Тие ја одржувале стабилноста на острицата на кружната пила во гранични рамки на таков начин што брзината на помошното движење автоматски се менувала во зависност од стабилноста. Колку е пилата понестабилна, толку повеќе автоматски се намалувала брзината на помошното движење и обратно, колку е пилата постабилна, толку повеќе се зголемувала брзината на помошното движење. Така, тие постигнале најголема можна брзина на помошно движење, без намалување на стабилноста на пилата и со тоа постигнале задоволителен квалитет на обработка.

Микулаш и Лубош (2006) ја истражувале зависноста на силите за режење од брзината на помошното движење, големината на истуреноста на кружната пила и видот на пилата при режење-сврча. Тие дошле до следните заклучоци: брзината на помошното движење се покажала како најважниот фактор што влијае на потрошувачката на енергија во процесот на режење, а со тоа и на моќта на режење; вториот најзначаен фактор што влијаел на моќта на режење била истуреноста на кружната пила над обработуваното парче, додека промената на типот на пилата (со иста геометрија) имало најмало влијание врз моќта на режење на овие три фактори.

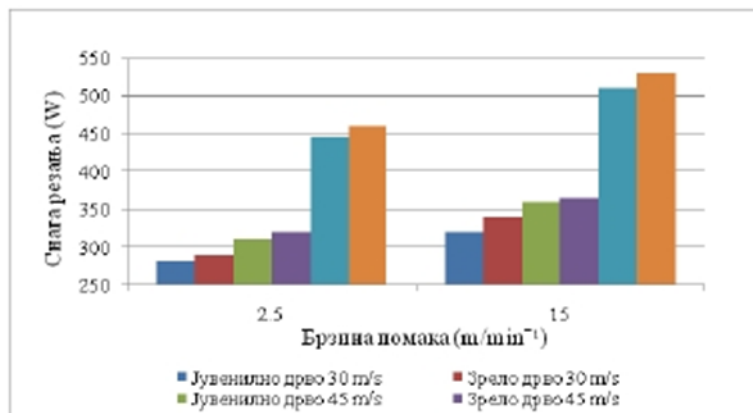
Вредноста на моќноста потребна за режење се намалува со намалување на вредноста на брзината на режење и брзината на помошното движење (Barcik et al., 2008).

На слика 3.25 е прикажана зависноста на моќта на режење од брзината на режење за време на рамнење.



Слика 3.25: Зависност на моќноста на режење од брзината на режење за време на рамнење на канадска топола, (Barcik et al., 2008)

На слика 3.26 е прикажана зависноста на моќта на режење од брзината на помошното движење при рамнењето. Експериментот, исто така, го потврдил влијанието на различниот анатомски и хемиски состав на јуvenilното дрво во споредба со зрелото дрво врз физичките и механичките својства на тоа дрво, а со тоа и врз силата на режење при механичка обработка на јуvenilното дрво.



Слика 3.26: Зависност на моќта на режење од брзината на помошното движење при рамнење на канадска топола, (Barcik et al., 2008)

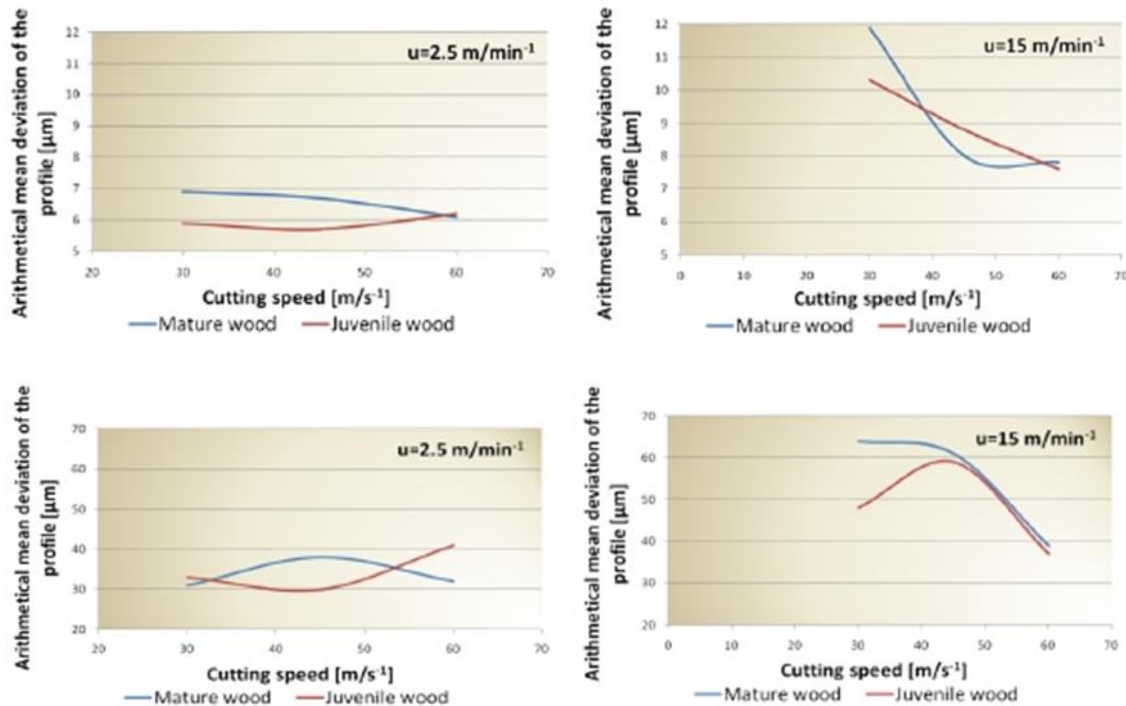
Авторот открил слични корелации со испитување на буковото дрво, кога се обработува со глодање (Barcik et al., 2010). Вредноста на моќноста потребна за режење се зголемува со зголемување на вредноста на брзината на режење, каде што растот е најинтензивен над 30 m/s. Брзината на помошното движење исто така има директно пропорционален ефект, при што поголемото зголемување на моќноста потребна за режење се забележува при зголемување на брзината на помошното движење од 4–8 m/min, во споредба со зголемувањето од 8–11 m/min..

Малкочоглу (2007) го анализира влијанието на брзината на помошното движење и предниот агол врз рапавоста на обработената површина (Малкочоглу, 2007). Испитувајќи неколку видови дрво, кои растат во регионот на Црното Море во Турција, тој покажал дека

со намалување на брзината на помошното движење и предниот агол (при постојана длабочина на глодање), квалитетот на обработената површина се зголемува, со поголемо влијание на предниот агол во однос на брзината на помошното движење. Тој, исто така, покажал дека со истите параметри за обработка, четинарите имаат полош квалитет на обработената површина во споредба со лисјарите, што укажува на очигледно влијание на густината врз резултатот од мерењето на рапавоста.

Шкаљиќ и сор. (2009) го истражувале квалитетот на обработената површина при рамнење на примероци од бука, даб и ела на четиристрана рамналка. Примероците од бука се од парено буково дрво и термички модифицирано буково дрво (212°C). Извршени се истражувања на примероци од блистачи, кои биле рамнети во радијална насока при помошни брзини на движење од: 6, 12, 18 и 24 m/min, при константна длабочина на рамнење (2 mm), број на вртежи на работната осовина од 6.000 min⁻¹ и преден агол од 15°. Рапавоста на површината била измерена по должината на обработката, во согласност со стандардот DIN 4768 (1990), со помош на електромеханички профилометар Mitutoyo SJ-201. Резултатите покажале дека со зголемување на брзината на помошното движење исто така ја зголемува рапавоста на површината. Квалитетот на обработената површина за различни видови дрво покажа разлики во еднакви услови за обработка. Примероците од даб имаа најмала рапавост, а примероците од ела со најголема рапавост, додека не е забележана значајна разлика помеѓу површинскиот квалитет на примероците од парена бука и термички модифицираната бука, и покрај многу полошите механички својства на термички модифицираното дрво во споредба со парената бука.

Барцик и сор. (2009) го истражувале влијанието на брзината на режење и брзината на помошното движење врз квалитетот на обработената површина на дрвото од топола. Слика 3.27. ги покажува резултатите од тоа истражување. Забележливо е дека подобар квалитет на површината се постигнува со преработка на јувенилно дрво во споредба со зрело дрво.



Слика 3.27: Средно аритметичко отстапување на профилот R a и максимум висина на профилот Rz при помошни брзини на движење од 2,5 m/min и 15 m/min, (Barcik et al., 2009)

3.4.3. Алат (геометрија, испакнување, абеење)

(Korecky et al., 2011) спровеле студија во која го истражувале влијанието на геометријата на алатот и вибрациите врз рапавоста и брановидноста на површината при режење на тврдо дрво (бука) и иглолисно дрво (смрча) со кружна пила. Авторите режеле со три кружни пили со ознаки K8, K9 и K10. Пилите имале иста дебелина (2,4 мм), ист број на заби (36) и иста геометрија на острицата. Пилата K8 е направена со неконвенционален распоред на забите, а пилата K10 без придушување на бучавата. Резултатите што ги постигнале покажале дека најдобар квалитет на режење се постигнува при режење со пилата K8.

Вредностите на рапавоста и брановидноста биле речиси 50% пониски од другите два типа на кружни пили. Ова укажува на фактот дека неконвенционалното распоредување на забите, благодарение на нерамномерната дебелина на струготината и подоброто засилување на кружната пила, позитивно влијае на квалитетот на површината.

(Aguilera, 2011) во своето истражување дошол до заклучок дека рапавоста на површината во најголема мера зависи од брзината на режење, брзината на помошното движење и дебелината на струготината, но до одреден степен зависи и од карактеристиките на алатот: обликот на острицата, геометријата на острицата и истуреноста на кружната пила во однос на површината на работната маса.

Кониши (1972) направил студија во која дошол до заклучок дека абеењето на алатот значително влијае на моќноста на режењето. Тој исто така навел дека моќта на режење се зголемува со зголемувањето на волуменската маса на работното парче.

Ковач и Крилек (2011) истакнале дека во практиката се јавуваат одредени последици поради намалување на квалитетот на острицата на алатот за режење и на тој начин влијаат на целиот процес на режење. Целта на истражувањето била да се стекнат сознанија за степенот на абеење на алатот и да се развие соодветна методологија за евалуација на абеењето на сечилата. Нагласиле дека во иднина ќе биде потребно да се генерализира наведената методологија за мерење на абеењето на алатот за режење. (Sandak, J. et al., 2011) истакнал дека абеењето на алатот е природен феномен кој се јавува при обработка на дрво. Тие, исто така, заклучија дека степенот на абеење на алатот и зголемувањето на абеењето зависат од многу фактори: агли на режење, материјал за алат, обработливост на дрвото, брзина на обработка итн. Во нивната работа, тие го мереле степенот на абеење на алатот со помош на ласерски микроскоп. Истакнале и дека острицата позитивно влијае на квалитетот на обработката. Затоа, од индустриска гледна точка, од клучно значење е да се зголеми животниот век на алатот додека се уште е доволно остар за да се осигура дека барањата за квалитет се исполнети.

(Kminiak et al., 2015) го испитувале квалитетот на резната површина при режење на бука со три кружни пили. Дошле до заклучок дека најдобар квалитет на режењето се постигнува со пила со 60 заби, малку полош квалитет со пила со 40, а најлош со пила со 24 заби. Исто така, со зголемувањето на бројот на забите, дојде до намалување на степенот на абеење на алатот, така што абеењето е најмало кај пилата со најголем број заби, а највисок степен на абеење е постигнат кај пилата со 24 заби.

(Ratnasingam et al., 1999) истакна дека стабилноста на кружната пила за време на процесот на режење е од суштинско значење за квалитетот на обработената површина и економичното користење на работното парче.

Beljo-Luic и Goglia (1998) истакнаа дека главниот проблем при користење на кружна пила е страничната стабилност на пилата. Тие дошле до заклучок дека пилата станува понестабилна како што се зголемува брзината на помошното движење.

4. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Како дел од дисертацијата поврзана со истражување на квалитетот на резната површина и моќта на режење при обработка на буково дрво на кружна пила, неопходно е да се спроведат обемни теоретски и експериментални истражувања кои треба да доведат до реализација на очекуваните научни придонеси.

Методите што се користат во ова истражување ги вклучуваат сите фази на работата, од претходното истражување и собирање литература, преку експерименти и обработка на податоци, до заклучоци и анализи.

Основните методи на статистичка обработка на податоците и методите на компаративна анализа, кои беа користени во дисертацијата, се:

- Методи на планирање експерименти;
- Статистички методи на експериментална обработка на податоци;
- Методи на анализа и избор на функции на теоретска дистрибуција;
- Непараметриски методи за евалуација на избраната дистрибуција.

Од експерименталните методи беа користени:

- метод за индиректно мерење на моќноста потребна за режење со помош на уред за мерење-аквизиција развиен на Шумарскиот факултет во Белград,
- квантитативна (контактна) метода за определување на рапавоста на резната површина,
- мерење на точноста на обработката со дигитален дебломер на назначените места.

Истражувачкиот план за влијанието на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина при режење на кружна пила се состои од следните фази:

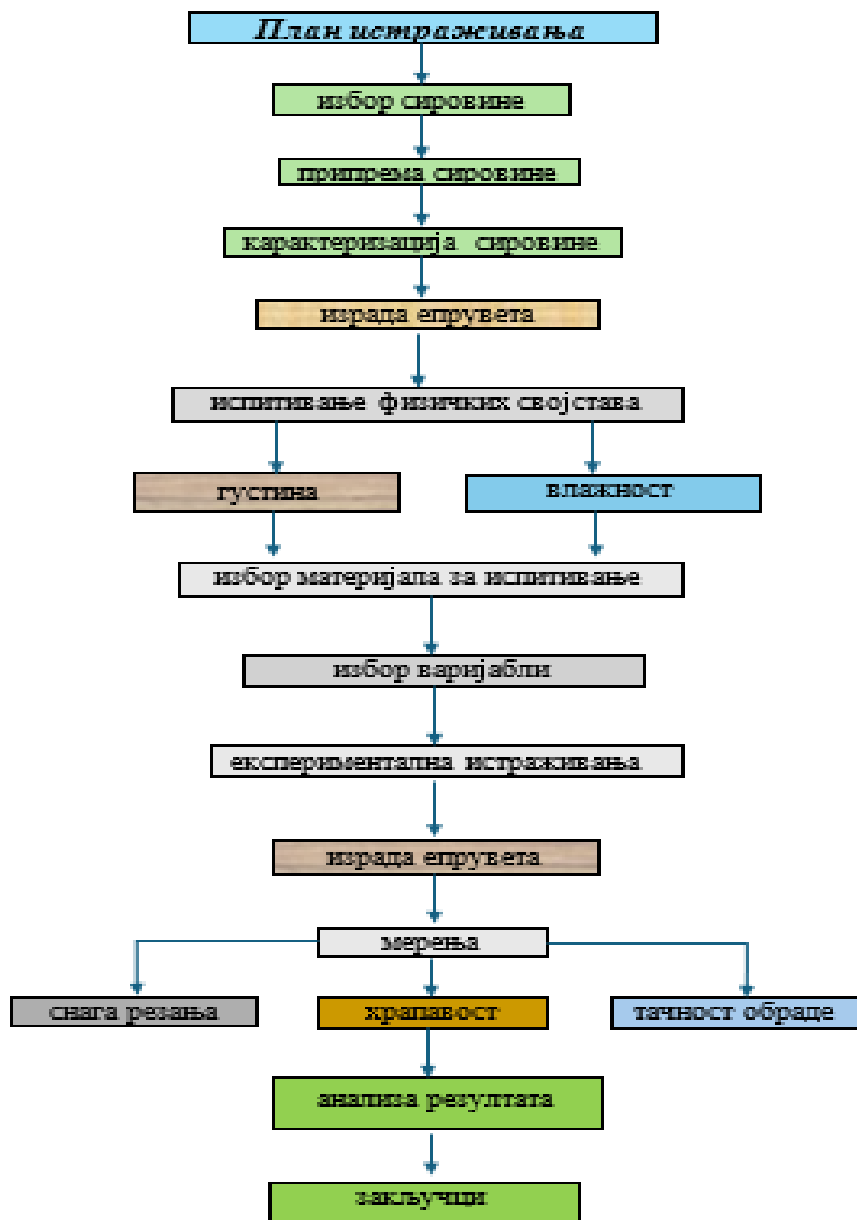
- избор на суровина,
- подготовка на суровини,
- изработка на епрувети за испитување на физички и механички својства,
- испитување и анализа на физичките својства,
- избор на штици за изработка на епрувети за тестирање на влијанието на режимот на обработка врз квалитетот на режењето и врз силите на режењето,
- испитување на влијанието на начинот на обработка врз квалитетот на режењето и врз силите на режењето,
- анализа на резултатите,
- заклучоци.

Буката (*Fagus sylvatica* L) е избрана за тестирање на ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на површината на режењето при режење со кружна пила, како еден од најраспространетите домашни видови, кој е на самиот врв по својата естетика, физички, механички, технолошки и употребни својства на дрво. Фурнирот, граѓата и елементите претставуваат само преодна форма, додека мебелот и другите вредни производи што му се потребни на човекот претставуваат примарна цел. Следен чекор во истражувањето е изборот на соодветни букови штици, потребни за истражувањето, во еден од магацините во Србија. Штиците избрани за истражување мораа да бидат радијални и без видливи дефекти во структурата на дрвото. По подготовката и карактеризацијата на штиците во лабораторијата, потребно е да се изврши статистичка анализа на нивните физички

својства. Врз основа на поставените критериуми беа избрани штици со еднаква влажност и густина, од кои беа изработени епрувети.

Лабораториските тестови вклучуваа мерење на силите на режење и рапавоста на површината, како и мерење на акустични емисии при надолжно режење со кружна пила за различни услови на режење.

На слика 4.1. е даден планот за истражување



Слика 4.1. План за истражување

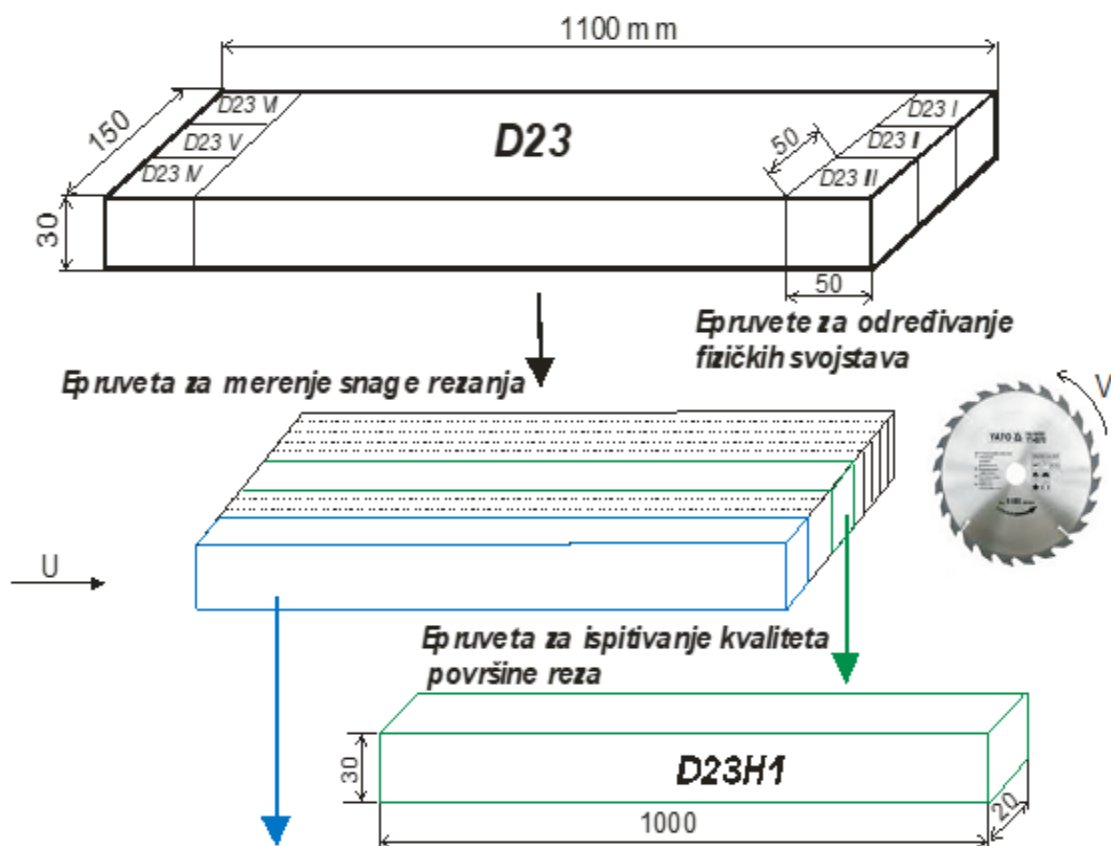
4.1 Избор на суровини и производство на епрувети за испитување на физичките својства

Трупците добиени од избрани букови стебла (*Fagus silvatica* L.) во суровинската основа Гоч беа режени на штици со дебелина од 35 mm на лентовидна пила-трупчарка. Бидејќи во производството на мебел од буково дрво се користи дрво со влажност од 8 до 10%, (Извор: Коларевиќ Д.О.О. Чикевац), сортиментите се сушеа во сушара на влажност од 8% и потоа е извршено кондиционирање. Целта на кондиционирањето е да се намали градиентот на влага на примероците, кој се создал при процесот на сушење, што истовремено ги намалува внатрешните напрегања во дрвото. По сушењето се избираа соодветни штици, се изврши рамнење и деблање и од тие штици се направени примероци од прави влакна, без јазли и пукнатини, со димензии 1100 mm × 30 mm × 150 mm. После тоа, примероците се етикетирани и секој од нив има своја ознака. За тестирање е избран неинфициран, без дефекти, материјал со просечна порозност и густина.

Првиот чекор во развојот на методологијата на оваа докторска дисертација е карактеризација на предметот на трудот. Карактеризацијата на предметот на работата вклучува испитување на физичките својства на штиците (влажност и густина) со цел да се изберат приближно униформни сортименти со цел да се минимизира влијанието на разликите во својствата на штиците врз крајниот резултат на истражувањето. Поради оваа причина, Универзитетот во Белград, Шумарски факултет, ја тестираше влажноста и густината на сите штици кои беа доставени до Центарот за машини и алати на Шумарскиот факултет. После тоа, сите штици беа преиспитани. Врз основа на визуелен преглед, отфрлени се табли со последователни забележани грешки во структурата на дрвото (неправилна структура, јазли, искривени влакна и сл.).

На слика 4.2 е прикажан редоследот и начинот на изработка на дабовите епрувети потребни за тестирање на физичките својства, како и епруветите потребни за анализа на ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина при режење букови штици на кружна пила. Како што се гледа од сликата, по изрежување на епрувети за определување на густината и влажноста со димензии 50x50x30 mm, добиени се епрувети за мерење на силата на режење при режење со кружна пила со широчина до 150 mm, дебелина 30 mm и должина од 1000 mm. Се мереше моќноста на режење при секое поминување на алатот, а по секое петто поминување се режеше епрувета за мерење на рапавоста на обработената површина со димензии 30x20x1000 mm.

Пред почетокот на обработката, епруветите беа кондиционирани на температура од 20±2°C и релативна влажност на воздухот од 65±5%.



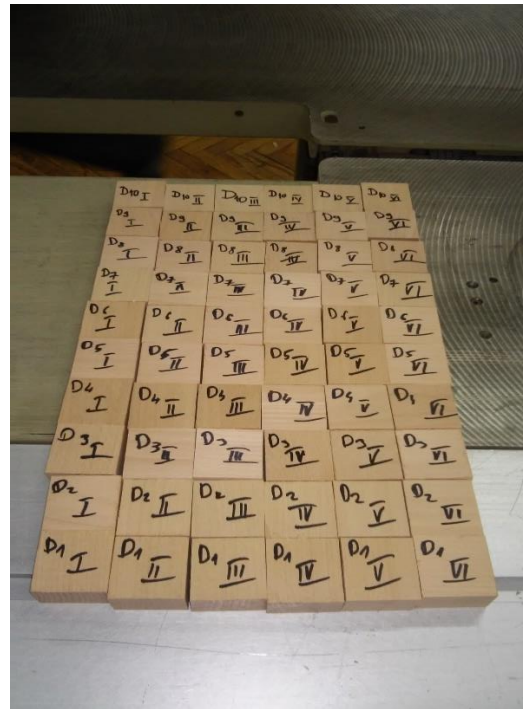
Слика 4.2. Постапка за изработка на епруветни потребни за истражување

Сортиментите, кои беа подложени на тестови, се означени со шифри и се прикажани на слика 4.3.



Слика 4.3. Букови штици на кои се испитувани физичките својства

После тоа, на секоја штица беа означени и изрежани шест епрувети со димензии 50x50x30 mm, по три на секоја страна од штицата. Секоја епрувета има соодветна шифра (на пр. епруветите изрежани од 4-та штица се шифрирани со D4f1, D4f2, D4f3, D4f4, D4f5 и D4f6). Епруветите за тестирање на физичките својства се прикажани на слика 4.4.



Слика 4.4. Епрувети за испитување на физичките својства

4.1.1. Испитување и анализа на физичките својства

По обележувањето се измерени димензиите на секоја епрувета за да се добие волуменот, а по мерењето на димензиите се измерени и нивните маси (Слика 4.5.).



Слика 4.5. Мерни епрувети за пресметување на влажноста и густината

По сушењето на епруветите до апсолутно сува состојба, се мери тежината на секоја епрувета и се одредува влажноста на примерокот со помош на гравиметрискиот метод. Влагата на дрвото е одредена со гравиметриска метода во согласност со стандардот ISO 3130 - 1975 (E), врз основа на податоците за дрвните маси во влажни и апсолутно суви услови. Апсолутна влажност се пресметува според формулата:

$$V = \frac{m_v - m_0}{m_0} \times 100[\%]$$

где су: V – апсолутна влажност [%],

m_v – маса на влажна епрувета [g],

m_0 – масата на епрувета во апсолутно сува состојба на влажност [g].

Густината на дрвото се одредува во согласност со стандардот ISO 3131 - 1975 (E), кој предвидува определување на волумната маса на дрвото. Волумната маса на апсолутно суво дрво се пресметува според следната формула:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{v_0} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

где су: m_0 - измерената маса на епрувета во апсолутно сува состојба на влажност [g],

v_0 - измерен волумен на епрувета во апсолутно сува состојба на влажност [cm³]

Прикажаните резултати се дадени во табелата 4.1.

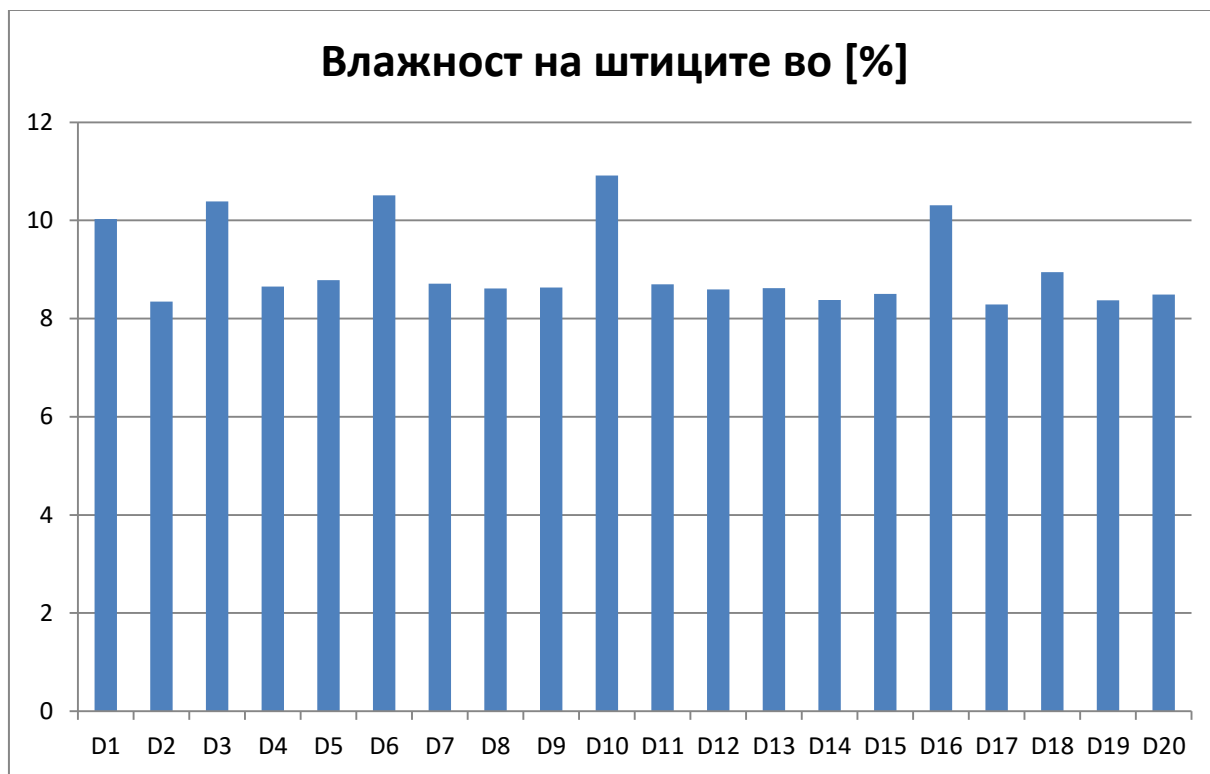
Табела 4.1 *Добиени вредности на влажност и густина на епруветите*

Етикета на епрувета	Маса на влажно дрво m_v [g]	Маса на апсолутно суво дрво m_0 [g]	Должина на пробата [mm]	Ширина на примерокот b [mm]	Дебелина на примерокот d [mm]	Волумен на примерок V [cm ³]	Влажност на примероките v [%]	Средна влажност на штиците v [%]	Волуметриска маса на епрувети ρ [g/cm ³]	Просечна волуменска маса на штиците ρ [g/cm ³]
D1f1	48	43.63	50.3	51.06	29.78	76.48451	10.016		0.62757805	
D1f2	48.97	44.3	49.89	51.13	29.99	76.50076	10.5418		0.64012434	
D1f3	37.95	34.28	38.4	51.04	29.64	58.0925	10.706	10.0296	0.65326846	0.62826878
D1f4	37.29	33.96	39.18	51.12	29.89	59.86613	9.80565		0.62288976	
D1f5	46.31	42.25	49.68	51.16	29.93	76.07095	9.60947		0.60877378	
D1f6	47.38	43.27	50.57	51.13	29.7	76.79363	9.4985		0.61697826	
D2f1	55.76	51.42	50.26	51.35	30.06	77.58038	8.4403		0.71873841	
D2f2	53.27	49.16	49.86	51.48	29.85	76.61877	8.36046		0.69526049	
D2f3	55.36	51.02	49.88	51.33	29.74	76.14452	8.50647	8.34833	0.7270385	0.68146724
D2f4	49.37	45.58	50.4	51.08	29.66	76.35765	8.31505		0.64656256	
D2f5	50.13	46.37	49.89	51.2	29.86	76.27343	8.10869		0.65724068	
D2f6	49.26	45.46	50.22	51.2	29.75	76.4951	8.359		0.64396278	
D3f1	56.33	51.06	49.96	51.01	30.18	76.91251	10.3212		0.7323906	
D3f2	55.2	49.98	49.29	51.04	29.59	74.44139	10.4442		0.741523	
D3f3	54.64	49.49	50.19	51.03	29.31	75.06865	10.4061	10.3886	0.72786713	0.72658434
D3f4	55.19	50.04	50.04	51.09	29.42	75.21351	10.2918		0.73377772	
D3f5	54.72	49.54	49.81	51.3	29.84	76.24875	10.4562		0.71765111	
D3f6	53.34	48.31	50.02	51.18	29.5	75.5207	10.4119		0.70629645	
D4f1	45.9	42.28	50.52	51.54	30.28	78.84309	8.56197		0.58216898	
D4f2	48.63	44.89	50.09	51.1	30.23	77.37668	8.33148		0.62848395	
D4f3	35.53	32.68	40.64	51.47	29.88	62.50122	8.72093	8.65645	0.56846895	0.60646127
D4f4	47.23	43.39	50.64	51.26	29.96	77.77036	8.84997		0.60730078	
D4f5	49.38	45.46	50.37	51.2	30	77.36832	8.62297		0.63824573	
D4f6	47.1	43.27	50.35	51.1	29.81	76.6977	8.8514		0.61409923	
D5f1	50.83	46.76	49.95	51.17	30.04	76.78048	8.70402		0.6620172	
D5f2	51.18	47.13	50.3	51.29	30.02	77.44821	8.59325		0.66082872	
D5f3	45.18	41.49	46.44	51.09	29.4	69.75502	8.89371	8.78203	0.64769535	0.65958103
D5f4	47.32	43.45	50.47	51.31	29.72	76.96338	8.90679		0.61483787	
D5f5	51.88	47.73	50.05	51.26	29.93	76.7873	8.69474		0.67563255	
D5f6	53.84	49.44	50.53	51.2	29.88	77.30362	8.89968		0.69647447	
D6f1	53.23	48.17	50.1	51.03	29.07	74.32045	10.5045		0.7162228	
D6f2	54.27	49.08	49.88	51.52	29.49	75.78392	10.5746		0.71611497	
D6f3	52.48	47.5	49.3	51.51	29.53	74.98975	10.4842	10.5081	0.69982896	0.70504562
D6f4	55.2	49.95	50.15	51.13	29.32	75.18145	10.5105		0.73422367	
D6f5	53.15	48.07	50.31	51.45	29.72	76.92872	10.5679		0.69089932	
D6f6	50.71	45.93	50.1	51.07	29.45	75.35098	10.4071		0.67298398	
D7f1	50.08	46.16	49.9	51.1	29.99	76.4712	8.4922		0.65488706	

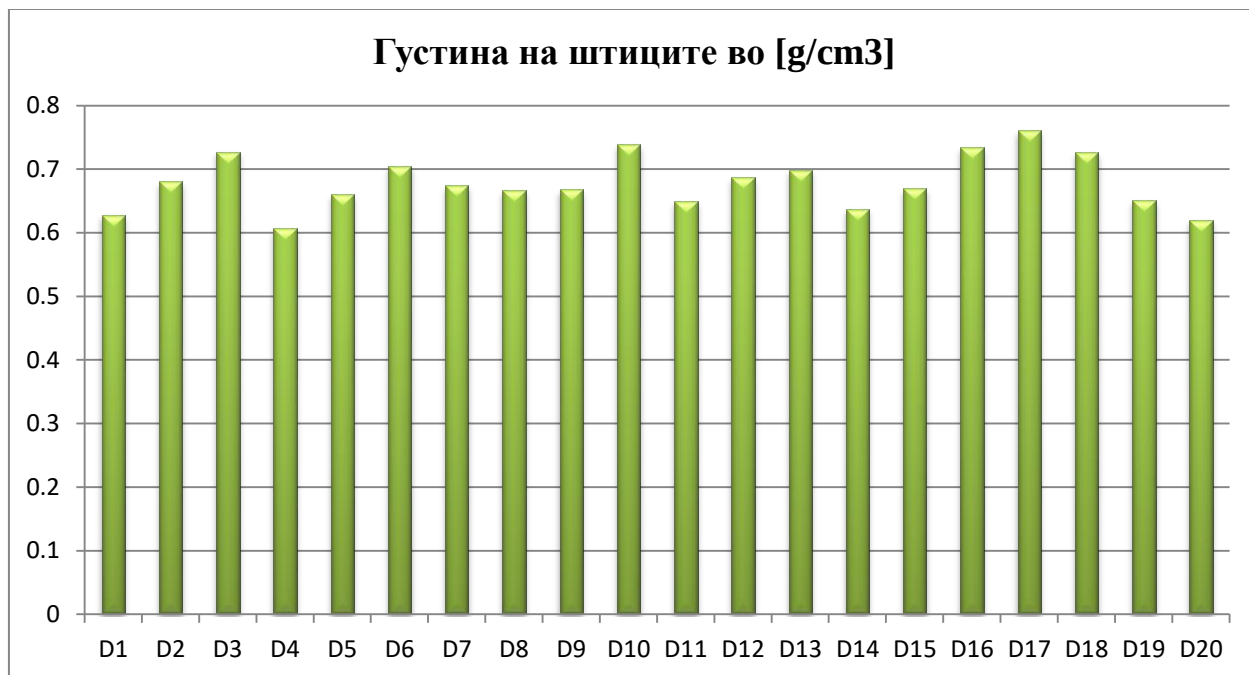
D7f2	51.2	47.19	49.96	51.58	29.93	77.12772	8.49756		0.66383398	
D7f3	55.57	51.09	50.76	51.25	29.66	77.15901	8.76884	8.70877	0.72020108	0.67428556
D7f4	52.99	48.71	50.42	51.52	29.88	77.61744	8.7867		0.68270743	
D7f5	50.99	46.85	50.48	51.56	29.95	77.95233	8.83671		0.65411774	
D7f6	51.67	47.46	50.46	51.22	29.84	77.12331	8.87063		0.66996609	
D8f1	52.58	48.35	51.37	51.16	30.03	78.92152	8.74871		0.66623148	
D8f2	49.22	45.38	50.19	51.22	29.83	76.68493	8.46188		0.6418471	
D8f3	53.41	49.17	50.59	51.27	29.66	76.9306	8.62314	8.61345	0.69426206	0.66582372
D8f4	50.18	46.18	50.38	51.21	30	77.39879	8.66176		0.64833052	
D8f5	50.33	46.35	50.11	51.12	29.96	76.74623	8.58684		0.65579768	
D8f6	52.92	48.73	50.5	51.18	29.74	76.86571	8.5984		0.68847347	
D9f1	51.15	47.09	50.3	51.71	29.86	77.66625	8.62179		0.65858724	
D9f2	51.14	47.17	49.78	51.2	30.91	78.78143	8.41637		0.64913775	
D9f3	56.3	51.79	49.82	51.27	30.32	77.44551	8.70824	8.63394	0.72696275	0.66787313
D9f4	49.93	45.92	49.34	51.17	29.77	75.16115	8.73258		0.66430599	
D9f5	50.83	46.78	50.07	51.18	29.95	76.74935	8.65755		0.66228575	
D9f6	49.65	45.69	50.43	51.06	29.85	76.86243	8.6671		0.64595928	
D10f1	59.13	54.7	49.63	51.02	30.17	76.39414	8.09872		0.77401226	
D10f2	59.65	55.3	49.57	51.1	30.37	76.92803	7.86618		0.77540007	
D10f3	56.94	52.61	49.18	50.94	30.42	76.20907	8.23037	10.9166	0.74715514	0.73860362
D10f4	50.82	46.5	50.34	51.34	30.2	78.05056	9.29032		0.65111641	
D10f5	57.93	49.13	50.31	51.32	30.1	77.71547	17.9117		0.74541146	
D10f6	53.4	46.8	47.4	51.31	29.73	72.30615	14.1026		0.73852634	
D11f1	47.59	43.82	50.05	51.31	30.5	78.326	8.60338		0.60758881	
D11f2	50.92	46.86	49.74	51.3	29.88	76.24366	8.66411		0.6678588	
D11f3	50.52	46.3	50.35	51.17	29.8	76.777	9.11447	8.69941	0.65800953	0.64921467
D11f4	49.14	45.25	50.75	51.18	29.66	77.03844	8.59669		0.63786339	
D11f5	52.56	48.41	50.49	51.29	29.84	77.27462	8.57261		0.68017156	
D11f6	49.64	45.69	50.45	51.03	29.95	77.10518	8.64522		0.6437959	
D12f1	52.33	48.2	49.95	51.13	29.84	76.20967	8.56846		0.68665823	
D12f2	53.18	48.98	50.04	51.18	30.12	77.13874	8.57493		0.68940715	
D12f3	52.89	48.67	49.87	51.05	29.96	76.27407	8.67064	8.59219	0.69342045	0.68745472
D12f4	54.65	50.2	50.76	50.98	30.51	78.95209	8.86454		0.6921919	
D12f5	53.34	49.21	50.41	51.33	30.1	77.88511	8.3926		0.68485488	
D12f6	52.31	48.22	50.3	51.7	29.66	77.13113	8.48196		0.67819572	
D13f1	51.83	47.69	49.12	51.3	29.47	74.26016	8.68107		0.69795167	
D13f2	53.01	48.81	50.2	51.2	29.79	76.56745	8.60479		0.69233075	
D13f3	49.81	45.78	50.2	51.03	29.97	76.77433	8.80297	8.62175	0.64878457	0.69920923
D13f4	51.65	47.55	50.33	51.07	30.16	77.52185	8.6225		0.66626377	
D13f5	56.58	52.15	49.8	51.19	30.03	76.55434	8.49473		0.73908287	
D13f6	56.78	52.32	49.58	51.2	29.79	75.6218	8.52446		0.75084173	
D14f1	49.7	45.87	50.5	51.16	30.16	77.92077	8.34968		0.63782735	
D14f2	48.67	44.99	50.19	51.14	30.07	77.18117	8.1796		0.63059424	
D14f3	49.14	45.35	50.17	51.12	30.04	77.0433	8.35722	8.38003	0.63782315	0.6366434
D14f4	46.8	43.16	50.39	51.11	30.31	78.06137	8.43373		0.59952829	
D14f5	49.47	45.66	50.32	51.17	30.12	77.55522	8.34428		0.63786811	
D14f6	51.94	47.82	50.46	51.08	29.8	76.8094	8.61564		0.67621928	
D15f1	50.39	46.5	50.67	51.16	30.18	78.23493	8.36559		0.64408574	

D15f2	51.68	47.8	50.14	51.19	30.01	77.02566	8.11715		0.6709452	
D15f3	51.66	47.71	50.06	51.25	29.97	76.89028	8.27919	8.5008	0.67186643	0.66881275
D15f4	51.15	47.07	50.67	51.04	29.72	76.86177	8.66794		0.66548039	
D15f5	50.79	46.76	50.02	51.45	30.03	77.28308	8.61848		0.65719434	
D15f6	53.77	49.35	49.92	51.17	29.93	76.45338	8.95643		0.70330439	
D16f1	56.66	51.4	50.52	51.24	30.03	77.737	10.2335		0.72886782	
D16f2	55.61	50.41	50.16	51.13	29.9	76.68396	10.3154		0.72518429	
D16f3	52.49	47.61	47.4	51.13	29.51	71.51931	10.2499	10.3105	0.73392761	0.73401216
D16f4	57.12	51.79	49.88	51.1	29.71	75.72687	10.2916		0.75428974	
D16f5	57.3	51.89	50.8	51.11	29.92	77.68393	10.4259		0.7376043	
D16f6	53.75	48.71	48.57	51.09	29.91	74.21991	10.347		0.72419921	
D17f1	57.94	53.48	50.66	51.26	29.83	77.46349	8.33957		0.7479653	
D17f2	57.27	52.92	50.7	51.16	31.06	80.5638	8.21995		0.71086517	
D17f3	60.16	55.53	50.01	51.2	29.6	75.79116	8.33784	8.28916	0.79376017	0.76139577
D17f4	57.84	53.38	49.41	51.1	30.01	75.77078	8.35519		0.76335497	
D17f5	60.17	55.61	49.03	51.59	30.14	76.23786	8.19996		0.78924046	
D17f6	60.27	55.66	50.64	51.13	30.5	78.97131	8.28243		0.76318858	
D18f1	48	43.8	42.11	51.12	29.61	63.74036	9.58904		0.75305508	
D18f2	52.85	48.17	50.22	51.51	29.86	77.24281	9.71559		0.68420608	
D18f3	54.45	49.84	50.58	51.16	30.02	77.68194	9.2496	8.94755	0.70093514	0.72553052
D18f4	47.25	43.51	42.64	50.74	29.82	64.51717	8.59573		0.7323632	
D18f5	60.18	55.59	49.6	51.03	30.55	77.32474	8.25688		0.77827615	
D18f6	54.28	50.13	50.19	51.25	29.96	77.06424	8.27848		0.70434748	
D19f1	49.95	45.99	50.47	51.24	29.86	77.22043	8.61057		0.64684952	
D19f2	51.18	47.27	50.14	51.2	30.13	77.34877	8.27163		0.66167825	
D19f3	50.87	47.08	50.36	51.2	30.34	78.22963	8.05013	8.37582	0.65026515	0.65130881
D19f4	49.21	45.39	50.96	51.01	29.86	77.62016	8.41595		0.63398476	
D19f5	50.17	46.3	50.74	51.03	29.87	77.34126	8.35853		0.64868349	
D19f6	51.81	47.73	50.42	51.11	30.17	77.74707	8.54808		0.66639167	
D20f1	43.96	40.53	46.13	51.09	29.77	70.16139	8.46287		0.62655542	
D20f2	48.22	44.53	50.08	51.15	29.98	76.79653	8.28655		0.62789297	
D20f3	47.88	44.13	50.34	51.34	29.88	77.22353	8.49762	8.49071	0.62001825	0.62042537
D20f4	42.53	39.19	44.96	51.14	29.8	68.51778	8.52258		0.62071479	
D20f5	47.03	43.37	50.52	51.15	29.9	77.26453	8.43901		0.6086881	
D20f6	47.3	43.5	50.48	51.27	29.54	76.45276	8.73563		0.61868272	

На слика 4.6. е прикажана влажноста на штиците добиена со гравиметриска метода, а на слика 4.7. е прикажана густината на плочите добиени како однос на масата и волуменот на епруветите.



Слика 4.6. Влажност на штиците во [%]



Слика 4.7. – Густина на штиците во [g/cm³]

Следното може да се заклучи од табеларниот приказ, но и од графичкиот приказ:

- 1 – Сортиментот со поврзаната шифра D17 има најниска содржина на влага, што е 8,28916 %.
- 2 – Сортиментот со поврзаната шифра D10 има најголема содржина на влага, што е 10,9166 %.
- 3 – Сортиментот со поврзаната шифра D4 има најмала волуметриска тежина, што е 0.60646127 g/cm³.
- 4 – Сортиментот со поврзаната шифра D17 има најголема волуметриска маса, која изнесува 0.76139577 g/cm³.
- 5 – Сортиментот со соодветната шифра D1, D3, D6, D10 и D16 имаат содржина на влага над 10 %
- 6 – Сортиментот со поврзаната шифра D3, D6, D10, D13, D16, D17 и D18 имаат густина над 0,7 g/cm³
- 7 – Сортиментите кои според содржината на влага и волумната маса претставуваат најуниформна група и затоа претставуваат најпогодни штици за анализа на влијанието на начинот на обработка врз квалитетот на режењето, се сортиментите со придружните шифри D2, D5. , D7, D8, D9, D11, D12, D14, D15 , D19 и D20.

4.2. Експериментални мерења

По утврдувањето на физичките својства на штиците кои беа изрежани со цел да се испита ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на режењето, се мереше моќта на режење и акустичните емисии при одредени режими на обработка. Веднаш по режењето, се мереше рапавоста и точноста на обработката за секој режим на обработка.

Режимите на обработка се одредуваат со следните параметри кои претставуваат независни променливи:

- ✓ **TW** – (Tool Wearing) – Абење на алатот – Големина на затапеност на алатот [μm]. Истражувањето е спроведено при режење со остра пила (Стапка на абење на алатот TW1).
- ✓ **u** – Брзина на поместот [m/min]. Истражувањето е спроведено со помошни брзини на движење $u_1=4$ m/min, $u_2=8$ m/min и $u_3=12$ m/min.
- ✓ **h** – Истуреност на пилата во однос на предметот на обработка [mm]. Истражувањето е изведено со димензии на истуреноста на пилата во однос на предметот на работа од $h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm и $h_3=30$ mm.

Истражувањето е извршено со вртежи од $n=3940 \text{ min}^{-1}$, односно со константна брзина на главното движење $V = 61,86 \text{ m/s}$.

4.2.1. Мерење на абењето на алатот

Непосредно пред режењето е измерена затапеноста на алатот. Алатот што се користи за режење е кружна пила со 24 заби, со дијаметар од 300 mm.

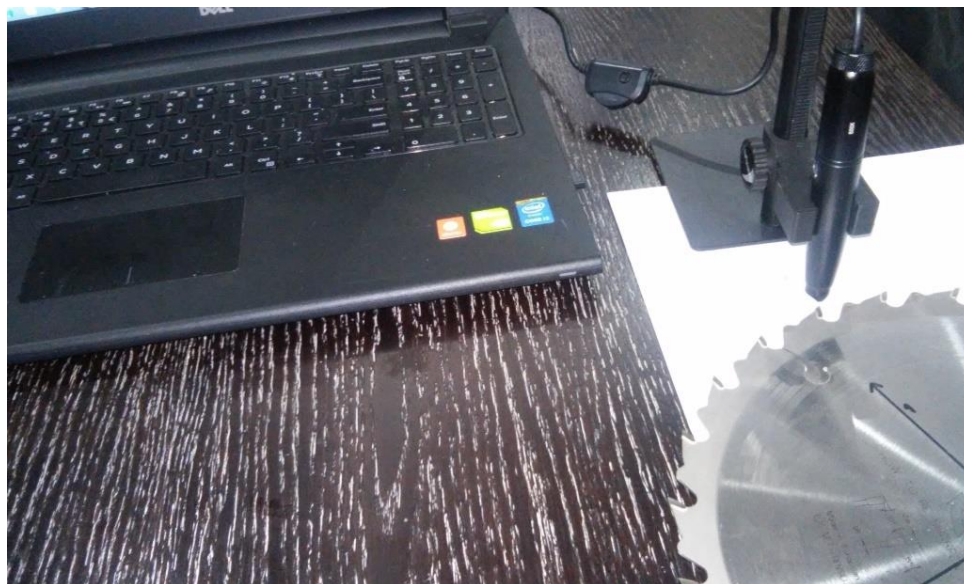
Затапеноста е измерена на четири заби распоредени на еднакво растојание едни од други околу обемот на кружната пила (Слика 4.8.).



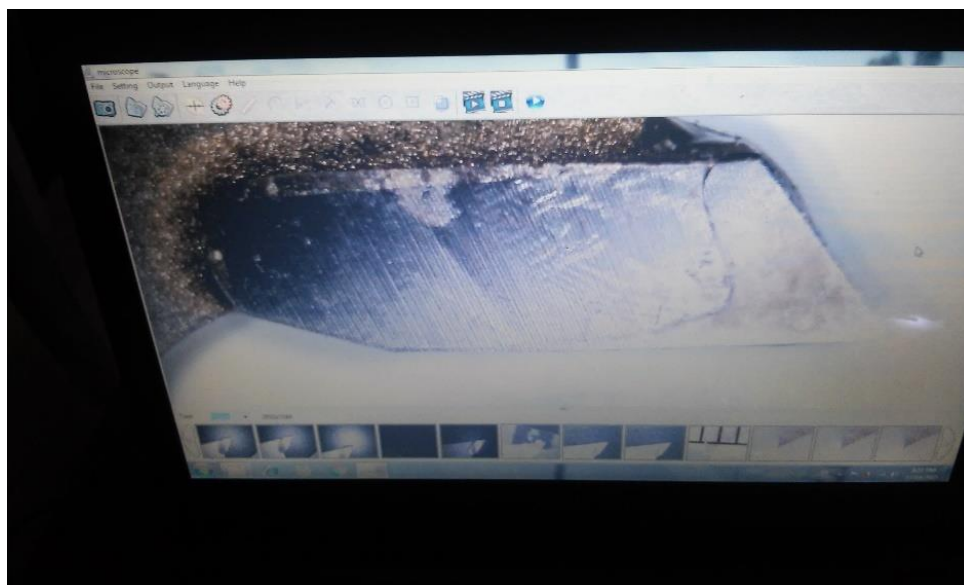
Слика 4.8. Заби на кружна пила

Затапеноста на алатот е измерена со помош на дигитален микроскоп Supereyes, во кој беа измерени два параметри на секое острица:

- ✓ растојание помеѓу идеалната и вистинската острица и
- ✓ радиус на заоблување на острицата

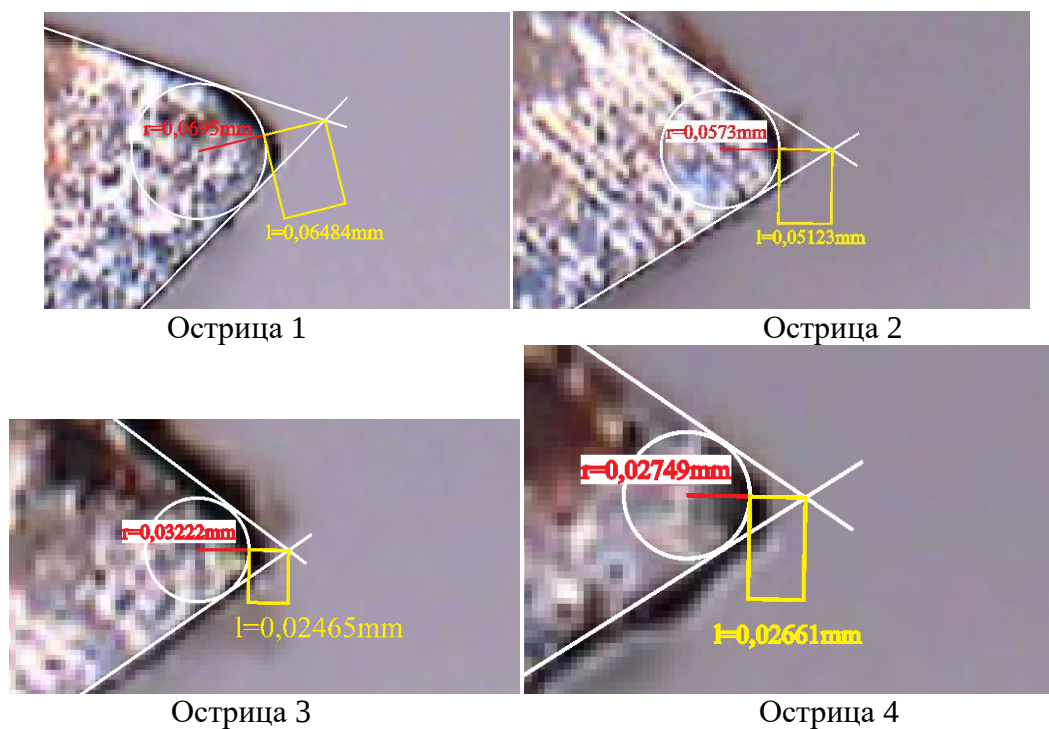


Слика 4.9. Мерење на затапеноста на алатот со помош на дигитален микроскоп



Слика 4.10. Приказ на острицата на екранот на компјутерот

На слика 4.11. се прикажани сите четири заби со квантифицирани затапувања при абеење на алатот TW1.



Слика 4.11. Сечилата со квантифицирана алатка се отапуват TW1

Технолошки процес на режење на штиците

По мерењето на затапувањето на алатот со големина на абеење TW1, штиците се режани со брзина од 3940 min^{-1} , односно со константна брзина на главното движење $V = 61,86 \text{ m/s}$ според распоредот прикажан во табела 4.2.

Табела 4.2. *Распоред на режими на обработка по работни ставки*

Режим на обработка	Означување на предметот на работа	Опис на предметот на работа
U1H1TW1	D2	Радијални - делумно извртени влакна
U1H2TW1	D5	Радијални - прави влакна
U1H3TW1	D7	Радијални - прави влакна
U2H1TW1	D8	Радијални - делумно извртени влакна
U2H2TW1	D9	Радијални - прави влакна
U2H3TW1	D11	Радијални - прави влакна
U3H1TW1	D14	Радијално-тангенцијални
U3H2TW1	D19	Радијални - прави влакна
U3H3TW1	D20	Тангенцијални

Легенда: $U \left[\frac{m}{min} \right]$ - Брзина на поместот ($U1 = 4 \frac{m}{min}$; $U2 = 8 \frac{m}{min}$; $U3 = 12 \frac{m}{min}$),
 $H [mm]$ - Големина на истуреноста на алатот ($H1=10mm$; $H2=20mm$; $H3=30mm$),
 TW1 - почетната острина на пилата (Tool Wearing)

По секој метод на обработка беа направени осум реза, така што беа направени вкупно 72 реза.

4.2.2. Мерење на моќноста на режење

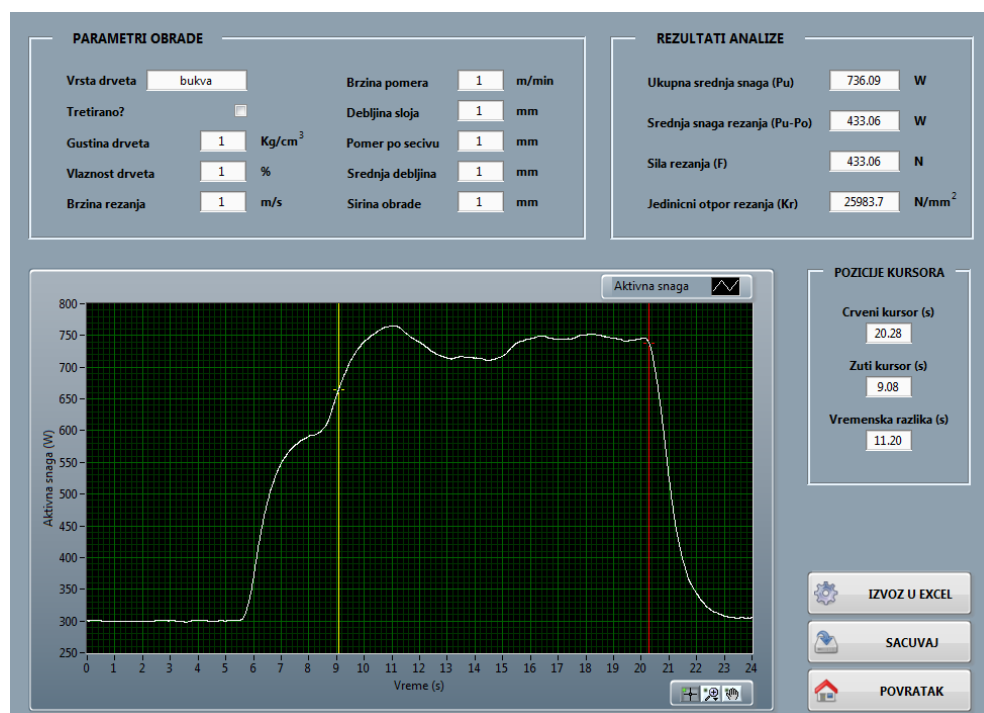
При секое режење, моќта на режење е мерена преку ангажираната моќност на погонскиот електромотор со помош на мерно-аквизиционен уред SRD1 наменет за лабораториски и индустриски мерења на моќта на режење на машини за преработка на дрво и плочи на база на дрво со трифазен погонски електричен мотор. Уредот ги собира, анализира и прикажува добиените податоци. Инсталацијата содржи ватметар CW-TAN произведен од Circutor за небалансирани трифазни системи со следните карактеристики: 300 V, 5 A, напојување 230 VAC, 50 Hz, точност 0,5%, со аналоген излез 0-10 V. сигналот директно се внесува на картичката за аквизиција (слика 4.12), чиј опсег може да се прилагоди (1, 2, 5 и 10 kW) во зависност од моќноста на погонскиот мотор на машината.



Слика 4.12. Картичка за аквизиција

Уредот користи софтверски пакет Power Expert, развиен во соработка со Центарот за машини и алати за обработка на дрво и Unoloks од Белград. Сите сигнали се софтверски скалирани и конвертирани во реални вредности со соодветни мерни единици. Мерниот уред е пренослив и може да се поврзе со различни машини со ограничување на максималната дозволена моќност (до 10 KW).

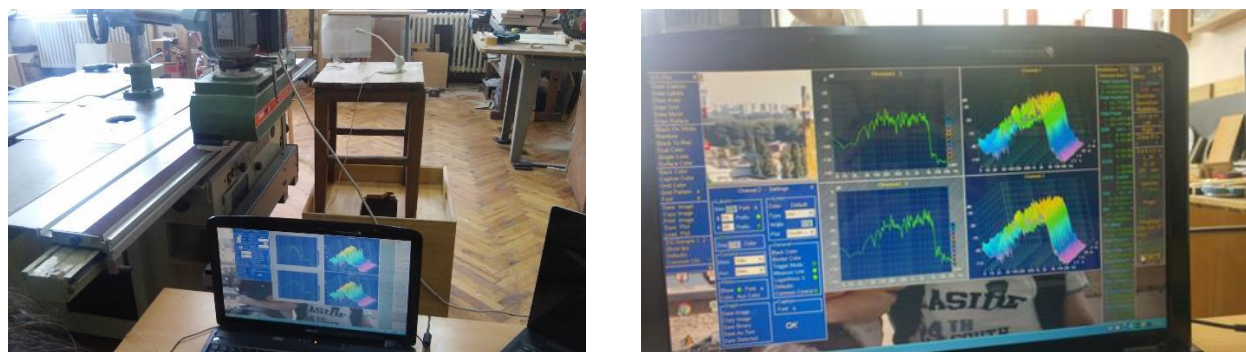
На слика 4.13. е прикажан екранот со снимените податоци



Слика 4.13. Приказ на екран на снимени податоци

4.2.3. Мерење на акустична емисија

На Слика 4.14 е прикажана процедурата за мерење на акустичната емисија.



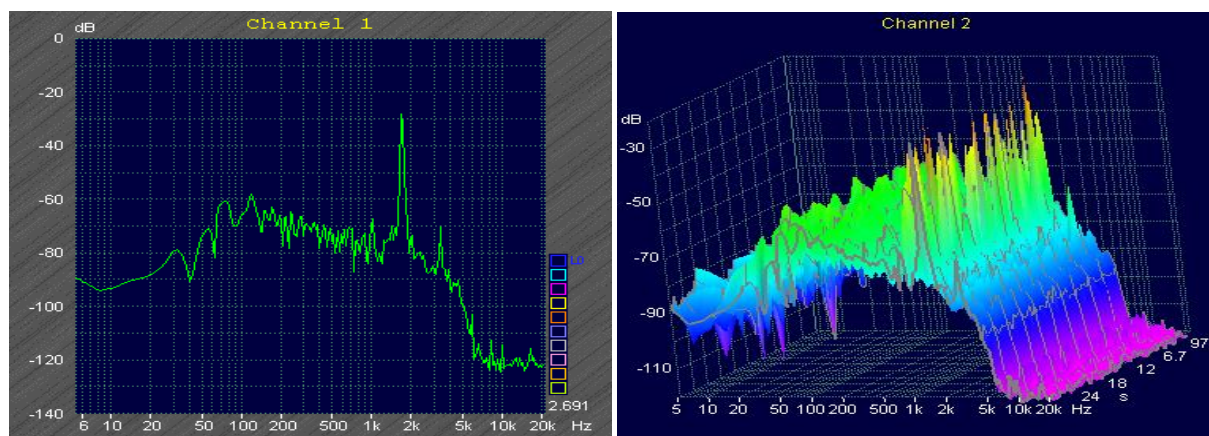
Слика 4.14. Приказ на екран за мерење на акустична емисија



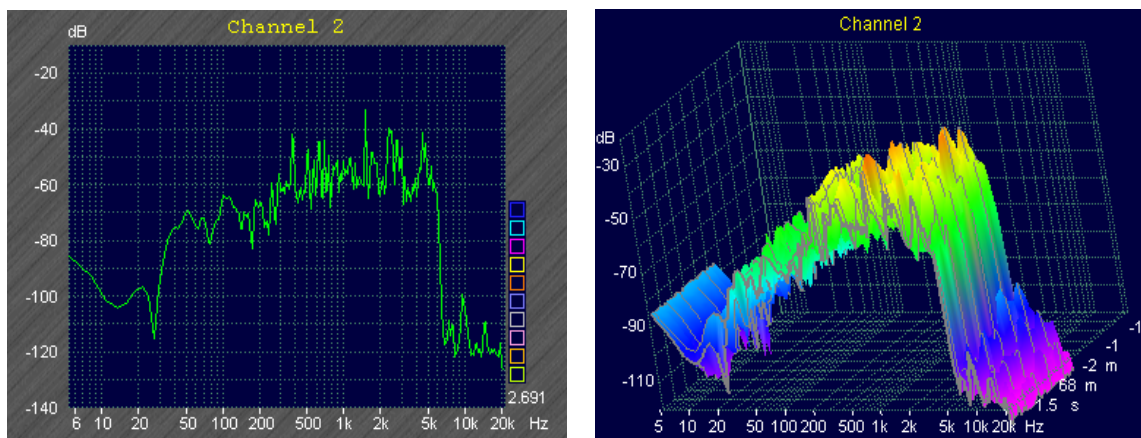
Слика 4.15. Хоризонтално и вертикално растојание на микрофонот

Растојанието на острицата на пилата до микрофонот изнесува 1200 mm во хоризонтална насока и 950 mm во вертикална насока од земјата (Tanaka 1988; Iskra and Tanaka 2006). Произведениот звук не е придушен, како што е предложено од Ченг и сор. (1998). Ресиверот е микрофон SHURE Beta 18.

Резултатите добиени при снимањето на акустичната емисија се претставени како 2D и 3D проекции. Примери на истражувани спектри се дадени на сликите 4.16. и 4.17.



Слика 4.16. Движење на акустичната емисија кога машината е во мирување



Слика 4.17. Движење на звучната емисија за брзината на поможното движење u2 и истуреност на алатот h1

4.2.4. Мерење на рапавоста на резната површина

Рапавоста на обработената површина на примероците како еден од показателите за квалитетот на третираната површина е измерена со помош на контактно-механички мерач на рапавост TR200 (слика 4.18) во согласност со ISO стандардот 4287 (1997). Како излезна вредност, добиена е вредноста на средното аритметичко отстапување на профилот Ra, што ја претставува средната аритметичка вредност на набљудуваниот профил на рапавост утврдена од отстапувањето околу централната линија во референтната должина. Инструментот се состои од призматично пластично кукиште кое носи игла. Врвот на иглата со дијаметар од 2 μm е направен од дијамант. Вертикалното движење на иглата се засилува и се претвора во електрични импулси кои се филтрираат.

Како што споменавме, вредноста на средното отстапување на профилот Ra е избрана како излезна вредност на мерењето.



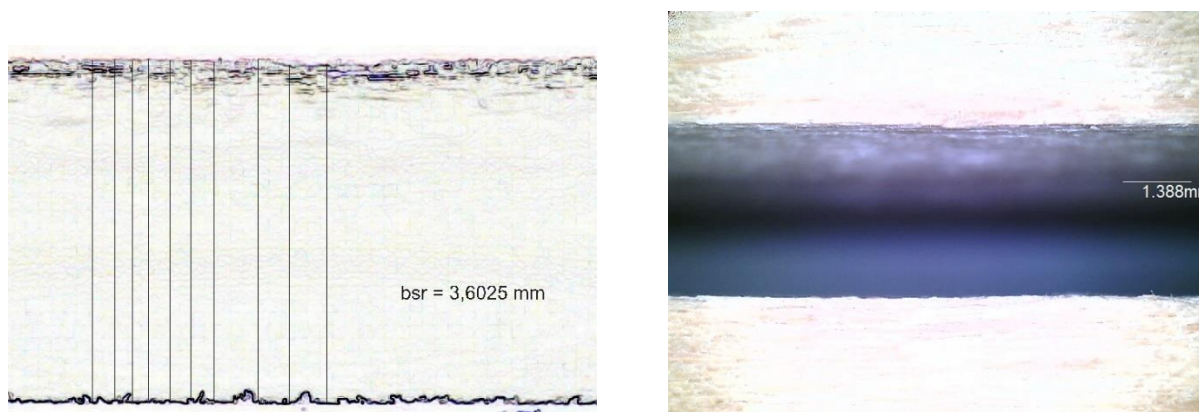
Слика 4.18. Мерач на рапавост Timesurf TR200



Слика 4.19. Епрувети за мерење на рапавост

4.2.5. Мерење на точноста на обработката

Мерењето на точноста на обработката е извршено со помош на дигитален микроскоп Supereyes на таков начин што ширината на резот од пилата се мери за секој режим на обработка. Просечната вредност од десет измерени широчини на рез според истиот режим на обработка е земена како репрезентативна ширина на резот според режимот на обработка. Пример за измерената ширина на резот е прикажан на сликата 4.20.



Слика 4.20. Измерена средна ширина на резот

5. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИСТРАЖУВАЊЕТО

За да се испита влијанието на начинот на обработка врз квалитетот на резната површина при пилање на букови даски со кружна пила, најпрвин е потребно да се изврши карактеризација и избор на суровината, односно испитување на физичките својства. Испитувањето е спроведено во Лабораторијата за испитување на својствата на дрвото на Универзитетот во Белград, Шумарски факултет. Врз основа на анализата на добиените резултати од физичките својства, материјалот е избран за тестирање на ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина. Истражувањето е спроведено на систем за аквизација на моќност за режење. Лабораториските испитувања опфатија мерење на моќноста на режење, како и рапавоста на површината за режење и точноста на обработката при надолжно режење со кружна пила за различни услови на режење.

Моќноста на режење за време на процесот на режење е измерена индиректно преку ангажираната моќност на погонскиот електромотор при секое поминување на алатот на уредот за мерење-аквизација SRD1. Јачината е измерена на букови епрувети долги 1000 mm, дебели 30 mm и широки 150 mm. Заедно со мерењето на моќта на режење, мерењето на акустичната емисија е извршено и во Центарот за машини и алати на Универзитетот во Белград, Шумарски факултет.

Квалитетот на обработената површина е тестиран со мерење на рапавоста на резната површина и точноста на обработката по режењето со кружна пила. Рапавоста на површината е измерена со помош на контактно-механички мерач на рапавост Timesurf TR200 на букови епрувети со димензии 30 x 10 x 1000 mm. Точноста на обработката, по обработката со кружна пила, е измерена со помош на дигитален микроскоп Supereyes. Сите мерења се направени во Центарот за машини и алати на Универзитетот во Белград, Шумарски факултет.

5.1. Својства на дрвото

Уникатноста на процесот на режење на дрво е пред се последица на разликите во физичките и механичките својства на дрвото како материјал. Физичките својства на дрвото кои беа испитувани во оваа докторска дисертација се волуменската маса (густина) и содржината на влага на дрвото.

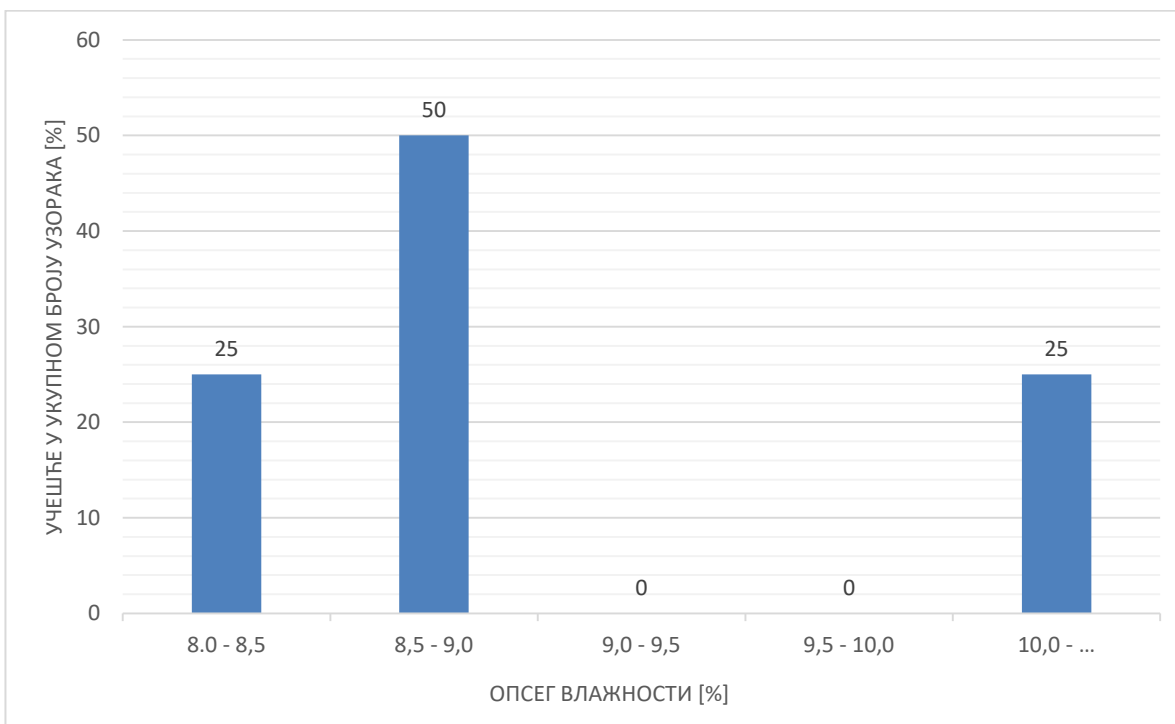
5.1.1. Физички својства на целосниот примерок

Истражувањето за својствата на дрвото е направено на 20 букови штици од кои после кондиционирање во машина за сушење се изрежани вкупно 120 епрувети (по правило по 6 од секоја штица), димензии 50 mm x 50 mm x 30 mm за одредување на густината и содржината на влага на дрвото. На слика 5.1 се прикажани епруветите за испитување на физичките својства на буковите штици. Табелата 5.1 ги прикажува сите измерени вредности на физичките својства за секоја епрувета посебно.



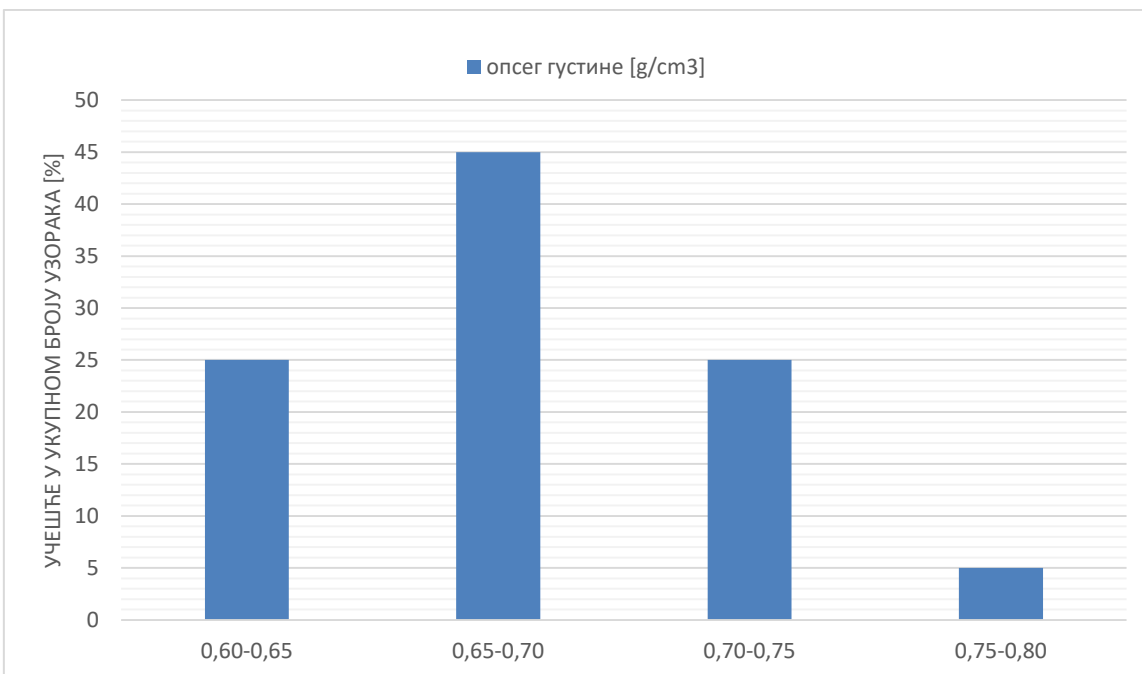
Слика 5.1. Епрувети за испитување на физичките својства

На слика 5.2 е прикажана распределбата на добиените резултати од мерењето на влажноста на испитаните примероци.



Слика 5.2. Распределба на добиените резултати од мерењето на влажноста на тестираните примероци

На слика 5.3 е прикажана распределбата на добиените резултати од мерење на густината на испитуваните примероци од букови штици.



Слика 5.3. Распределбата на добиените резултати од мерење на густината на испитуваните примероци од букови штици

5.1.2. Избор на примерокот за истражување

Со оглед на значителното влијание на густината врз својствата на дрвото, беа избрани примероци со униформни физички својства за понатамошно истражување, со цел да се намалат варијациите во својствата на резултатите од истражувањето за ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина при режење букови штици со кружна пила.

За истражувањето се користени вкупно 9 избрани штици со радијална анатомска насока и без видливи дефекти во структурата на дрвото.

Табела 5.1 ги прикажува својствата на примероците избрани за анализа на ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина.

Табела 5.1: Својства на штиците избрани за анализа

Реден број	Ознака на штиците	Влажност v [%]	Густина ρ [g/cm³]
1	D2	8,34833	0,68146724
2	D5	8,78203	0,65958103
3	D7	8,70877	0,67428556
4	D8	8,61345	0,66582372
5	D9	8,63394	0,66787313
6	D11	8,69941	0,64921467
7	D14	8,38003	0,6366434
8	D19	8,37582	0,65130881
9	D20	8,49071	0,62042537

5.2. Мерење на затапеноста на алатот

Затапеноста на алатот е измерена на начин опишан детално во поглавје 4.2.1.

Затапеноста на алатот е измерена со помош на дигитален микроскоп Supereyes, во кој беа измерени два параметри на секое острица:

- ✓ растојание помеѓу идеална и вистинска острица и
- ✓ радиус на заоблување на острицата

5.2.1. Резултати од мерењето на затапеноста на алатот

Резултати на затапеноста на алатот

Во табела 5.2. дадени се вредностите на зтапувањето на четири сечила кои се наредени на еднакво растојание едни од други околу обемот на кружната пила.

Табела 5.2. *Вредности на абење на алатот*

	Острица 1	Острица 2	Острица 3	Острица 4
l [mm]	0,06484	0,05123	0,02465	0,02661
r [mm]	0,0695	0,0573	0,03222	0,02749

Легенда: l - растојанието помеѓу идеалната и вистинската острица [mm]
r - радиус на острицата [mm]

5.3. Мерење на моќноста на режење при режење со кружна пила

Мерењето на силите за режење е извршено со помош на уредот SRD1, што е детално објаснето во точка 4.2.2. Направени се вкупно 72 мерења, а во табелата 5.3. се прикажани сите измерени вредности на моќта на режење за секој режим на обработка, односно за сите тестирани вредности на брзината на помошното движење и големината на истуреноста на алатот над предметот на обработка.

5.3.1. Резултати од мерење на моќност на режење за време на режењето со кружна пила

Во табела 5.3. се дадени вредностите на моќноста на режење измерени при секое поминување во рамките на деветте режими на обработка. Потоа, дадени се просечните вредности и стандардните отстапувања на моќта на режење за секој режим на обработка.

Табела 5.3. Резултати од моќноста на режењето

Реден број	Означување на режим на обработка	Моќност за режење на TW1 [W]	Просечна моќност на режење при TW1 [W]
1	u1h1tw1 - 1	433.06	486.77625
2	u1h1tw1 - 2	433.58	
3	u1h1tw1 - 3	448.8	
4	u1h1tw1 - 4	477.73	
5	u1h1tw1 - 5	473.37	
6	u1h1tw1 - 6	480.77	
7	u1h1tw1 - 7	539.23	
8	u1h1tw1 - 8	607.67	
9	u1h2tw1 - 1	526.46	565.4925
10	u1h2tw1 - 2	544.79	
11	u1h2tw1 - 3	546.38	
12	u1h2tw1 - 4	551.37	
13	u1h2tw1 - 5	557.6	
14	u1h2tw1 - 6	569.06	
15	u1h2tw1 - 7	602.69	
16	u1h2tw1 - 8	625.59	
17	u1h3tw1 - 1	421.94	457.205
18	u1h3tw1 - 2	471.23	
19	u1h3tw1 - 3	458.68	
20	u1h3tw1 - 4	426.47	
21	u1h3tw1 - 5	448.76	
22	u1h3tw1 - 6	460.19	
23	u1h3tw1 - 7	471.88	
24	u1h3tw1 - 8	498.49	
25	u2h1tw1 - 1	783.11	863.85125
26	u2h1tw1 - 2	833.77	
27	u2h1tw1 - 3	815.19	
28	u2h1tw1 - 4	833.9	
29	u2h1tw1 - 5	839.09	
30	u2h1tw1 - 6	879.58	
31	u2h1tw1 - 7	935.47	
32	u2h1tw1 - 8	990.7	
33	u2h2tw1 - 1	1024.71	833.815
34	u2h2tw1 - 2	1002.8	
35	u2h2tw1 - 3	831.5	
36	u2h2tw1 - 4	771.58	

37	u2h2tw1 - 5	756.47	
38	u2h2tw1 - 6	737.32	
39	u2h2tw1 - 7	766.09	
40	u2h2tw1 - 8	780.05	
41	u2h3tw1 - 1	857.27	895.82
42	u2h3tw1 - 2	953.38	
43	u2h3tw1 - 3	1045.31	
44	u2h3tw1 - 4	1192.27	
45	u2h3tw1 - 5	926.38	
46	u2h3tw1 - 6	760.58	
47	u2h3tw1 - 7	724.15	
48	u2h3tw1 - 8	707.22	
49	u3h1tw1 - 1	1231.29	1262.70125
50	u3h1tw1 - 2	1263.76	
51	u3h1tw1 - 3	1250.73	
52	u3h1tw1 - 4	1241.99	
53	u3h1tw1 - 5	1221.6	
54	u3h1tw1 - 6	1249.72	
55	u3h1tw1 - 7	1290.68	
56	u3h1tw1 - 8	1351.84	
57	u3h2tw1 - 1	1236.1	1197.60125
58	u3h2tw1 - 2	1398.15	
59	u3h2tw1 - 3	1288.75	
60	u3h2tw1 - 4	1150.09	
61	u3h2tw1 - 5	1111.72	
62	u3h2tw1 - 6	1112.15	
63	u3h2tw1 - 7	1099.69	
64	u3h2tw1 - 8	1184.16	
65	u3h3tw1 - 1	1167.84	1195.8825
66	u3h3tw1 - 2	1182.61	
67	u3h3tw1 - 3	1185.3	
68	u3h3tw1 - 4	1192.19	
69	u3h3tw1 - 5	1199.65	
70	u3h3tw1 - 6	1201.28	
71	u3h3tw1 - 7	1213.8	
72	u3h3tw1 - 8	1224.39	

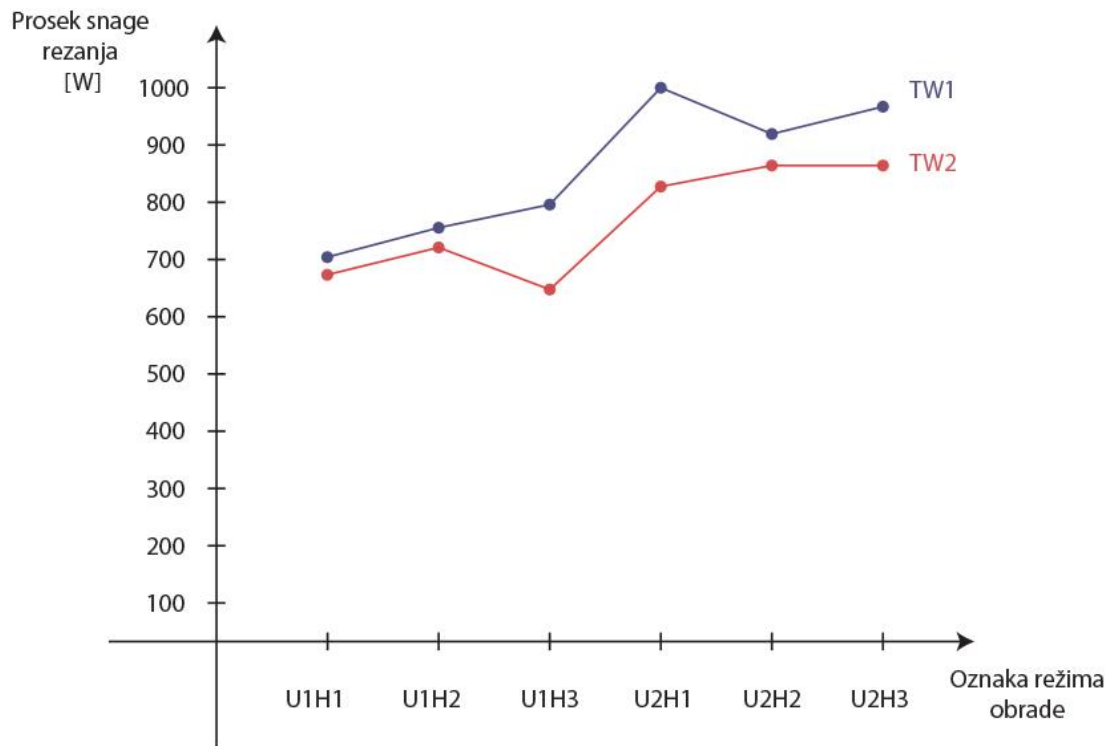
Во табела 5.4. се дадени вредностите на моќноста на режење измерени при секое поминување во шесте режими на обработка. Потоа се дадени просечните вредности и стандардните отстапувања на моќта на режење за секој режим на обработка, како и за двете големини на затапеност на алатот (TW1 i TW2).

Табела 5.4. Резултати од моќноста на режењето

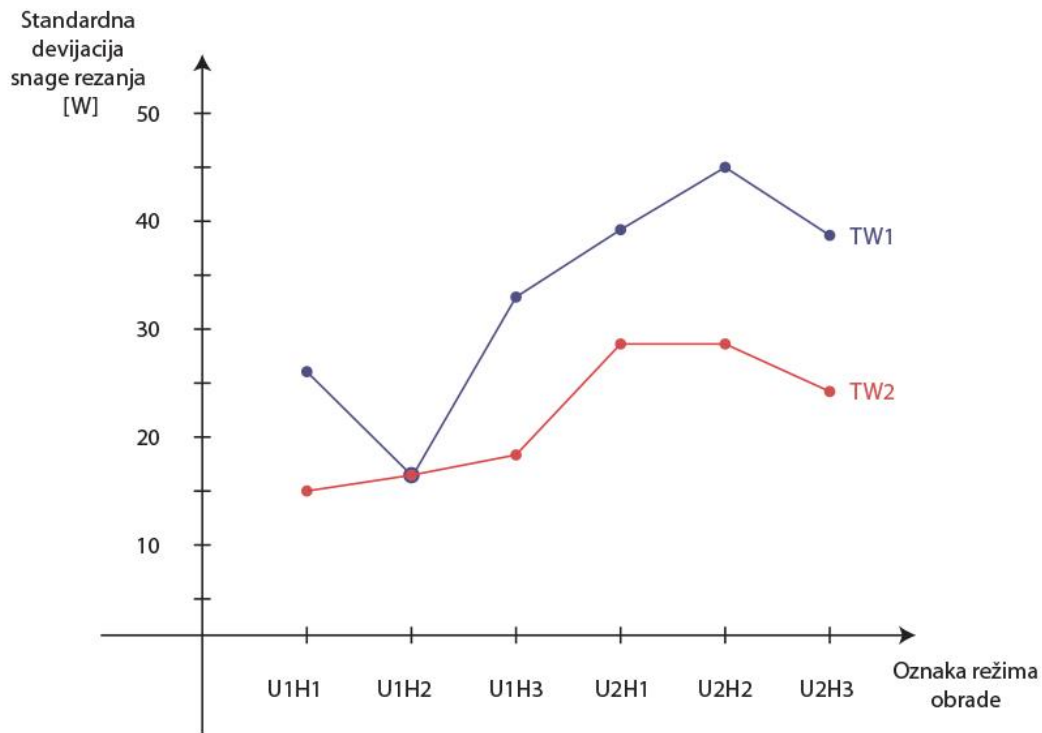
Број на режим на обработка	Означување на режим на обработка	Брзина на поместот [m/min]	Големина на испакнување на алатот [mm]	Број на поминувања	Моќност за режење на TW1 [W]	Моќност за режење на TW2 [W]	Просечна моќност на режење на TW1 [W]	Просечна моќност на режење на TW2 [W]	Стандардна девијација на TW1 [W]	Стандардна девијација на TW2 [W]
I	U1H1	8	10	1	740.15	719.31	707.902	697.392	26.22024	15.88283
I	U1H1	8	10	2	727.24	696.17				
I	U1H1	8	10	3	707.43	702.19				
I	U1H1	8	10	4	686.19	675.18				
I	U1H1	8	10	5	678.5	694.11				
II	U1H2	8	20	1	747.28	745.93	752.576	724.368	17.80515	17.88145
II	U1H2	8	20	2	748.72	707.77				
II	U1H2	8	20	3	782.59	706.65				
II	U1H2	8	20	4	734.84	739.21				
II	U1H2	8	20	5	749.45	722.28				
III	U1H3	8	30	1	787.97	663.38	795.894	646.66	33.99026	18.40332
III	U1H3	8	30	2	834.15	656.6				
III	U1H3	8	30	3	824.59	657.95				
III	U1H3	8	30	4	782.65	635.71				
III	U1H3	8	30	5	750.11	619.66				
IV	U2H1	12	10	1	1033.88	812.38	1001.782	829.948	39.2304	28.1546
IV	U2H1	12	10	2	1042.03	797.08				
IV	U2H1	12	10	3	1003.18	825.51				
IV	U2H1	12	10	4	984.72	846.06				
IV	U2H1	12	10	5	945.1	868.71				
V	U2H2	12	20	1	928.28	855.6	937.508	857.496	45.9282	27.87478
V	U2H2	12	20	2	900.63	882.81				
V	U2H2	12	20	3	888.16	868.69				
V	U2H2	12	20	4	986.1	810.7				
V	U2H2	12	20	5	984.37	869.68				
VI	U2H3	12	30	1	1012.18	881.88	958.026	856.692	38.70037	24.27956
VI	U2H3	12	30	2	972.32	874.65				
VI	U2H3	12	30	3	927.35	831.12				
VI	U2H3	12	30	4	914.65	830.69				
VI	U2H3	12	30	5	963.63	865.12				

5.3.2. Анализа на резултатите од мерењето на моќност на режење при режење со кружна пила

Дијаграмите на зависноста на моќта на режење од брзината на помошното движење, големината на истуреноста на кружната пила над работното парче и степенот на затапеност на алатот се прикажани подолу.



Слика 5.4. Дијаграм на движење на просечна вредност на моќноста на режење во зависност од режимот на обработка



Слика 5.5. Дијаграм на движење на стандардното отстапување на моќноста на режење

Просечната моќ на режење при дефинираните режими на обработка е:

- ✓ $P1 = 486.77625 \text{ W (u1h1tw1)}$
- ✓ $P2 = 565.4925 \text{ W (u1h2tw1)}$
- ✓ $P3 = 457.205 \text{ W (u1h3tw1)}$
- ✓ $P4 = 863.85125 \text{ W (u2h1tw1)}$
- ✓ $P5 = 833.815 \text{ W (u2h2tw1)}$
- ✓ $P6 = 895.82 \text{ W (u2h3tw1)}$
- ✓ $P7 = 1262.70125 \text{ W (u3h1tw1)}$
- ✓ $P8 = 1197.60125 \text{ W (u3h2tw1)}$
- ✓ $P9 = 1195.8825 \text{ W (u3h3tw1)}$

5.4. Мерење на акустична емисија

Резултатите добиени при снимањето на акустичната емисија се претставени како 2D и 3D проекција, што веќе е прикажано во поглавјето 4.2.3.

5.4.1. Резултати од мерењето на акустичната емисија

Во поглавје 4.2.3. на сликите 4.15. и 4.16. е на екранот е прикажан спектарот на акустична емисија-притисок (AP) на машината во мирување и во работа. Постои очигледна разлика помеѓу AP спектарот на машината што работи и машината во мирување. Соло пик од 1,8 kHz на спектарот на моторот во мирување, не се појавува на други записи поврзани со моторот што работи. Целиот спектрален регион на машинскиот спектар за време на обработката е покачен во споредба со спектарот на машината во мирување, со некои постојано повторувачки врвови.

Пиковите на AP од особен интерес беа на 1,6 kHz, 3 kHz, 9 kHz и 15 kHz додека е испитувано подрачје на фреквенција од 200 Hz до 1,5 kHz на спектрите на работната машина. Резултатите од AP добиени од избраните области на фреквенција се прикажани во табелата 5.5.

Табела 5.5. AP резултати за различни брзини на помошно движење и различни големини на истуреноста на алатот

Frequency		200 Hz to 1.5 kHz					1.6 kHz				
V _F (m/min)	h (mm)	AP (dB)					AP (dB)				
8	10	-70,5	-69,6	-66,2	-69,3	-68,9	-35	-36	-33	-38	-35
8	20	-65	-73	-64	-62	-65	-33	-41	-31	-35	-33
8	30	-63,5	-56	-55	-59	-58	-29	-31	-39	-33	-32
12	10	-61	-63	-65	-68	-67	-25	-31	-32	-33,3	-28
12	20	-58	-57	-59	-56	-61	-28	-28	-32	-25	-31
12	30	-55	-56	-53	-57	-55	-29	-31	-22	-27	-30
Frequency		3 kHz					4.5 kHz				
V _F (m/min)	h (mm)	AP (dB)					AP (dB)				
8	10	-35	-39	-35	-33	-36	-41	-42	-40	-39	-42
8	20	-35	-39	-33	-30	-32	-31	-30	-32	-36	-31
8	30	-33	-37	-36	-31	-33	-30	-29	-30	-31	-31
12	10	-32	-40	-50	-52	-37	-31	-38	-32	-40	-40
12	20	-25	-28	-32	-31	-31	-32	-33	-29	-28	-27
12	30	-30	-29	-21	-30	-31	-29	-28	-29	-29	-30
Frequency		9 kHz					15 kHz				
V _F (m/min)	h (mm)	AP (dB)					AP (dB)				
8	10	-100	-100	-100	-96	-100	-110	-110	-110	-108	-107
8	20	-88	-84	-91	-86	-85	-100	-96	-103	-97	-95
8	30	-88	-90	-89	-90	-92	-99	-100	-100	-100	-103
12	10	-89	-96	-90	-100	-110	-101	-108	-103	-110	-115
12	20	-94	-92	-98	-90	-100	-110	-120	-121	-123	-116
12	30	-94	-91	-86	-85	-87	-108	-105	-99	-98	-100

5.4.2. Анализа на резултатите од мерењето на акустична емисија

Според презентираниите резултати, можно е и брзината на поместување и истуреноста на алатот да имаат значаен ефект врз вредностите на АП во фреквентниот регион кој се движи од 200 Hz до 1,5 kHz, со граница на доверба од 95%. Статистичката анализа на средните вредности на набљудуваните површини покажа зголемување на АР како што се зголемуваа брзината на поместување и истуреноста на алатот.

5.5. Мерење на рапавоста на обработената површина

Новосоздадените површини при режење дрво, како што веќе е објаснето, никогаш не се совршено мазни, туку се состојат од нерамнини кои можат да се групираат во:

- ✓ Структурни неправилности кои се последица на анатомската градба на дрвото. Нивните големини и распоред зависат од видот на дрвото и не можат да се избегнат, но го придружуваат режењето на дрвото.
- ✓ Нерамнини предизвикани од режењето, во кое спаѓаат т.н микроуниформности доколку се однесуваат на рапавоста на обработената површина. Причините за нерамномерноста се следните: траги од обработка на алатот, нерамнини од преостанати деформации во дрвото, траги предизвикани од вибрации на машината, алатот или работниот предмет, начин на режење, острење на алатот, вид на режење и физички и механички својства на дрвото (особено густината и формирањето на прстените за раст).
- ✓ Неправилностите кои произлегуваат од режењето може да се дефинираат како: рапавост, брановидност, брановидност со рапавост и деструктивна нерамномерност (Zubčević, 1988).

5.5.1. Резултатите од мерењето на рапавоста на обработената површина

Во табела 5.6. и 5.7. вредностите на рапавоста на резната површина се дадени во зависност од начинот на обработка, т.е. во зависност од брзината на помошното движење, од големината на истуреноста на пилата во однос на работното парче и од степенот на затапеност на алатот.

Табела 5.6. Големината на рапавоста на резната површина на TW1 во зависност од режимот на обработка

	Ra za [µm] TW1										просек	стандардна девијација
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
u1h1-1	5.002	7.532	8.138	7.341	8.782	7.643	9.167	7.077	5.735	4.8	7.3831	1.6146443
u1h1-2	7.077	8.85	7.526	8.461	8.331	7.198	9.949	8.217	8.085	9.878		
u1h1-3	8.384	7.884	7.458	8.389	6.314	5.851	8.461	6.423	7.02	9.9		
u1h1-4	9.855	8.271	7.845	10.88	6.958	7.375	8.668	7.174	9.314	7.424		
u1h1-5	5.555	7.733	4.995	5.85	4.869	4.948	4.697	4.5	7.121	4.25		
u1h2-1	5.387	6.625	5.98	5.754	6.68	6.052	6.088	8.446	8.329	6.009	6.64964	1.7729647
u1h2-2	6.527	5.593	5.691	6.398	6.564	9.427	10.2	10.32	11.57	7.034		
u1h2-3	5.983	6.871	5.665	5.491	6.34	6.686	6.928	8.022	9.08	7.393		
u1h2-4	4.725	4.952	5.088	4.663	5.162	4.699	4.527	4.067	5.018	3.265		
u1h2-5	8.548	8.722	6.83	9.198	7.103	9.02	4.724	5.489	5.583	7.966		
u1h3-1	9.206	7.48	8.13	6.434	5.431	6.916	6.874	6.022	9.578	7.596	7.18086	1.8715058
u1h3-2	7.112	7.229	6.406	6.682	5.758	5.919	6.867	5.746	5.91	6.839		
u1h3-3	4.604	7.103	7.018	7.12	6.296	4.929	7.894	6.491	5.638	5.345		
u1h3-4	6.577	7.775	8.578	10.92	8.745	9.145	9.041	11.76	11.23	13.47		
u1h3-5	8.571	5.938	6.072	6.369	4.971	5.626	5.031	7.857	5.853	4.941		
u2h1-1	8.567	10.66	8.341	8.385	4.985	5.912	4.925	6.063	4.916	6.239	6.4049	1.318063
u2h1-2	6.884	5.413	7.25	5.895	6.256	5.999	5.428	6.4	7.141	6.9		
u2h1-3	4.982	6.212	9.116	6.084	6.007	4.941	5.811	8.511	6.776	6.869		
u2h1-4	4.862	6.456	7.263	7.19	6.508	5.746	4.75	5.53	6.427	4.548		
u2h1-5	7.663	7.3	6.367	4.771	6.431	3.601	5.869	7.555	7.428	6.112		
u2h2-1	8.289	6.902	6.654	10.2	13.72	8.754	7.741	7.39	8.148	6.865	6.40008	2.185902
u2h2-2	6.515	6.75	8.725	8.16	6.913	7.439	7.351	6.358	9.212	7.092		
u2h2-3	5.193	5.72	5.764	6.51	8.136	9.04	5.605	7.767	9.69	8.633		
u2h2-4	2.868	3.794	3.376	3.72	3.656	3.968	4.313	3.248	3.145	3.286		
u2h2-5	4.893	4.299	5.795	4.267	5.017	5.016	5.637	6.686	5.393	6.391		
u2h3-1	4.824	4.304	5.417	3.977	4.562	5.328	5.631	6.367	5.012	4.248	6.52902	1.5225952
u2h3-2	6.079	5.404	7.786	5.307	5.514	6.245	7.115	5.888	12.14	9.244		
u2h3-3	5.952	6.153	8.266	7.29	5.032	6.467	5.12	5.927	6.263	5.928		
u2h3-4	7.027	7.417	8.058	8.267	7.473	7.125	6.473	6.557	5.989	8.789		
u2h3-5	5.637	7.381	9.939	7.152	8.118	6.22	6.657	5.753	6.796	6.833		

Табела 5.7. Големината на рапавоста на резната површина на TW2 во зависност од режимот на обработка

Ra [μm]											Просек	Стандардна девијација
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
u1h1-1	7.41	7.111	5.512	5.204	5.258	5.214	3.503	4.67	5.838	4.559	6.388857	1.790385
u1h1-2	5.65	8.74	5.33	8.832	6.77	6.726	5.178	7.247	7.739	6.55		
u1h1-3	10.26	12.44	11.55	7.569	7.818	8.404	8.5	7.423	8.231	7.76		
u1h1-4	8.469	5.848	6.323	6.367	5.941	6.211	4.331	5.214	5.223	5.1		
u1h1-5	4.908	5.12	4.822	4.257	5.38	5.127	6.311	6.212	4.595	4.559		
u1h2-1	6.439	5.748	5.871	4.619	4.83	7.624	6.511	4.921	5.42	6.118	6.54366	1.719977
u1h2-2	6.427	2.208	4.158	7.918	5.838	7.494	6.898	6.695	6.66	8.551		
u1h2-3	10.7	10.39	10.51	5.414	5.726	5.731	4.259	5.181	5.58	10.46		
u1h2-4	4.838	6.563	5.489	6.467	6.219	8.758	8.486	8.22	7.205	8.144		
u1h2-5	5.419	7.61	4.95	6.734	5.819	5.851	6.335	7.297	6.328	5.552		
u1h3-1	7.89	7.363	7.513	7.535	7.468	8.658	8.424	8.302	8.414	10	7.99758	1.45191
u1h3-2	6.758	5.233	5.417	5.827	7.279	7.01	8.248	5.371	6.645	7.345		
u1h3-3	7.023	5.993	7.257	7.876	7.118	9.675	7.186	9.586	8.456	6.828		
u1h3-4	6.211	7.828	6.894	10.09	8.411	10.46	8.19	7.518	10.13	10.93		
u1h3-5	8.847	8.415	6.638	7.671	10.36	9.033	10.99	9.624	8.397	9.544		
u2h1-1	5.183	7.634	5.978	7.106	7.372	8.313	6.243	6.996	7.614	8.386	7.0069	1.363665
u2h1-2	5.861	6.81	6.65	6.282	6.345	5.437	7.319	6.645	6.891	5.813		
u2h1-3	6.511	6.375	6.894	6.824	6.548	5.943	5.198	4.854	4.824	5.324		
u2h1-4	7.959	5.198	6.214	8.836	10.37	10.02	7.185	7.236	9.254	10.08		
u2h1-5	7.42	8.368	8.192	8.402	8.671	5.866	6.015	5.641	6.8	8.445		
u2h2-1	6	10.67	7.697	8.908	7.757	6.958	9.222	6.541	10.6	8.713	8.08316	1.702211
u2h2-2	6.551	6.784	6.658	7.431	7.541	9.538	8.481	8.197	7.654	8.45		
u2h2-3	6.449	6.582	5.346	5.821	5.889	6.11	4.879	5.021	5.891	5.782		
u2h2-4	10.68	9.821	7.808	8.332	7.688	7.533	9.255	7.885	7.981	8.485		
u2h2-5	10.1	10.28	10.182	9.669	9.562	11.1	10.212	10.2	9.86	9.404		
u2h3-1	6.873	5.621	4.108	5.21	4.527	4.549	4.621	4.512	4.83	4.116	8.41272	2.252035
u2h3-2	9.11	7.143	8.546	9.783	6.793	7.581	7.668	10.06	9.541	9.393		
u2h3-3	7.392	10.33	8.254	7.449	7.577	7.971	8.46	10.28	10.142	9.404		
u2h3-4	9.056	10.77	13.06	9.783	7.481	7.955	8.92	11.03	10.37	9.766		
u2h3-5	9.709	11.95	10.18	11.58	9.442	8.176	8.199	8.958	12.64	9.767		

Направени се вкупно 300 мерења, при брзини на помошно движење ($u_1=8\text{m/min}$ и $u_2=12\text{m/min}$, при три големини на истуреност на кружната пила ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$ и $h_3=30\text{mm}$) и на два степени на затапување на пилата (TW1 и TW2). Тестот на рапавост е

извршен за секој режим на обработка и тоа за секој режим на обработка на пет епрувети, по десет мерења.

Табелата 5.8 ги прикажува средните вредности на параметарот на рапавост на обработената површина R_a измерени за различни начини на обработка при степен на затапеност TW1

Табела 5.8. Средни вредности на параметарот на рапавост обработени површини R_a на степен на затапеност TW1

Реден број	Брзина на поместот [m/min]	Големина на испакнување на алатот [mm]	Средња вредност R_a [μm]	Стандардна девијација R_a [μm]
1	8	10	7.3831	1.6146443
2	8	20	6.64964	1.7729647
3	8	30	7.18086	1.8715058
4	12	10	6.4049	1.318063
5	12	20	6.40008	2.185902
6	12	30	6.52902	1.5225952

Табела 5.9 ги прикажува просечните вредности на параметарот на рапавост на обработената површина R_a измерени за различни начини на обработка при степен на затапеност TW2.

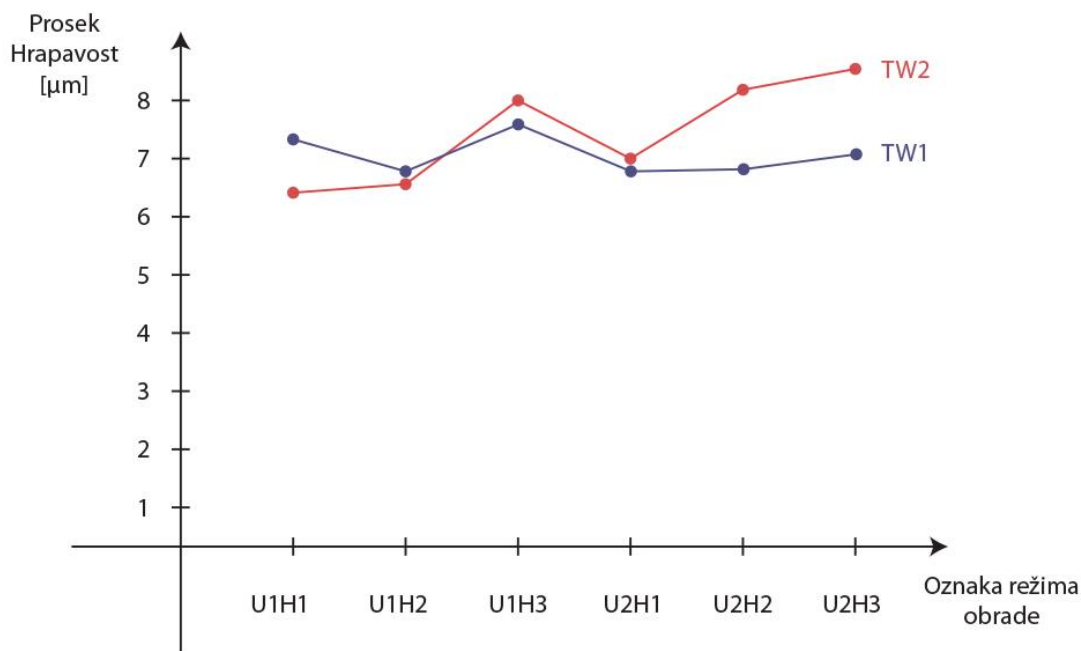
Табела 5.9. Средни вредности на параметарот на рапавост обработени површини R_a на степен на затапување TW2

Реден број	Брзина на поместот [m/min]	Големина на испакнување на алатот [mm]	Средња вредност R_a [μm]	Стандардна девијација R_a [μm]
1	8	10	6.388857	1.790385
2	8	20	6.54366	1.719977
3	8	30	7.99758	1.45191
4	12	10	7.0069	1.363665
5	12	20	8.08316	1.702211
6	12	30	8.41272	2.252035

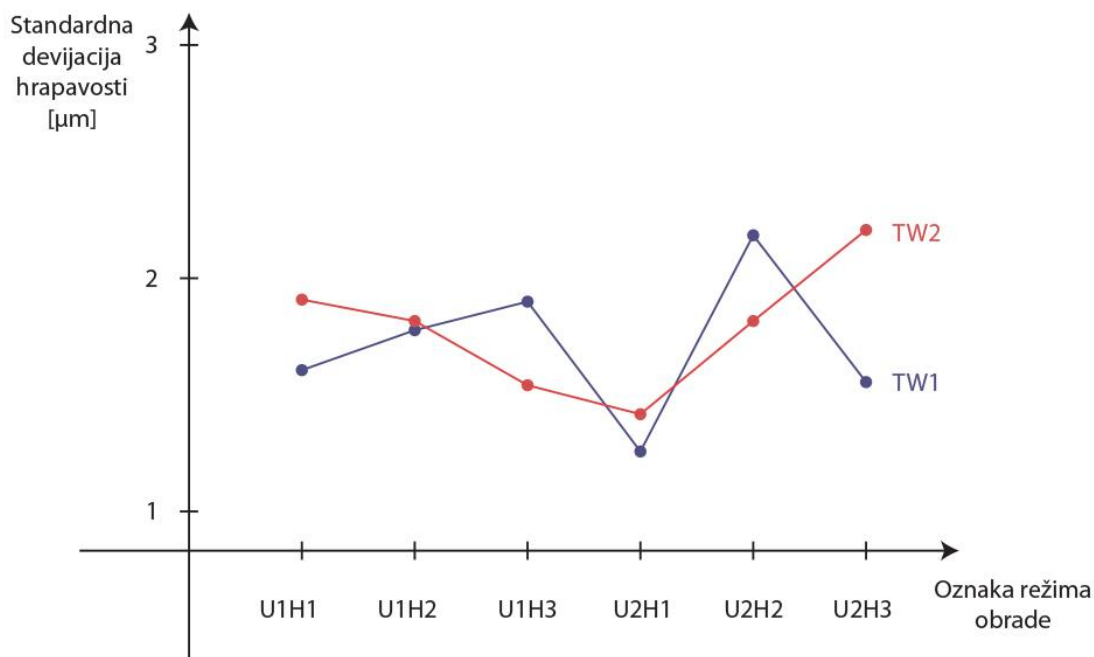
5.5.2. Анализа на резултатите од мерењата на рапавоста на обработената површина

Слика 5.6 покажува дијаграм на зависноста на рапавоста на обработената површина од брзината на помошното движење, големината на истуреноста на алатот над работното парче и степенот на затапувањето на кружната пила.

На слика 5.7 е прикажана траекторијата на стандардното отстапување, т.е. го покажува движењето на параметарот на дисперзија на резултатите од измерената рапавост во зависност од режимот на обработка.



Слика 5.6. Просечна вредност на рапавоста во зависност од режимот на обработка и затапеноста на алатот



Слика 5.7. Стандардна девијација на рапавоста во зависност од режимот на обработка и затапеноста на алатот

Врз основа на положбата на кривите на дадените дијаграми, може да се извлечат следните заклучоци:

- ✓ Рапавоста на обработената површина се зголемува со зголемување на брзината на помошното движење и големината на истуреноста,
- ✓ Степенот на затапеност на алатот има значително влијание врз рапавоста на резната површина и колку е поголема затапеноста на алатот, толку е поголемо влијанието на брзината на помошното движење и големината на истуреноста.

Врз основа на претходно заклученото, хипотезата за карактерот на влијанието на брзината на помошното движење врз квалитетот на површината за режење и врз моќта на режење, хипотезата за карактерот на влијанието на затапувањето на алатот врз квалитетот на површината за режење и на моќноста на режење, а може да се потврди и хипотезата за влијанието на големината на истуреноста на кружната пила врз квалитетот на површината и врз силата на режење.

Резултатите од многу истражувања (Burdurlu et al., 2005; Budakci et al., 2007; Fernando de Moura, Hernandez, 2006; Malkocoglu, Ozdemir, 2006; Ors, Baykan, 1999; Usta et al., 2007; Barcik et al., 2009) потврдуваат дека брзината има најголемо влијание врз квалитетот на површината помошно движење. При зголемување на брзината на поместување, се зголемува и дебелината на струготината, така што подлабоките слоеви на дрвото не се сечат туку се откорнуваат (Keturakis, Juodeikiene, 2007). Општо земено, подобро квалитетните резултати на резната површина се добиваат со намалена брзина на помошното движење.

5.6. Мерење на точноста на обработената површина

Како што веќе е наведено во поглавје 4.2.5. мерењето на точноста на обработката е извршено со помош на дигитален микроскоп Supereyes на таков начин што ширината на острицата на пилата е мерена за секој режим на обработка.

5.6.1. Резултати од мерењета на точноста на обработената површина

Во табела 5.10. просечните вредности на ширината на резот за секој режим на обработка се дадени поединечно.

Табела 5.10. Средни вредности на ширината на резот

Означување на режим на обработка	Средната вредност на ширината на острицата на пилата според режимите на обработка [mm]
U1H1TW1	3.4567
U1H2TW1	3.47
U1H3TW1	3.1911
U2H1TW1	3.6025
U2H2TW1	3.5377
U2H3TW1	3.5809
U3H1TW1	3.2326
U3H2TW1	3.4093
U3H3TW1	3.3392

legenda: U – брзина на поместот [m/min]
H - височина на истуреноста [mm]
TW - острицата на пилата

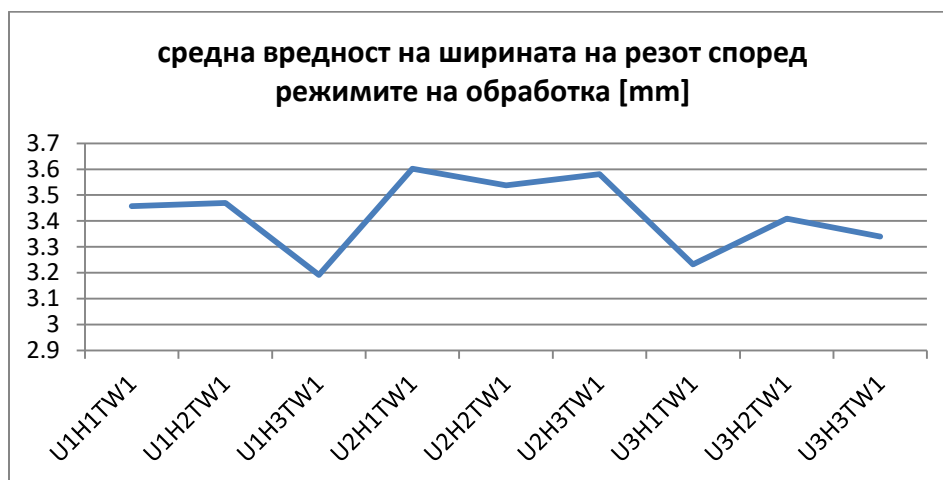
U1=4m/min; U2=8m/min; U3=12m/min

H1=10mm; H2=20mm; H3=30mm

TW1 - првото ниво на острење на алатот

5.6.2. Анализа на резултатите од мерењата на точноста на обработената површина

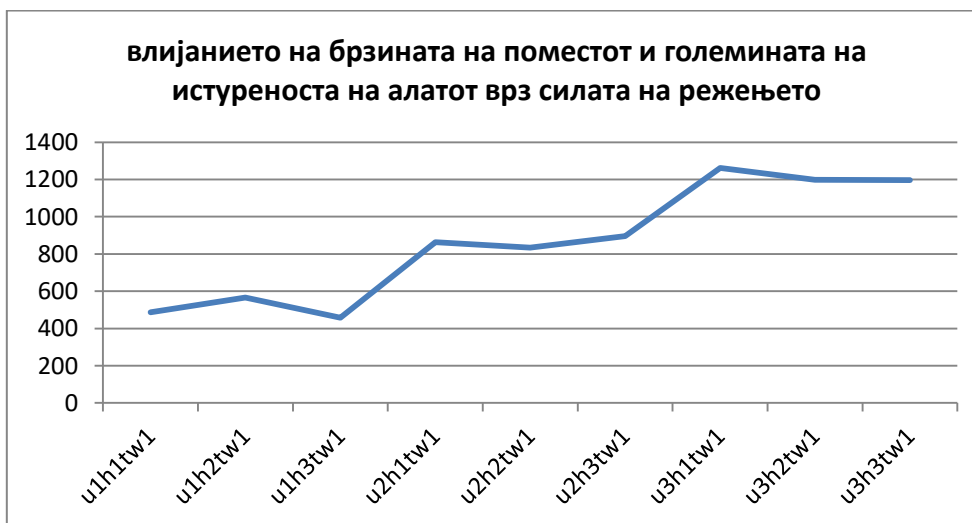
На слика 5.8. прикажано е движењето на средната вредност на ширината на летвите според режимите на обработка



Слика 5.8. Просечната вредност на ширината на резот според режимите на обработка

5.7. Анализа на влијанието на брзината на помошното движење и висината на режењето врз моќноста на режењето

На слика 5.9. е прикажано влијанието на брзината на помошното движење и големината на истуреноста на алатот врз моќта на режење.



Слика 5.9. Влијанието на брзината на помошното движење и големината на истуреноста на алатот на моќноста на режење

6. ДИСКУСИЈА

Врз основа на досегашните истражувања од проучуваната литература и врз основа на спроведеното истражување и анализа на добиените резултати, може да се заклучи следново:

- ✓ Се исполни главната цел на ова истражување и успешно се потврди воспоставената методологија за утврдување на влијанието на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина на примерот на режење буково дрво со кружна пила.
- ✓ Микулаш и Лубош (2006) ја истражувале зависноста на силите за режење од брзината на помошното движење, големината на проекцијата на кружната пила и видот на пилата при режење смрека и дошле до заклучок дека брзината на помошното движење се покажа како најважниот фактор што влијае на потрошувачката на енергија во процесот на режење, а со тоа и на силата режење, а вториот најзначаен фактор што влијаеше на моќта на режење е истуреноста на кружната пила над работното парче. Вредноста на моќноста потребна за режење се намалува со намалување на вредноста на брзината на режењето и брзината на помошното движење (Barcik et al., 2008). Анализата на потрошувачката на моќност за режење во оваа докторска дисертација покажа силна врска помеѓу брзината на помошното движење и потрошената моќност. Докажана е позитивна корелација, т.е. со зголемувањето на брзината на помошното движење се зголеми и потрошувачката на моќност за режење. Најголема сила на режење била потребна при најголема помошна брзина на движење ($u=12\text{m/min}$), а најмала сила на режење била потребна при најниска помошна брзина на движење ($u=4\text{m/min}$). Дополнително, е пронајдена силна врска помеѓу потрошувачката на енергија и количината на испакнување на алатот над работното парче, но само ако истуреноста се зголеми од 10 mm на 30 mm.
- ✓ Малкочоглу (2007) го анализираше влијанието на брзината на помошното движење и аголот на предната површина врз рапавоста на обработената површина (Малкочоглу, 2007). Испитувајќи неколку видови дрво, кои растат во регионот на Црното Море во Турција, тој покажа дека со намалување на брзината на помошното движење и аголот на предната површина (при постојана длабочина на мелење), квалитетот на обработената површина се зголемува, со поголемо влијание на аголот на предната површина во однос на брзината на помошното движење. Исто така, тој покажа дека со истите параметри за обработка, четинарите имаат полош квалитет на обработената површина во споредба со дрвните дрва, што укажува на очигледно влијание на густината врз резултатот од мерењето на рапавоста. Испитување на влијанието на брзината на помошното движење врз квалитетот на резната површина, т.е. за рапавоста во оваа докторска дисертација покажа дека, како и во претходните истражувања на повеќе автори, со зголемување на брзината на поместување, има зголемување на R_a , т.е. до намалување на квалитетот на преработката. Значи, докажано е дека постои негативна корелација помеѓу брзината на помошното движење како независна променлива и квалитетот на режењето како зависна променлива.
- ✓ Зголемувањето на рапавоста на обработената површина кога се зголемува брзината на помошното движење може да се објасни со тоа што при надолжното

режење пред острицата се појавува пукнатина, која му претходи на навлегувањето на острицата во дрвната маса. На неговото создавање влијае зголемување на брзината на помошното движење, бидејќи тогаш се зголемува и дебелината на чипот. Така што раздвојувањето на чипот не го врши само острицата туку и предпукнатината, чиј правец го следи правецот на истегнување на дрвните влакна, што доведува до создавање на рапавост не само од острицата туку и од пред-пукнатината.

- ✓ Параметарот на режимот на обработка кој има најголемо влијание врз моќта на режење е брзината на помошното движење.
- ✓ Според прикажаните резултати, и брзината на напојување и истуреноста на алатот имаа значаен ефект врз вредностите на акустичниот притисок во опсегот на фреквенции кои се движат од 200 Hz до 1,5 kHz, со граница на доверба од 95%. Статистичката анализа на средните вредности на набљудуваните површини покажа зголемување на акустичниот притисок како што се зголемија брзината на поместување и истуреноста.
- ✓ (Aguilera, 2011) во своето истражување дошол до заклучок дека рапавоста на површината во голема мера зависи од брзината на режење, брзината на помошното движење и дебелината на чипот, но до одреден степен зависи и од карактеристиките на алатот: обликот на острицата, геометријата на острицата и истуреноста на кружната пила во однос на површината на работната маса. Во ова истражување е докажано дека истуреноста и затапеноста на пилата како две карактеристики на алатот имаат значително влијание врз рапавоста на резната површина. Имено, највисок квалитет на режење е постигнат при режење на бука со најмало испакнување на алатот (10мм), а најнизок квалитет на режење е постигнат при режење со најголемо испакнување на алатот (30мм). Вкупната разлика во средните вредности на рапавост е 24,06%.
- ✓ Ковач и Крилек (2011) истакнаа дека во практиката се јавуваат одредени последици поради намалување на квалитетот на острицата на алатот за режење и со тоа влијаат на целиот процес на режење. Целта на истражувањето е да се стекне сознанија за степенот на абеење на алатот и да се развие соодветна методологија за евалуација на абеењето на сечилата. Нагласија и дека во иднина ќе биде потребно да се генерализира наведената методологија за мерење на абеењето на алатот за режење. (Sandak, J. et al., 2011) истакна дека абеењето на алатот е природен феномен што се јавува за време на обработката на дрвото. Истакнаа и дека острицата на острицата позитивно влијае на квалитетот на обработката. Затоа, од индустриска гледна точка, од клучно значење е да се зголеми животниот век на алатот додека се уште е доволно остар за да се осигура дека барањата за квалитет се исполнети. Во иста насока одат и резултатите од истражувањето во оваа докторска дисертација. Имено, степенот на затапеност на алатот имаше значително влијание врз квалитетот на резната површина. Поточно, просечната вредност на сите измерени вредности на рапавост при степенот на затапеност на алатката TW1 (остра алатка) е $Ra = 6,7579 \text{ } [\mu\text{m}]$, а просечната вредност на сите измерени вредности на рапавост при степен на затапеност од алатката TW2 (тапа алатка) е $Ra = 7,4055 \text{ } [\mu\text{m}]$. Ова јасно покажува дека поостриот алат постигнува подобро режење за 8,74%.

7. ЗАКЛУЧОЦИ

Во оваа докторска дисертација е спроведено експериментално истражување на влијанието на начинот на обработка врз квалитетот на резната површина при надолжно режење на буково дрво со кружна пила. Поради тоа, буковата граѓа се режеше по должина со кружна пила, а режењето се вршеше под различни начини на обработка за да се прикаже влијанието на различните параметри за обработка врз квалитетот на површината за режење и на моќта на режење. Во текот на експериментот се направени одредени мерења и тоа:

- ✓ Мерење на физичките својства на дрвото (влага и густина),
- ✓ Мерење на затапеност на алатите (кружни пили),
- ✓ Мерење на истуреноста на алатот (кружни пили),
- ✓ Мерење на брзината на помошното движење,
- ✓ Мерење на моќност на режење,
- ✓ Мерење на акустична емисија,
- ✓ Мерење на рапавоста на површината,
- ✓ Мерење на точноста на обработка (ширина на резот)

По експерименталното истражување и врз основа на анализата на добиените резултати, можеме да го констатираме следново:

- ✓ Просечната содржина на влага на дрвото се движеше од $v = 8,28916\%$ (штици број 17) до $v = 10,9166\%$ (штици број 10),
- ✓ Просечната густина на штиците се движеше од $\rho = 0,6065 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ до $\rho = 0,7614 \text{ [g/cm}^3\text{]}$,
- ✓ Со оглед на значителното влијание на густината врз својствата на дрвото, за истражувањето беа избрани примероци со униформни физички својства, со цел да се намалат варијациите во својствата на резултатите од истражувањето за ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина при режење букови штици со кружна пила. За истражувањето се користени вкупно 9 избрани штици со радијална анатомска насока и без видливи дефекти во структурата на дрвото,
- ✓ Просечната моќ на режење при брзината на помошното движење $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ и истуреноста на пилата од $h_1 = 10 \text{ [mm]}$ при режењето со остра пила е $P_1 = 486.77625 \text{ [W]}$,
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ и истуреноста на пилата од $h_2 = 20 \text{ [mm]}$ при режењето со остра пила е $P_2 = 565.4925 \text{ [W]}$,

- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_1 = 4$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_3 = 30$ [mm] при режењето со остра пила е $P_3 = 457.205$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_2 = 8$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_1 = 10$ [mm] при режењето со остра пила е $P_4 = 863.85125$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_2 = 8$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_2 = 20$ [mm] при режењето со остра пила е $P_5 = 833.815$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_2 = 8$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_3 = 30$ [mm] при режењето со остра пила е $P_6 = 895.82$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_3 = 12$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_1 = 10$ [mm] при режењето со остра пила е $P_7 = 1262.70125$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_3 = 12$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_2 = 20$ [mm] при режењето со остра пила е $P_8 = 1197.60125$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_3 = 12$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_3 = 30$ [mm] при режењето со остра пила е $P_9 = 1195.8825$ [W],
- ✓ При брзина на помошното движење $u_1 = 4$ m/min, моќноста на режење е $P_1 = 486.77625$ W, $P_2 = 565.4925$ W и $P_3 = 457.205$ W.
- ✓ При брзина на помошното движење $u_2 = 8$ m/min, моќта на режење е $P_4 = 863.85125$ W, $P_5 = 833.815$ W и $P_6 = 895.82$ W.
- ✓ При помошна брзина на движење $u_3 = 12$ m/min, моќта на режење е $P_7 = 1262.70125$ W, $P_8 = 1197.60125$ W и $P_9 = 1195.8825$ W.
- ✓ Со промена на големината на истуреноста на алатот во однос на обработуваното парче ($h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm, $h_3=30$ mm), и при брзина на помошното движење $u_1 = 4$ m/min, моќта на режење е $P_1 = 486,77625$ W, $P_2 = 565,4925$ W и $P_3 = 457,205$ W.
- ✓ Со промена на големината на истуреноста на алатот во однос на обработуваното парче ($h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm, $h_3=30$ mm), и при брзина на помошното движење $u_2 = 8$ m/min, моќта на режење е $P_4 = 863,85125$ W, $P_5 = 833,815$ W и $P_6 = 895,82$ W.

- ✓ Со промена на големината на истуреноста на алатот во однос на обработуваното парче ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$, $h_3=30\text{mm}$), и при брзина на помошното движење $u_3 = 12 \text{ m/min}$, моќта на режење е $P_7 = 1262,70125 \text{ W}$, $P_8 = 1197,60125 \text{ W}$ и $P_9 = 1195,8825 \text{ W}$.
- ✓ Што се однесува до акустичните емисии, постои очигледна разлика помеѓу акустичната емисија машината за време на активна работа и машината што работи во мирување. Соло пик од $1,8 \text{ kHz}$ на спектарот на моторот во мирување не се појавува на други записи поврзани со моторот што работи. Целиот спектрален регион на машинскиот спектар за време на обработката е покачен во споредба со спектарот на машината во мирување, со некои постојано повторувачки врвови,
- ✓ Врвовите на акустична емисија од особен интерес се на $1,6 \text{ kHz}$, 3 kHz , 9 kHz и 15 kHz додека опсегот на фреквенција од 200 Hz до $1,5 \text{ kHz}$ е испитан на спектрите на работната машина,
- ✓ Што се однесува до квалитетот на резната површина, рапавоста се мери при брзини на помошно движење ($u_1=8\text{m/min}$ и $u_2=12\text{m/min}$), при три големина на истуреноста на кружна пила ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$ и $h_3=30\text{mm}$) и при два степени на затапеност на пилата (TW1 и TW2). Тестот за рапавост е извршен за секој режим на обработка и за секој режим на обработка на пет епрувети беа направени по десет мерења на секоја епрувета.
- ✓ Минималната средна вредност на рапавоста на резната површина ($R_a = 6,388857\mu\text{m}$) т.е. највисок квалитет на обработка е постигнат при брзина на помошното движење од $u_1 = 8 \text{ [m/min]}$, при големина на истуреност на пилата $h_1=10 \text{ [mm]}$ и при степен на затапување TW2.
- ✓ Максималната средна вредност на рапавоста на резната површина ($R_a = 8,41272\mu\text{m}$) т.е. најнизок квалитет на обработка е постигнат при брзина на помошното движење од $u_2 = 12 \text{ [m/min]}$, при големина на истуреност на пилата $h_1=30 \text{ [mm]}$ и при степен на затапување TW2.
- ✓ Просечната вредност на сите измерени вредности на рапавост на степенот на затапеност на алатот TW1 (остар алат) е $R_a = 6,7579 \text{ [}\mu\text{m]}$.
- ✓ Просечната вредност на сите измерени вредности на рапавост при степен на затапеност на алатот TW2 (затапен алат) е $R_a = 7,4055 \text{ [}\mu\text{m]}$.
- ✓ Што се однесува до точноста на обработка, измерена е ширината на резот. Ширината на резот во зависност од режимот на обработка е: 3.4567 , 3.47 , 3.1911 , 3.6025 , 3.5377 , 3.5809 , 3.2326 , 3.4093 и 3.3392 [mm] .
- ✓ Највисока прецизност на обработката, односно најмала ширина на резот ($b_s=3,1911\text{mm}$) е постигната со режимот на обработка $u_1h_3tw_1$, т.е. при

брзина на помошно движење $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ и со големина на истуреноста на алатот $h_3 = 30 \text{ [mm]}$.

- ✓ Најмалата прецизност на обработката, односно најголемата ширина на резот ($b_s = 3,6025 \text{ mm}$) е постигната со режимот на обработка $u_2 h_1 t w_1$, т.е. при брзина на помошното движење $u_2 = 8 \text{ [m/min]}$ и при големина на истуреност на алатот $h_1 = 10 \text{ [mm]}$.

Со оглед на тоа што условите на експериментот беа многу блиску до реалните услови на производство, оваа студија би можела да има практично значење за определување на оптималните начини на режење на дрво, од гледна точка на квалитетот на обработената површина и заштедата на енергија.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Afanasev, P., S. (1961): *Derevoobrabatyvaûšie stanki* (Woodworking machinery), Lesnaa Promyslennost, Moskva, Russia.
2. Aguilera A. (2011): Cutting energy and surface roughness in medium density fibreboard and surface roughness in medium density fibreboard rip sawing, *European Journal of Wood and Wood Products* 69, 11–18.
3. Barcik, Š., Pivolusková, E., Kminiak, R. (2008): Effect of technological parameters and wood properties on cutting power in plane milling of juvenile poplar wood, *Drvna Industrija* 59 (3), 107-112.
4. Barcik, Š., Kminiak, R., Rehak, T., Kvietkova, M. (2010): The influence of selected factors on energy requirements, *Journal of Forest Science* 56 (5), 243–250.
5. Barcik, Š., Pivoluskova, E., Kminiak, R. (2009): The influence of cutting speed and feed speed on surface quality at plane milling of poplar wood, *Wood Research* 54 (1), Bratislava, 109–116.
6. Beljo Lucic, R., Goglia, V., (1998): A contribution to the research of circular saw lateral stability II. Research of some influencing factors on circular saw idling noise levels and noise frequency spectrum, *Drvna Industrija* 49(3), 151-163.
7. Beljo-Lučić, R., Čavlović, A., Ištvančić, J., Đukić, I., Mihulja, G. (2007): Power requirements during wood planing and surface quality of planed elements, 2nd International Scientific Conference – Woodworking Techniques, Zalesina, Croatia.
8. Bučar, B., Bučar, D. G., 2002: The influence of the specific cutting force and cross-sectional geometry of a chip on the cutting force in the process of circular rip-sawing. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60, 146-151.
9. Cheng, W., Yokochi, H., Kimura, S., (1998): Aerodynamic sound and self-excited vibration of circular saw with step thickness I: Comparison of dynamic characteristics between the common circular saw and the circular saw with step thickness, *J Wood Sci* 44, 177-185.
10. Csanády, E., Magoss, E. (2013): *Mechanics of Wood Machining*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin.
11. Davis, E. M. (1962): *Machining and related characteristics of United States hardwoods*, Technical bulletin 1267, U.S. department of agriculture – forest service, Washington.
12. DIN 4760: Form deviations; Concepts; Classification system.
13. Dubravac, S., (2013): Utjecaj stroja na emisiju buke kod rada kružnih pila pri praznome hodu, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
14. Eyma, F., Meausoone, P, Martin, P. (2004): Study of the properties of thirteen tropical wood species to improve the prediction of cutting forces in mode B., *Ann. For. Sci.* 61, 55–64.
15. Franz, N. (1958): *An analysis of the Wood - Cutting Process*, University of Michigan Press.
16. Goglia, V. (1994): *Strojevi i alati za obradu drva I dio*, Šumarski fakultet Zagreb
17. Goglia, V., Risović, S., Beljo-Lučić, R., Đukić, I. (2002): *Mehanika kružnih pila-I dio: izbor položaja lista pile*, *Drvna industrija* 53(2), Zagreb, 93-98.

18. Httori, N., Lida, T. (1999): Idling noise from circular saws made of metal with different damping capacities, *J Wood Sci* 45, 392-395.
19. Iskra, P., Tanaka, C. (2006): A comparison of selected acoustic signal analysis techniques to evaluate wood surface roughness produced during routing, *Wood Sci Technol* 40, 247-259.
20. Jaić, M., Živanović-Trbojević, R. (2000): Površinska obrada drveta: teorijske osnove, tehnološki proces.
21. Jones, P., d'A., Simons, E., N., (1961): *Story of the Saw*, England.
22. J. Kovac, M. Mikleš., (2010): Research on individual parameters for cutting power of woodcutting process by circular saws, *journal of forest science*, 56,(6), 271–277.
23. Kminiak, R., Gašparik, M., Kvietkova, M., (20015): The Dependence of Surface Quality on Tool Wear of Circular Saw Blades during Transversal Sawing of Beech Wood, *BioResources* 10(4), 7123-7135.
24. Колин, Б. (1993): Хидротермичка обрада дрвета, Универзитет у Београду, Шумарски факултет.
25. Koljozov V., Trposki Z., Rabadziski B., Zlateski G., (2012): „Influence of feed rate on cutting force and cutting power during woodprocessing on band saw“, *Wood - Design and Technology, Journal of wood science, design and technology, Skopje, Vol.1 No.1, Pg.52-56*,
26. Koljozov V., Trposki Z., Rabadjiski B., Zlateski G., Karanakov V. , (2019), „Research on the effects of the cutting speed on cutting force and the cutting power in the proces of milling“, 4rd International Scientific Conference ”Wood Technology & Product Design”, Ohrid, 4–7 September, pg. 278-283,
27. Konishi, C., 1972: Cutting ability of knife planer. I. Relationship between condition of wood and cutting force. *Mokuzai Gakkaishi* 40(6), 577-583.
28. Kopecky, Z., Rousek, M., Hlaskova, L., Vesely, P., Svoboda, E., (2011): Quality of the workpiece surface at cutting by a circular-saw blade with the irregular tooth pitch, *Forestry and Wood Technology* No 74, 192-198.
29. Kopecky, Z., Rousek. M. (2012): Impact of dominant vibrations on noise level of dimension sawblades, *Wood Research*, 57(1), 151-160, Slovak Forest Products Research Institute Bratislava
30. Kovač, J., Krilek, J. (2011): *The possibilities for measurement of saw blades wearing*. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, , LIX, No. 5, pp., 137–144.
31. Kovač, J., Mikleš, M. (2009): Analysis a cutting edge geometry influence on circular saw teeth at the process of crosscutting wood, *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis sborník mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v brně*, Volume LVII Number 5, 177-182.
32. Krilov, A., 1980: Toward the re-appraisal of the influence of basic wood characteristics on sawblade potential. *Holz als Roh- und Werkstoff* 38, 145-149.
33. Kršljak, B. (1996): *Mašine i alati za obradu drveta I*, Beograd, 10-20.
34. Kršljak, B. (2000): *Mašine i alati za obradu drveta III*, Beograd, 141-151
35. Kršljak, B. (2002): *Mašine i alati za obradu drveta*
36. Kršljak, B. (2013): *Mašine i alati za obradu drveta I*, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd
37. Malkocoglu, A. (2007): Machining properties and surface roughness of various wood species planed in different conditions, *Building and Environment* 42 (7), Elsevier, 2562–2567.

38. Malkocoglu, A., Ozdemir, T. (2006): The machining properties of some hardwoods and softwoods naturally grown in Eastern Black Sea Region of Turkey, *Journal of materials Processing Technology*, 173 (3), 315–320.
39. Mandić, M., Danon, G. (2010): Merenje snage rezanja pri obradi drveta glodanjem, *Prerada drveta* 29, Beograd, 34-41.
40. Mandić, M., Todorović, N., Popadić, R., Danon, G. (2011): Uticaj svojstava drveta i tehnoloških parametara obrade na snagu rezanja pri obradi termički modifikovanog bukovog drveta glodanjem, *Glasnik Šumarskog Fakulteta* 104, Beograd, 109-124.
41. Marko J., Holík J. (2000): *Theory of Wood Cutting*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene.
42. McKenzie, W. M. (1961): *Fundamental Analysis of the Wood Cutting Process*, Department of Wood Technology, University of Michigan, Ann Arbor, USA.
43. M. T. Alam, N. Kinoshita, C. Tanaka, M. Yoshinobu, (2002): Circular saw lateral stability by optimization of feed speed, *Holz als Roh- und Werkstoff* 60, 207 – 209.
44. Naylor, A., Hackney, P., (2013): A Review of Wood Machining Literature with a Special Focus on Sawing, *BioResources* 8(2), 3122-3135.
45. Luís Cristóvão, (2013): *Machining Properties of Wood: Tool Wear, Cutting Force and Tensioning of Blades*, doctoral thesis, Luleå University of Technology Skellefteå, Sweden
46. Orłowski, K., Sandak, J., Tanaka, C. (2007): The critical rotational speed of circular saw: simple measurement method and its practical implementations, *J Wood Sci* 53, 388-393.
47. Porankiewicz, B., Goli, G. (2014): Cutting forces by oak and douglas fir machining, *Maderas, Ciencia y tecnología* 16(2), 199–216.
48. Ratnasingam J, Ma TP, Perkins MC., (1999) : Productivity in wood machining processes – a question of simple economics? *Holz Roh- Werkstoff* 57(1), 51–56.
49. Ružica Beljo-Lučić, R., Goglia, V., Pervan, S., Đukić, I., Risović, S., The influence of wood moisture content on the process of circular rip-sawing. part I: power requirements and specific cutting forces, Faculty of forestry the university of Zagreb.
50. Sandak, J., Paľubicki, B., Kowaluk, G., (2011): Measurement Of The Cutting Tool Edge Recession With Optical Methods, *Proceedings of the 20th International Wood Machining Seminar*, 7 – 10.06.2011, Skellefteå, Sweden, 97-106.
51. Sogutlu, C., (2010): The effect of the feeding direction and feeding speed of planing on the surface roughness of oriental beech and scotch pine woods, *Wood research*, 55(4), 67-78.
52. Spirchez, C. , Badescu, L., 2014: Researches regarding spruce wood processing with circular saw blades, *Advances in Environmental Technology and Biotechnology*, 138-142.
53. Stakhiev, Y.M. (1997): The dynamic of circular saw blades with big diameter, *proceedings, 13th International Wood Machining Seminar*, Vancouver, Canada, pp. 241-250.
54. Stakhiev, Y.M. (1998): Research on circular saws vibration in Russia: From theory and experiment to needs of industry, *Holz Roh- Werkstoff* 56, 131-137.
55. Stakhiev, Y.M. (1999): Researches on circular saws roll tensioning in Russia: Practical adjustment methods. Part 1. *Holz Roh- Werkstoff* 57, 57-62.
56. Stakhiev, Y.M. (2003): Research on circular saw disc problems: several of results, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61, 13-22.
57. Stanojević M.D, Danon J. G., (2015): Istraživanje snage rezanja na kružnim testerama pri rezanju ploča od iverice različitih svojstava, *Tehnika-Mašinstvo* 64 4, pp. 638-643.

58. Stanojevic, D., Mandic, M., Danon, G., Svrzic, S., (2017), Prediction of the surface roughness of wood for machining, Northeast Forestry University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
59. Suetsugi, Y., Ando K., Hattori N., Kitayama S. (2005): A tool wear sensor for circular saws using wavelet transform signal processing, *Forest Product J.* 55(11), 79-84.
60. S. Mikulaš, M. Luboš, (2006): Investigations of cutting power versus clearance of a circular saw blade over the workpiece and feed speed, *Drvna industrija*, 57 (1), 13-17.
61. Svrzic, S.; Djurkovic, M.; Danon, G.; Furtula, M.; Stanojevic, D., (2021): On acoustic emission analysis in circular saw cutting beech wood with respect to power consumption and surface roughness, *BioResources* 16(4) 8239-8257.
62. Škaljić, N., Beljo Lučić, R., Čavlović, A., Obućina, M. (2009): Effect of Feed Speed and Wood Species on Roughness of Machined Surface, *Drvna industrija* 60 (4), Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 229–234.
63. Šoškić, B., Popović, Z. (2002): Svojstva drveta, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd.
64. Tian, J.F. and Hutton, S.G. (2001): Cutting-induced vibrations in circular saws, *Journal of Sound and Vibration*, 242(5), 907-922.
65. Trposki Z., Klincarov R., Koljozov V., (1999), „The influence of cutting kinematics of bandsaw on production effects“, 2-nd International conference "Machine-Tool-Workpiece", Technical University of Zvolen, Nitra,.
66. Ukvalbergiene K., Vobolis J. (2007): Research of inter-impact of wood circular saws vibration modes, *Wood Research* 52(3):89-100, Slovak Forest Products Research Institute Bratislava.
67. W. M. McKenzie, P. Ko, R. Cvitkovic, M. Ringler, (2001): Towards a model predicting cutting forces and surface quality in routing layered boards, *Woods Science and Technology* 35, 563-569.
68. Wilkowski J., Górski J. (2011): Vibro-acoustic signals as a source of information about tool wear during laminated chipboard milling, *Wood Research* 56(1):57-66, Slovak Forest Products Research Institute Bratislava.
69. Zubčević, R. (1988): Mašine za obradu drveta, I dio, teorija rezanja, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
70. Z. Kopecky., M. Rousek, (2005): Determination of cutting forces in cutting wood materials, *Drvna industrija*, 56 (4), 171-176.
71. Мандић, М., (2014): Анализа обрадљивости храстовине при обимном глодању, Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет.
72. Стојановић, Љ., (2005): Буква у Србији, Универзитет у Београду Шумарски факултет
73. Стојановић, Р., (2004.): Анатомија дрвета са дендрологијом, Виша техничка технолошка школа Врање.
74. Ђуришић, З., Поповић, М., Данон, Г., (2005): Крзавост декоративне површине оплемењених плоча иверица при резању, *Прерада дрвета бр. 9-10*, 12-17.

БИОГРАФИЈА НА АВТОРОТ

Име (татково) и презиме: Дамјан (Милан) Станојевиќ
Датум и место на раѓање: 02.02.1977
Адреса: Јадранска 9, Врање, Србија
е-mail: damjan.stanojevic@yahoo.com
Моб.: +381-60-0420-369

ДАМЈАН СТАНОЈЕВИЌ е роден на 2 февруари 1977 година. во Врање, Република Србија.

- Податоци за образование

Основно училиште завршил во 1992 година во Врање. Завршил гимназија (математика) во Врање во 1996 година, а истата година се запишал на Шумарскиот факултет во Белград, студиска програма „Преработка на дрво“. Дипломирал во 2003 година, а ја одбранил својата теза со наслов „Одредување на затапеноста на алатките за режење со помош на ласерско зрачење“ со оценка 10 (десет)..

Во октомври 2005 година се запишува на специјалистички студии на Техничкиот факултет во Зрењанин, студиска програма „Управување со квалитет“. Специјалистичките студии ги завршил во 2007 година со просечна оценка 9,75, а специјалистичкиот труд под наслов „Подобрување на процесот на реализација на производот“ го одбранил со оценка 10 (десет).

Во октомври 2010 година се запишува на магистерски студии на Факултетот за дизајн и технологии на мебел и ентеријер, Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје, студиска програма „Машини, енергија и транспорт во дрвната индустрија“. Магистерските студии ги завршил во 2012 година со просечна оценка 10 (десет), а магистерскиот труд под наслов „Зголемување на квалитетот на бичење кај лентовидни пили-трупчарки со примена на сигнални уреди за корекција на поместот“ го одбранил со оценка 10 и се здоби со стручно звање магистер по дрвна индустрија. Во 2021 година се запишал на докторски студии на Факултетот за дизајн и технологии на мебел и ентеријер, Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје.

- Професионална кариера

Во октомври 2005 година се вработува во Ј.П.Водовод во Врање, во Градежно оперативно одделение.

Од април 2008 година работи во Вишата школа за применети стручни студии во Врање како наставник во звање предавач за тесната научна област „Систем за

квалитет“. 06.03.2014 година. е избран на работно место предавач за тесната научна област „Примарна преработка на дрво“.

Во ноември 2011 година е избран за раководител на студиската програма Дрвна технологија (Инженерство за мебел и ентериер).

Во 2017 година е избран за претседател на Советот на Колеџот за применети стручни студии во Врање.

Бил претседател на Комисијата за самоевалуација и внатрешно обезбедување на квалитет на Академијата за техничко-образовни стручни студии во Ниш и претседател на Поткомисијата за самоевалуација и внатрешно обезбедување на квалитет на Одделот за АТВСС Врање.

Тој е заменик претседател на Советот на Академијата за техничко-образовни стручни студии во Ниш.

Учесник на проектот ТЕМПУС, „Воспоставување и градење капацитети на Јужнослепската академија и Националната конференција за високо стручно образование“ (ЕСВАС).

Во 2018 година како проект-менаџер реализира проект на Министерството за образование, наука и технолошки развој на Република Србија во Средното училиште за применети стручни студии во Врање - Опремување на лабораторијата за мебел и внатрешно инженерство.

Раководител на меѓународниот проект Еразмус + Ка107 (размена на наставен кадар и студенти) со вишата школа за дрво од Марибор.

Учесник е на повеќе национални и меѓународни конференции и автор е на голем број стручни трудови.

BIOGRAPHY OF THE AUTHOR

Name (paternal) and surname: Damjan (Milan) Stanojevic

Date and place of birth: 02.02.1977

Address: Jadranska 9, Vranje, Serbia

e-mail: damjan.stanojevic@yahoo.com

Mobile: +381-60-0420-369

DAMJAN STANOJEVIĆ was born on February 2, 1977. in Vranje, Republic of Serbia.

• Education data

He finished elementary school in 1992 in Vranje. He graduated from high school (mathematics) in Vranje in 1996, and the same year he enrolled at the Faculty of Forestry in Belgrade, study program "Wood Processing". He graduated in 2003, and defended his thesis entitled "Determining the dullness of cutting tools using laser radiation" with a grade of 10 (ten).

In October 2005, he enrolled in specialist studies at the Technical Faculty in Zrenjanin, study program "Quality Management". He completed his specialist studies in 2007 with an average grade of 9.75, and he defended his specialist thesis under the title "Improving the process of product realization" with a grade of 10 (ten).

In October 2010, he enrolled in master's studies at the Faculty of Furniture and Interior Design and Technologies, University "St. Cyril and Methodius" in Skopje, study program "Machines, energy and transport in the wood industry". He finished his master's studies in 2012 with an average grade of 10 (ten), and he defended his master's thesis entitled "Increasing the quality of whipping in band saws using signal devices for displacement correction" with a grade of 10 and obtained Master's degree in wood industry. In 2021, he enrolled in doctoral studies at the Faculty of Furniture and Interior Design and Technologies, University "St. Cyril and Methodius" in Skopje.

• Professional career

In October 2005, he got a job at J.P. Vodovod in Vranje, in the Construction Operations Department.

Since April 2008, he has been working at the Higher School of Applied Professional Studies in Vranje as a teacher in the title of lecturer for the narrow scientific field "Quality System". 03/06/2014. has been elected to the position of lecturer for the narrow scientific field "Primary wood processing".

In November 2011, he was elected head of the study program Wood Technology (Furniture and Interior Engineering).

In 2017, he was elected president of the Council of the College of Applied Professional Studies in Vranje.

He was the president of the Commission for self-evaluation and internal quality assurance of the Academy for Technical-Educational Professional Studies in Niš and the president of the Subcommittee for self-evaluation and internal quality assurance of the Department of ATVSS Vranje.

He is the deputy president of the Council of the Academy for Technical-Educational Professional Studies in Nis.

Participant of the TEMPUS project, "Establishment and capacity building of the South Serbian Academy and the National Conference for Higher Vocational Education" (ECBAC).

In 2018, as a project manager, he implemented a project of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia in the Secondary School for Applied Vocational Studies in Vranje - Furnishing the laboratory for furniture and interior engineering.

Head of the international project Erasmus + Ka107 (exchange of teaching staff and students) with the Higher School of Wood from Maribor.

He is a participant in several national and international conferences and is the author of a large number of professional papers.

Научна, стручна и истражувачка дејност

1. Дипломска работа

Станојевиќ, Д.: Определување на затапеност на алатките за режење со помош на ласерско зрачење,
Универзитет во Белград, Шумарски факултет, Белград, 2003 г.

2. Специјалистичка работа

Станојевиќ, Д. : Подобрување на процесот на реализација на производот,
Универзитет во Нови Сад, Технички факултет, Михајло Пупин, Зрењанин,
2007 г.

3. Магистарски рад

Станојевиќ, Д.: Зголемување на квалитетот на бичење кај лентовидни пили-
трупчарки со примена на сигнални уреди за корекција на поместот,
Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ Скопје, Факултет за дизајн и
мебел и внатрешна технологија, , 2012 година.

4. Стручни трудови

1. **Станојевиќ Д.** - Интегрисани менаџмент системи и примена у Србији,
Менаџмент знања година V, број 3-4, (2010),
2. **Станојевиќ Д., Стефановиќ С., Илић Д.**- Примена Парето дијаграма са
аспекта квалитета производа примењена на производе ХК "СИМПО"
Врање, REUNION, I постјугословенски симпозијум о одрживом
урбаном развоју са тематском конференцијом “ НОВИ И
ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ“, Нишка Бања, (2010),
3. **Станојевиќ Д.** - Процес сертифицивања QMS-а према захтевима ISO
9001:2000 и активности после добијања сертификата, Зборник радова-
Врањска Бања, научно- стручни симпозијум "савремене машине,
механизми и материјали у индустрији", (2010),
4. **Станојевиќ Д.**-Одговорност руководства приликом увођења CAQ
(рачунаром управљан квалитет), Зборник радова-Врањска Бања, научно-

- стручни симпозијум " савремене машине, механизми и материјали у индустрији ", (2010),
5. **Станојевић Д.**, Побољшање процеса реализације производа, научно-стручни симпозијум " дијагностика и поузданост, информатика и менаџмент, саобраћај и екологија", Врњачка Бања, (2010),
 6. **Станојевић Д.**, Почети развоја и спровођење QFD методе , научно-стручни симпозијум " дијагностика и поузданост, информатика и менаџмент, саобраћај и екологија", Врњачка Бања, (2010),
 7. Стефановић, С., **Станојевић, Д.** – Примена поступака контроле квалитета производа у погону тапетарија предузећа АД Симпо у Врању, Зборник радова, 15th International Conference DEPENDABILITY AND QUALITY MANAGEMENT ICDQM- Београд, 2012,
 8. Стефановић С., Јевремовић В., **Станојевић Д.** – Conditions for Increasing the Recycled Content in New Tires from Aspect of Increasing Their Quality, ANNALS OF FACULTY ENGINEERING HUNEDOARA – International Journal of Engineering, Romania, 2013,
 9. **Станојевић Д.**, Трпоски З., Кољозов В., Рабациски Б. – Control of Lateral Displacement of Logs Bandsaw, International Scientific Conference WOOD TECHNOLOGY AND PRODUCT DESIGN, Ohrid, 2013,
 10. Вучић В., **Станојевић Д.**, Стефановић С., - Mechanic of Toyota System, Proceedings, 4th International Conference LIFE CYCLE ENGINEERING AND MANAGEMENT ICDQM – Београд, 2013,
 11. Стефановић С., **Станојевић Д.**, - Statistical Quality Process Control , Proceedings, 4th International Conference LIFE CYCLE ENGINEERING AND MANAGEMENT ICDQM – Београд, 2013,
 12. Стефановић С., **Станојевић Д.**, - TQM Organization in View of Management Goals, 6th International Multydisciplinary Scientific Conference EUROBRAND, Пожаревац, 2013,
 13. **Станојевић Д.**, Стефановић С., Станисављевић Б. – The Parallels Between the Onefold and Twofold Plans of Receipt of Series of Production, 6th International Multydisciplinary Scientific Conference EUROBRAND, Пожаревац, 2013,
 14. Стефановић С., Цвејић Р., **Станојевић Д.**, Илић Д. – Quality of Foreign Trade in the “Alfa plam” Company from Vranje, 3th International Conference “Law, Economy and Management in Modern Ambience” LEMIMA, Београд, 2013,
 15. **Станојевић Д.**, Стефановић С. – Интерне провере квалитета са циљем повећања ефективности система управљања квалитетом, XXXVI Конференција мајски скуп одржавалаца Србије – Мерење индикатора перформанси одржавања техничких система у компанијама, Врњачка Бања, 2013,
 16. **Станојевић Д.**, Стефановић С., Станисављевић Б. – Стање развоја и модели ТQM-а, XXXVI Конференција мајски скуп одржавалаца Србије – Мерење индикатора перформанси одржавања техничких система у компанијама, Врњачка Бања, 2013,

17. **D.Stanojevic**, Lj.Djordjevic, N.Janjic, S.Stefanovic, "Praktični primer P kontrolne karte u drvnoj industriji", 1th Naučno-stručni skup "Energetska efikasnost", 25.oktobar 2013., Beograd,
18. G. Mrdak, M. Nikolić, **D. Stanojević**, Poslovna politika banke, International Conference "Knowledge", Bansko, Bulgaria, 2014,
19. M. Nikolić, Lj. Stošić Mihajlović, **D. Stanojević**, S. Stefanović, Menadžment I funkcije menadžmenta, International Conference "Knowledge", Bansko, Bulgaria, 2014.
20. **D.Stanojevic**, S.Stefanovic, Regression and Correlation in Function of Wood Processing, International Conference "Knowledge", Bansko, Bulgaria, 2014.
21. **D.Stanojevic**, S.Stefanovic, Influence of Physical and Mechanic Properties of Panels of the Cutting Power, International Conference "Knowledge", Bansko, Bulgaria, 2014.
22. S.Stefanovic, V. Jevremović, I.Kiss, **D. Stanojevic**, Basic Strategy of Tire Recycling With the Emphasis on the Tire Industry, 5th ICDQM International Conference "Life Cycle Engineering and Management", Belgrade, Serbia, June 2014.
23. **D.Stanojevic**, G.Danon, S.Stefanovic, N.Janjic, Use,Advantages and Disadvantages of Woody Biomass for Obtaining Thermal Energy, 2nd International Scientific Conference, Ohrid, Macedonia, 2014.
24. **D. Stanojević**, S. Stefanović, B. Stanisavljević: Phase of Implementation of ISO System, 7th International Multidisciplinary Scientific Conference EUROBRAND, Zrenjanin, 2014.
25. S. Stefanović, B. Stanisavljević, **D. Stanojević**: Basic Significance of Effectiveness of Mechanical System on Their Reliability, 7th International Multidisciplinary Scientific Conference EUROBRAND, Zrenjanin, 2014.
26. D. Ilić, S. Stefanović, N. Janjić, **D. Stanojević**, Development of the Model of Optimized Parameters of Quality of the Raaw Water, American Journal of Engeneering Research (AJER), vol.-03, issue-03, pp-155-167, 2014.
27. S.Stefanovic, V. Jevremović, N. Janjić, **D. Stanojevic**, R. Cvejić, Basic Strategy of Tire Quality With the Emphasis on the Tire Industry, IOSR Journal of Engeneering (IOSRJEN), Vol 04, Issue 02, (2014), 24-31.
28. S.Stefanovic, V. Jevremović, I.Kiss, **D. Stanojevic**, Basic Strategy of Tire Recycling With the Emphasis on the Tire Industry, ANNALS of Faculty Engeneering Hunadoara – International Journal of Engeneering, XII(2014), University POLITEHNICA Timisoara.
29. S.Stefanovic, I.Kiss, G. Bogdanović, **D. Stanojevic**, Analysis of Factors of Occurrence of Toxic Components in Otto Engine, Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering VII(2014), University POLITEHNICA Timisoara.
30. **D.Stanojevic**, G.Danon, S.Stefanovic, N.Janjic, Obtain the Necessary Amount of Heat from Biomass in Boiler Factory Plant „Simp“ in Vranje, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, XII (2014), University POLITEHNICA Timisoara.
31. S.Stefanovic, I.Kiss, **D. Stanojevic**, N.Janjic, Analysis of Technological Process of Cutting Logs Using Ishikawa Diagram, Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering VII(2014), University POLITEHNICA Timisoara.

32. S. Stefanović, N. Janjić, **D. Stanojević**, Gasovita goriva i način njihovog korišćenja u industriji, XXXVII Konferencija, Majski skup održavalaca Srbije „nova koncepcija održavanja: vibrodijagnostičko održavanje tehničkih sistema u kompanijama“, Vrnjačka Banja, 2014.
33. Lj. Đorđević, S. Stefanović, **D. Stanojević**, Osnovne karakteristike nafte, XXXVII Konferencija, Majski skup održavalaca Srbije „nova koncepcija održavanja: vibrodijagnostičko održavanje tehničkih sistema u kompanijama“, Vrnjačka Banja, 2014.
34. **Д., Станојевић, Г.**, Данон – Истраживање снаге резања на кружним тестерима при резању плоча од иверице различитих својстава, Техника 4/2015, 638-643.
35. **D. Stanojević**, “Analiza tehnološkog postupka izrade nameštaja pomoću Pareto metode”, International Scientific Conference “Knowledge – Capital of the Future”, 02–04 October, Agia Triada, Greece, 2015.
36. S. Stefanović, LJ.Diković, **D.Stanojević**, Forming of Universal Optmal Operation Model of Frane for Coil Winding With Finished Yarn According to Selected Measuring Points, 6th DQM Interational Conference, Prijedor, Serbia, June 2015.
37. Stefanovic S., Stanisavljevic, B., **Stanojevic, D.**, Kiss, I., Ilic,D.”Human Resource Management in Wood Processing Industry”, 8th International Multidisciplinary Scientific Conference EUROBRAND, Zrenjanin, 2015.
38. Stefanovic S., Janjic, N., **Stanojevic, D.**, Kiss, I.”Applying Electro Discharge Machining (EDM)“, 8th International Multidisciplinary Scientific Conference EUROBRAND, Zrenjanin, 2015.
39. **D. Stanojević**, G. Mrdak, Analiza postupka dobijanja toplotne energije iz drvnog otpada u cilju povećanja profita, Energetika 2016 XXXII međunarodno savetovanje, Zlatibor, 22.03. – 25.03.2016.
40. S. Stefanović, V. Jevremović, **D. Stanojević**, Spaljivanje odbačenih pneumatika kao otpada u fabrikama cementa, Energetika 2016 XXXII međunarodno savetovanje, Zlatibor, 22.03. – 25.03.2016.
41. **D. Stanojević**, “Značaj primene savremenih tehničkih sredstava u drvoprerađivačkoj industriji”, Naučna konferencija sa međunarodnim učešćem: Obrazovanje i društveni razvoj Srbije sa akcentom na Bor i istočnu Srbiju, Borsko jezero, 2016.
42. **D. Stanojevic**, “Basis of Maximum Qualitative Utilized Sawing in Cutting Beech”, Tenth International Scientific Conference The Power of Knowledge, 7. – 09.10.2016., Greece.
43. **D. Stanojevic**, “Analyzis of Technology Optimization Process of Cutting Boards in Order to Increase Profit”, 13th Internationl Scientific Conference, 17.-18.06.2016., Sofia, Bulgaria.
44. **D. Stanojevic**, M. Mandic, G. Danon, S. Svrzic, Prediction of the Surface Roughness of Wood in Machining Process, Journal of Forestry Research, DOI 10.1007/s11676-017-0401-z, Volume 28, Issue 6, pp 1281–1283 November 2017.
45. T. Micić, G. Bogdanović, **D. Stanojević**, Morpho-Anatomical Diferentation of the Leaf of Species *Querqus Coccifera* L. from the Location of Republic of Serbia and Two Different Location from Republic of Macedonia, XV-th

- Jubilee International Scientific Conference, Bansko, Bulgaria, December 15-17. 2017.
46. D. Stanojevic, „POSTUPAK SPROVOĐENJA PARETO METODE U DRVNOJ INDUSTRIJI”, Zbornik radova ATVSS Niš, pp.112-115, 2020.
 47. Tijana Milanović, Gordana Bogdanović, Damjan Stanojević, MERE ZAŠTITE DRVETA PRE I TOKOM INDUSTRIJSKE PRERADE , Zbornik radova ATVSS Niš, pp.109-111, 2020.
 48. **D. Stanojevic**, „ANALYSES OF THE PROCESSING MODE ON THE CUTTING FORCE WHEN CUTTING BEECH WOOD”, Proceedings, 5th international scientific conference WOOD TECHNOLOGY & PRODUCT DESIGN, Ohrid, Republic of North Macedonia, pp 244-250, 2021.
 49. Srdjan Svrzic, Marija Djurkovic, Gradimir Danon, and **Damjan Stanojevic**, (2021).„On Acoustic Emission Analysis in Circular Saw Cutting Beech Wood in Respect to Power Consumption and Surface Roughness”, BioResources 16(4), 8239-8257.
 50. Damjan Stanojević, Miloš Kocić, „STABILITY ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MECHANICAL WOOD PROCESSING USING CONTROL CHARTS”, 38th International Scientific Conference The Power of Knowledge, 06. – 09.10.2022., Greece.
 51. Damjan Stanojević, Miloš Kocić, „STABILITY ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MECHANICAL WOOD PROCESSING USING CONTROL CHARTS”, 38th International Scientific Conference The Power of Knowledge, 06. – 09.10.2022., Greece.
 52. Gordana Bogdanović, Slobodan Stefanović, Damjan Stanojević, „ORGANIZACIJA PRIKUPLJANJA I ODVOŽENJA KOMUNALNOG OTPADA NA TERITORIJI GRADA VRANJA”, Zbornik radova ATVSS Niš, pp.160-163, 2022.
 53. Damjan Stanojević, „PRIMENA SWOT ANALIZE KAO ALATA KONTROLE KVALITETA”, Zbornik radova ATVSS Niš, pp.185-187, 2022.
 54. Alexander Pastukhov, Evgeny Timashov, Damjan Stanojević, „TEMPERATURE CONDITIONS AND DIAGNOSTICS OF BEARINGS“, Applied Engineering Letters (ISSN 2466-4677; e-ISSN 2466-4847), 2023.
 55. D.Stanojevic, „INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF CUTTING POWER AND SURFACE ROUGHNESS ON THE PROCESSING MODE”, 6th International Scientific Conference „Wood Technology & Product Design“, 2023, Ohrid, Republic of North Macedonia.
 56. Lidija Stamenković, Vladanka Presburger Ulniković, Tijana Milanović, Gordana Bogdanović, Damjan Stanojević, „PREDICTION OF AMMONIA EMISSIONS FROM THE AGRICULTURE USING MLR AND ANN”, ECOLOGICA, Vol. 30, No 111 (2023), 455-460
<https://doi.org/10.18485/ecologica.2023.30.111.16>
 57. Vladan S. Jovanovic, Marko Ignjatovic, Branislav Dimitrijevic, Damjan Stanojevic „ASSESSMENT OF RUBBER BLENDS USING MULTI-CRITERIA ANALYSIS”, XLII INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE „ THE POWER OF KNOWLEDGE”, October, 05 – 08. 2023, Perea, Greece.

58. Damjan Stanojević, Branislav Dimitrijević, „ TEHNOLOŠKI POSTUPAK REZANJA PLOČA IVERICA NA HORIZONTALNOM FORMATIZERU UZ MERENJE PARAMETARA OBRAD “ Zbornik radova ATVSS, 2023.



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО
СКОПЈЕ**
**ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ НА МЕБЕЛ И
ЕНТЕРИЕР**



Дамјан Милан Станојевиќ

**ВЛИЈАНИЕ НА РЕЖИМИТЕ НА ОБРАБОТКА ВРЗ
КВАЛИТЕТОТ НА РЕЗНАТА ПОВРШИНА ПРИ РЕЖЕЊЕ
СО КРУЖНА ПИЛА**

Авторезиме на докторска дисертација

Скопје, 2025.

1. ВОВЕД

Дрвото како материјал е многу погодно за внатрешна и надворешна декорација. Лесно се обликува со релативно мала потрошувачка на енергија. Има ниска звучна, топлинска и електрична спроводливост и висока отпорност на хемиски супстанции.

На Балканскиот Полуостров има околу 20 видови дрвја од индустриско значење, од кои само неколку се поважни. Најважни домашни видови дрвја се: бука, даб, смрча, ела и бор.

Буката (*fagus sylvatica* L.) е најраспространет дрвен вид во нашиот регион, а нејзината висинска распространетост е од 750 до 1540 метри надморска височина. Буковото дрво добро се обработува рачно и механички. Оптималната брзина на режење е околу 30 m/s (www.kolibica.com). Буковото дрво добро се пари и во процесот ја менува својата боја во црвеникава, добро се лепи, бруси, дупчи, витка, лупи и се обработува површински. Буковото дрво има многу широко поле на употреба и се користи за ниска и високоградба, за скали, за мебел, фурнир, паркет, за производство на иверки, потоа за производство на иверица, ламинирано и свиткано дрво и слично.

Режењето е процес на преработка на дрво со нарушување на врската помеѓу влакната по дадена траекторија на острицата. Обработката на дрвото со режење се врши со и без отстранување на струготини. Со отстранување на струготини дрвото се обработува со: бичење, режење, рамнење, глодање, дупчење, стругање, лупење, токарење, длабење и брусење. Без формирање на струготини, дрвото се обработува: со отсекување, просекување и пробивање (Кршљак, 1996). Процесот на режење дрво е составен од четири неразделни единици (Марко и Холик, 2000). Првиот е работното парче (тип на дрво, влажност, густина, температура, димензии, тврдина итн.). Втората единица се состои од условите за режење (тие претставуваат збир на фактори кои директно влијаат на работното парче, алатот и уредот и се неопходни за изведување на процесот на режење). Третата единица е механизмот за режење (главно движење, помошното движење, силите на режење, перформанси на моторот итн.). Четвртата единица е претставена со алатот (број на острици, видот на материјалот, геометрија на алатот итн.). Познавањето на секој од овие потсистеми придонесува за намалување на трошоците за производство и заштеда на енергија (Коваџ, 2010).

Во пракса најважно е да се постигне резултат, а исто така многу е важно целиот технолошки процес на обработка на дрвото да се врши со најмали можни трошоци. Голем дел од овие трошоци е потрошувачката на енергија за режење. Постојат многу фактори кои влијаат врз потрошувачката на енергија. Тоа се: материјалот што се обработува, материјалот од кој е направен алатот, геометријата на алатот, брзината на главната движење, брзината на поместување итн.

Квалитетот на обработка се смета за еден од значајните ограничувачки параметри за максимизирање на перформансите на машините за обработка на дрво. Без разлика на видот на обработката и неговото совршенство, не е можно да се создаде детал така што тој „идеално“ одговара на димензиите означени на соодветниот цртеж. Новосоздадените површини при режење дрво никогаш не се совршено мазни, без разлика дали се рамни или закривени. Критериуми кои го карактеризираат квалитетот на обработената површина се

површинската рапавост, брановидност, точност на обработка и ресавост. Причините за рапавоста се главно следниве:

- ✓ траги за обработка на алат,
- ✓ нерамномерност од заостанати деформации на дрвото,
- ✓ траги од вибрации на машината, алатот и работното парче,
- ✓ режими на режење,
- ✓ затапеноста на острицата на алатот,
- ✓ насока на режење во однос на насоката на протегање на дрвните влакна и
- ✓ физичките и механичките својства на дрвото, особено волумната маса.

Формата на равенката што ја поврзува зависната променлива (моќноста на режење, рапавоста на обработената површина, точност на обработка) со независно променливи количини (брзина на помошно движење, големина на истуреност на кружната пила, затапеност на алатот) претставува математички модел. Воспоставената зависност ги открива причинско-последичните врски помеѓу променливите и дава можност, во поголема или помала мера, за сигурно предвидување или проценка на зависната променлива.

Според досегашните сознанија за истражувањата во оваа област, ја приложуваме следната:

СОДРЖИНА

1.	ВОВЕД	13
2.	ПРЕДМЕТ И ЦЕЛ НА ТРУДОТ.....	15
2.1.	Целта на истражувањето и очекуваните резултати.....	16
2.2.	Хипотези	17
3.	ТЕОРЕТСКА ОСНОВА.....	18
3.1.	Структура на дрвото.....	18
3.1.1.	Макроскопска структура на буково дрво.....	19
3.1.2.	Микроскопска структура на буково дрво.....	21
3.1.3.	Својства на дрвото важни за режење.....	22
3.2.	Механичка обработка на дрвото.....	24
3.2.1.	Основи на теоријата на режење.....	25
3.2.1.1.	Основна геометрија на острицата.....	26

3.2.1.2.	Почетно острење и затапување на острицата.....	29
3.2.1.3.	Форми на затапување.....	32
3.2.1.4.	Основни видови на режење.....	34
3.2.2.	Формирање на струготини за време на режењето	36
3.2.2.1.	Формирање на струготини при надолжно режење.....	37
3.2.3.	Теорија на сложено режење.....	38
3.2.4.	Параметри на процесот на сложено режење – режење со кружна пила.....	39
3.2.5.	Кинематика на режење.....	39
3.3.	Квалитет на површината.....	41
3.3.1.	Рапавоста на површината	43
3.4.	Претходни истражувања	46
3.4.1.	Процес на режење на дрвото.....	46
3.4.2.	Брзина на поместува.....	47
3.4.3.	Алат (геометрија, истуреност, абеење).....	50
4.	МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО.....	52
4.1.	Избор на суровини и производство на спрувети за испитување на физичките својства	54
4.1.1.	Испитување и анализа на физичките својства	56
4.2.	Експериментални мерења	62
4.2.1.	Мерење на абеењето на алатот	63
4.2.2.	Мерење на моќноста на режење	66
4.2.3.	Мерење на акустичната емисија	67
4.2.4.	Мерење на рапавоста на резната површина	69
4.2.5.	Мерење на точноста на обработката	70
5.	РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИСТРАЖУВАЊЕТО	71
5.1.	Својства на дрвото	71
5.1.1.	Физички својства на целосниот примерок	71

5.1.2.	Избор на примерокот за истражување	73
5.2.	Мерење на затапеноста на алатот	74
5.2.1.	Резултати од мерењето на затапеноста на алатот	74
5.3.	Мерење на моќноста на режење при режење со кружна пила	74
5.3.1.	Резултати од мерењето на моќноста на режење за време на режењето со кружна пила	74
5.3.2.	Анализа на резултатите од мерењето на моќноста на режење при режење со кружна пила	78
5.4.	Мерење на акустична емисија	79
5.4.1.	Резултати од мерењето на акустичните емисии	80
5.4.2.	Анализа на резултатите од мерењето на акустична емисија	81
5.5.	Мерење на рапавоста на обработената површина	81
5.5.1.	Резултатите од мерењето на рапавоста на обработената површина	81
5.5.2.	Анализа на резултатите од мерењата на рапавоста на обработената површина	85
5.6.	Мерење на точноста на обработената површина	87
5.6.1.	Резултатите од мерењето на точноста на обработената површина	87
5.6.2.	Анализа на резултатите од мерењата на точноста на обработената површина	88
5.7.	Анализа на влијанието на брзината на помошното движење и висината на режењето врз моќноста на режењето	88
6.	ДИСКУСИЈА	89
7.	ЗАКЛУЧОЦИ	91
8.	ЛИТЕРАТУРА.....	95
	БИОГРАФИЈА НА АВТОРОТ.....	99

2. ПРЕДМЕТ И ЦЕЛ НА ТРУДОТ

Истражувањето планирано како дел од предложената дисертација се однесува на факторите кои влијаат на моќноста на режењето и квалитетот на резната површина. Овие фактори се брзината на поместување, затапеноста на алатот и истуреноста на остриците на кружната пила над деталот. Сепак, не сите од овие фактори имаат подеднакво влијание врз моќноста на режење и квалитетот на режењето. Некои од нив дејствуваат во форма на позитивна, а некои во форма на негативна корелација:

- Брзината на поместот влијае на тој начин што со нејзиното зголемување доаѓа до зголемување на моќноста на режење, а од друга страна се намалува квалитетот на режењето.
- Затапеноста на алатот влијае на тој начин што со неговото зголемување се зголемува моќноста на режење, додека квалитетот на режењето се намалува. Бидејќи за режење ќе се користи една пила со 24 заби, затапеноста на алатот ќе се контролира на четири заби кои се подеднакво распоредени.
- И, конечно, големината на истуреноста влијае така што со зголемување на големината на истуреноста на остриците се јавуваат поголеми амплитуди на вибрации на остриците од пилата, а со тоа и зголемување на рапавоста на резната површина (намалување на квалитет). Од друга страна, зголемувањето на истуреноста на пилата до 35 mm ја зголемува моќноста на режење, а со дополнително зголемување (над 35 mm) моќноста на режење се намалува (Mikulaš and Luboš, 2006.).

Проблемот е и квантификацијата на затапеноста на алатот, како и квантификацијата на ефектот на секој поединечен фактор врз силата на режењето, рапавоста на површината и прецизноста на обработката.

Предмет на докторската дисертација е влијанието на брзината на движење, големината на истуреноста на кружната пила над обработуваното парче и затапеноста на кружната пила врз силата на режење и квалитетот на обработената површина при режење на бука (*Fagus silvatica* L.) со кружна пила. Излезните критериуми кои ќе бидат разгледани во оваа дисертација ќе бидат квалитетот на обработената површина (рапавоста на обработената површина и точноста на обработка) и моќноста на режење. Критериуми за влезните т.е. независните променливи ќе бидат брзината на поместот, затапеноста на алатот и вредноста на истуреноста на кружната пила над работното парче.

2.1. Целта на истражувањето и очекувани резултати

Основната цел на ова истражување е да се прикаже, опише и анализира корелацијата помеѓу влезните фактори, со што се постигнува бараниот квалитет на обработка со оптимална потрошувачка на моќност за режење. Многу е важно да се одреди корелацијата помеѓу избраните влијателни фактори (брзина на помошно движење, големина на испакнување на кружната пила, затапеност на алатот) од една страна и моќноста на режење и квалитетот на обработената површина од друга страна. Исто така, една од целите на истражувањето е резултатите од истражувањето да придонесат за подобро разбирање на режењето дрво со кружна пила преку изработка на модел за анализа на квалитетот на обработената површина и моќноста на режење. Целта е и да се утврдат реалните можности и ограничувања за добивање на висококвалитетна површина при комбинирање на различни влијателни параметри. Една од целите е да се определи влијанието на влезните параметри (пред се затапувањето на алатот) врз појавата на принудни вибрации. Се очекува силно влијание на затапеноста на алатот врз појавата на принудни вибрации, а можна е и појава на резонанца (максимална амплитуда на осцилација).

Како што споменавме погоре, типот на механичка обработка што ќе се анализира во дисертацијата е режењето со кружна пила, како еден од најраспространетите видови на обработка во финалната обработка на дрвото.

Се очекува дека анализата на податоците собрани во експериментот ќе покаже кој од трите влијателни фактори (брзина на помошното движење, истуреност на пилата и затапеност на алатот) има најголемо влијание на моќта на режење, како и на квалитетот на обработената површина.

Очекуван научен придонес на дисертацијата:

- Добивање на модел кој ја одредува комбинацијата на влијателни фактори за постигнување на најдобар квалитет на обработка со оптимална потрошувачка на моќност за режење;
- Дефинирање на корелација помеѓу факторите кои влијаат на квалитетот на обработената површина и моќноста на режење;
- Одредување на режим на обработка со цел подобрување на квалитетот на обработената површина.

Овој модел треба да им служи на сите кои се занимаваат со обработка на дрво на таков начин што ќе ја дефинира големината на факторите кои влијаат за да се добие најдобар квалитет на обработената површина со оптимална потрошувачка на енергија. На овој начин, производителите на мебел однапред ќе знаат какви големини на брзина на движење, истуреност и затапеност на алатот треба да ги преземат за да добијат што е можно помала рапавост на површината за обработка, најмала можна брановидност на резната површина, највисока можна точност на обработка со оптимална потрошувачка на моќност за режење. Овој општ модел ќе се воспостави за режење буково дрво на кружна

пила, но за други видови тврдо дрво (даб, јасен, брест, орев, цреша и сл.) потребно е да се добијат потребните коефициенти со експеримент.

2.2. Хипотези

Беа направени следните претпоставки - хипотези кои ќе бидат анализирани во рамките на докторската дисертација, врз основа на добиените резултати од истражувањето:

3. Хипотеза за карактерот на влијанието на затапеноста на алатот врз квалитетот на резната површина и врз моќта на режење;
4. Хипотеза за карактерот на влијанието на брзината на помошното движење и истуреноста на алатот врз акустичниот притисок (бучава);
3. Хипотеза за карактерот на влијанието на големината на истуреноста на кружната пила врз квалитетот на резната површина и врз моќноста на режењето;
4. Хипотеза за карактерот на влијанието на брзината на помошното движење врз квалитетот на резната површина и врз моќноста на режењето.

3. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Како дел од дисертацијата поврзана со истражување на квалитетот на резната површина и моќта на режење при обработка на буково дрво на кружна пила, неопходно е да се спроведат обемни теоретски и експериментални истражувања кои треба да доведат до реализација на очекуваните научни придонеси.

Методите што се користат во ова истражување ги вклучуваат сите фази на работата, од претходното истражување и собирање литература, преку експерименти и обработка на податоци, до заклучоци и анализи.

Основните методи на статистичка обработка на податоците и методите на компаративна анализа, кои беа користени во дисертацијата, се:

- Методи на планирање експерименти;
- Статистички методи на експериментална обработка на податоци;
- Методи на анализа и избор на функции на теоретска дистрибуција;
- Непараметриски методи за евалуација на избраната дистрибуција.

Од експерименталните методи беа користени:

- метод за индиректно мерење на моќноста потребна за режење со помош на уред за мерење-аквизиција развиен на Шумарскиот факултет во Белград,
- квантитативна (контактна) метода за определување на рапавоста на резната површина,
- мерење на точноста на обработката со дигитален дебломер на назначените места.

Истражувачкиот план за влијанието на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина при режење на кружна пила се состои од следните фази:

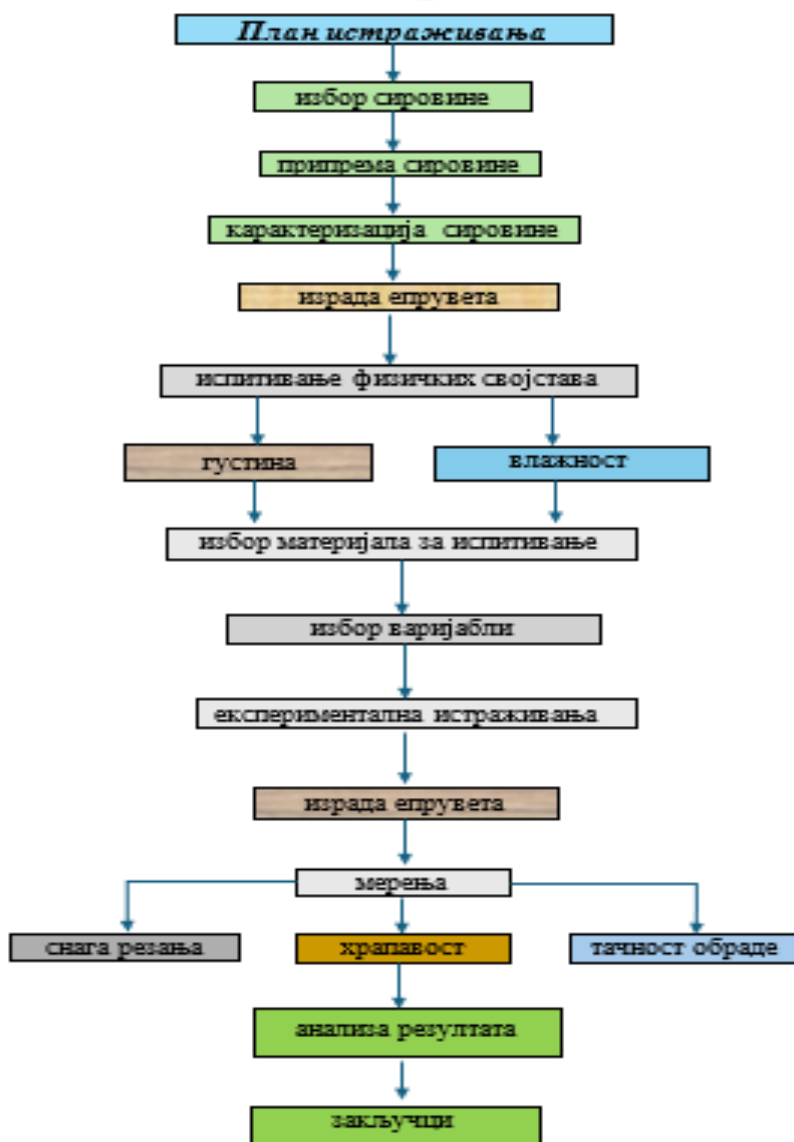
- избор на суровина,
- подготовка на суровини,
- изработка на епрувети за испитување на физички и механички својства,
- испитување и анализа на физичките својства,
- избор на штици за изработка на епрувети за тестирање на влијанието на режимот на обработка врз квалитетот на режењето и врз силите на режењето,
- испитување на влијанието на начинот на обработка врз квалитетот на режењето и врз силите на режењето,
- анализа на резултатите,
- заклучоци.

Буката (*Fagus sylvatica* L) е избрана за тестирање на ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на површината на режењето при режење со кружна пила, како еден од најраспространетите домашни видови, кој е на самиот врв по својата естетика, физички, механички, технолошки и употребни својства на дрво. Фурнирот, граѓата и елементите

претставуваат само преодна форма, додека мебелот и другите вредни производи што му се потребни на човекот претставуваат примарна цел. Следен чекор во истражувањето е изборот на соодветни букови штици, потребни за истражувањето, во еден од магацините во Србија. Штиците избрани за истражување мораа да бидат радијални и без видливи дефекти во структурата на дрвото. По подготовката и карактеризацијата на штиците во лабораторијата, потребно е да се изврши статистичка анализа на нивните физички својства. Врз основа на поставените критериуми беа избрани штици со еднаква влажност и густина, од кои беа изработени епрувета.

Лабораториските тестови вклучуваа мерење на силите на режење и рапавоста на површината, како и мерење на акустични емисии при надолжно режење со кружна пила за различни услови на режење.

На слика 3.1. е даден планот за истражување



Слика 3.1. План за истражување

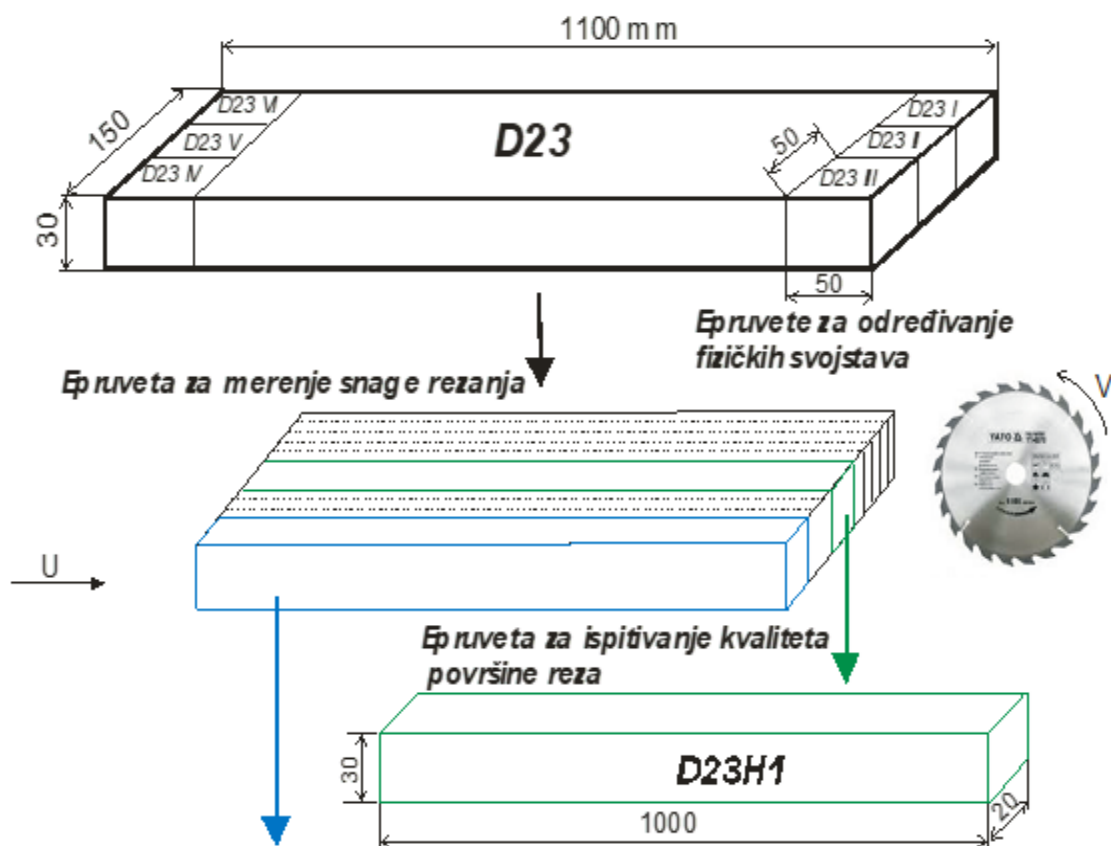
3.1. Избор на суровини и производство на епрувети за испитување на физичките својства

Трупците добиени од избрани букови стебла (*Fagus silvatica* L.) во суровинската основа Гоч беа режени на штици со дебелина од 35 mm на лентовидна пила-трупчарка. Бидејќи во производството на мебел од буково дрво се користи дрво со влажност од 8 до 10%, (Извор: Коларевиќ Д.О.О. Чикевац), сортиментите се сушеа во сушара на влажност од 8% и потоа е извршено кондиционирање. Целта на кондиционирањето е да се намали градиентот на влага на примероците, кој се создал при процесот на сушење, што истовремено ги намалува внатрешните напрегања во дрвото. По сушењето се избираа соодветни штици, се изврши рамнење и деблање и од тие штици се направени примероци од прави влакна, без јазли и пукнатини, со димензии 1100 mm × 30 mm × 150 mm. После тоа, примероците се етикетирани и секој од нив има своја ознака. За тестирање е избран неинфициран, без дефекти, материјал со просечна порозност и густина.

Првиот чекор во развојот на методологијата на оваа докторска дисертација е карактеризација на предметот на трудот. Карактеризацијата на предметот на работата вклучува испитување на физичките својства на штиците (влажност и густина) со цел да се изберат приближно униформни сортименти со цел да се минимизира влијанието на разликите во својствата на штиците врз крајниот резултат на истражувањето. Поради оваа причина, Универзитетот во Белград, Шумарски факултет, ја тестираше влажноста и густината на сите штици кои беа доставени до Центарот за машини и алати на Шумарскиот факултет. После тоа, сите штици беа преиспитани. Врз основа на визуелен преглед, отфрлени се табли со последователни забележани грешки во структурата на дрвото (неправилна структура, јазли, искривени влакна и сл.).

На слика 3.2 е прикажан редоследот и начинот на изработка на дабовите епрувети потребни за тестирање на физичките својства, како и епруветите потребни за анализа на ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина при режење букови штици на кружна пила. Како што се гледа од сликата, по изрежување на епрувети за определување на густината и влажноста со димензии 50x50x30 mm, добиени се епрувети за мерење на силата на режење при режење со кружна пила со широчина до 150 mm, дебелина 30 mm и должина од 1000 mm. Се мереше моќноста на режење при секое поминување на алатот, а по секое петто поминување се режеше епрувета за мерење на рапавоста на обработената површина со димензии 30x20x1000 mm.

Пред почетокот на обработката, епруветите беа кондиционирани на температура од 20±2°C и релативна влажност на воздухот од 65±5%.



Слика 3.2. Постапка за изработка на епруветни потребни за истражување

Сортиментите, кои беа подложени на тестови, се означени со шифри и се прикажани на слика 3.3.



Слика 3.3. Букови штици на кои се испитувани физичките својства

После тоа, на секоја штица беа означени и изрежани шест епрувети со димензии 50x50x30 mm, по три на секоја страна од штицата. Секоја епрувета има соодветна шифра (на пр. епруветите изрежани од 4-та штица се шифрирани со D4f1, D4f2, D4f3, D4f4, D4f5 и D4f6). Епруветите за тестирање на физичките својства се прикажани на слика 3.4.



Слика 3.4. Епрувети за испитување на физичките својства

3.1.1. Испитување и анализа на физичките својства

По обележувањето се измерени димензиите на секоја епрувета за да се добие волуменот, а по мерењето на димензиите се измерени и нивните маси (Слика 3.5.).



Слика 3.5. Мерни епрувети за пресметување на влажноста и густината

По сушењето на епруветите до апсолутно сува состојба, се мери тежината на секоја епрувета и се одредува влажноста на примерокот со помош на гравиметрискиот метод. Влагата на дрвото е одредена со гравиметриска метода во согласност со стандардот ISO 3130 - 1975 (E), врз основа на податоците за дрвните маси во влажни и апсолутно суви услови. Апсолутна влажност се пресметува според формулата:

$$V = \frac{m_v - m_0}{m_0} \times 100[\%]$$

где су: V – апсолутна влажност [%],

m_v – маса на влажна епрувета [g],

m_0 – масата на епрувета во апсолутно сува состојба на влажност [g].

Густијата на дрвото се одредува во согласност со стандардот ISO 3131 - 1975 (E), кој предвидува определување на волумната маса на дрвото. Волумната маса на апсолутно суво дрво се пресметува според следната формула:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{v_0} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

где су: m_0 – измерената маса на епрувета во апсолутно сува состојба на влажност [g],

v_0 – измерен волумен на епрувета во апсолутно сува состојба на влажност [cm³]

3.2. Експериментални мерења

По утврдувањето на физичките својства на штиците кои беа изрежани со цел да се испита ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на режењето, се мереше моќта на режење и акустичните емисии при одредени режими на обработка. Веднаш по режењето, се мереше рапавоста и точноста на обработката за секој режим на обработка.

Режимите на обработка се одредуваат со следните параметри кои претставуваат независни променливи:

✓ **TW** – (Tool Wearing) – Абење на алатот – Големина на затапеност на алатот [μm].

Истражувањето е спроведено при режење со остра пила (Стапка на абење на алатот TW1).

✓ **u** – Брзина на поместот [m/min].

Истражувањето е спроведено со помошни брзини на движење $u_1=4$ m/min, $u_2=8$ m/min и $u_3=12$ m/min.

✓ **h** – Истуреност на пилата во однос на предметот на обработка [mm].

Истражувањето е изведено со димензии на истуреноста на пилата во однос на предметот на работа од $h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm и $h_3=30$ mm.

Истражувањето е извршено со вртежи од $n=3940 \text{ min}^{-1}$, односно со константна брзина на главното движење $V = 61,86 \text{ m/s}$.

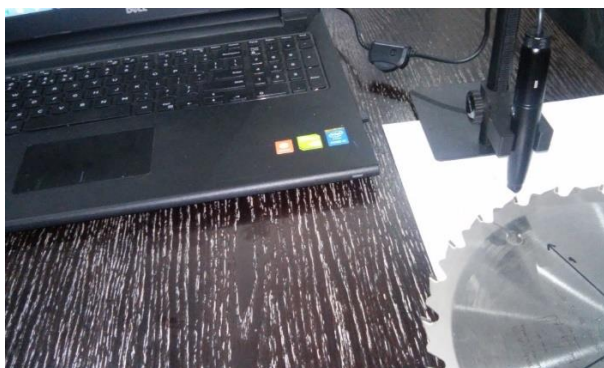
3.2.1. Мерење на абењето на алатот

Непосредно пред режењето е измерена затапеноста на алатот. Алатот што се користи за режење е кружна пила со 24 заби, со дијаметар од 300 mm.

Затапеноста е измерена на четири заби распоредени на еднакво растојание едни од други околу обемот на кружната пила (Слика 3.6.).



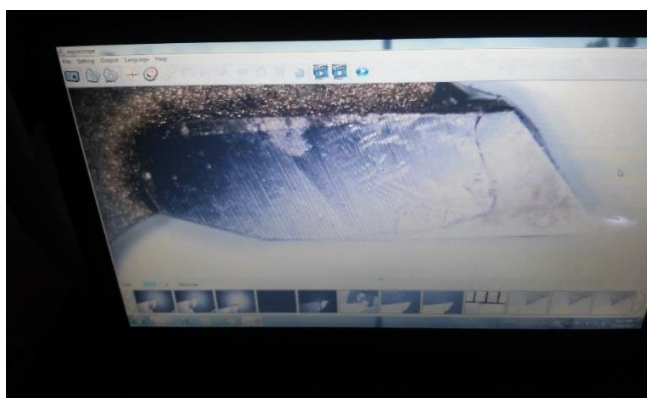
Слика 3.6. Заби на кружна пила
помош



Слика 3.7. Мерење на затапеноста на алатот со
на дигитален микроскоп

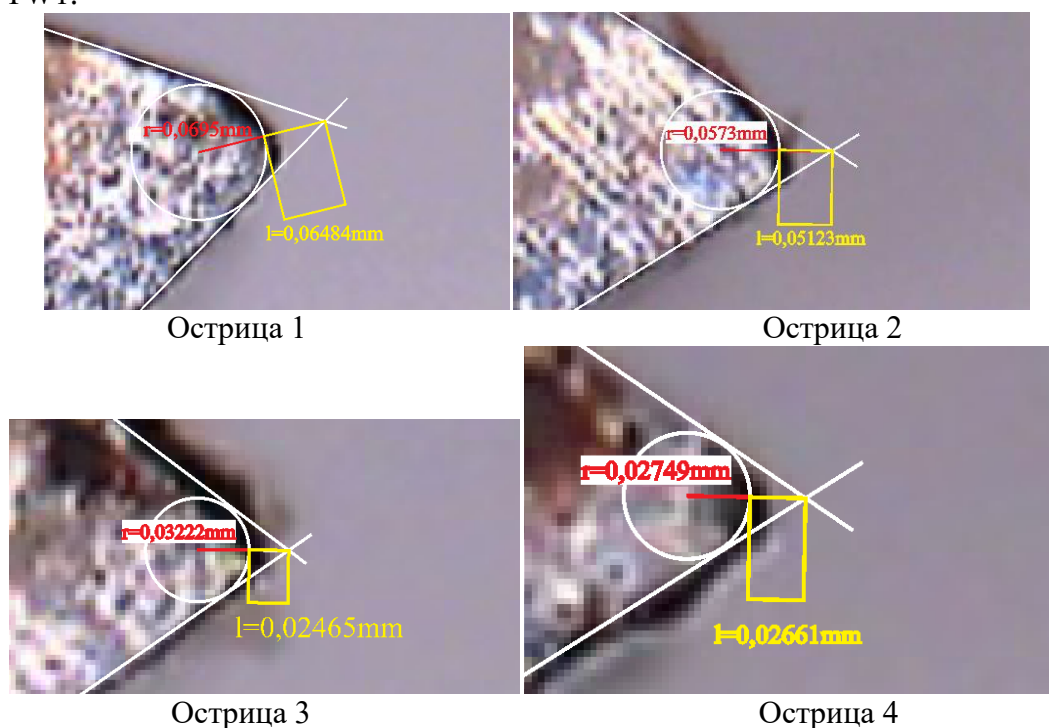
Затапеноста на алатот е измерена со помош на дигитален микроскоп Supereyes, во кој беа измерени два параметри на секое острица:

- ✓ растојание помеѓу идеалната и вистинската острица и
- ✓ радиус на заоблување на острицата



Слика 3.8. Приказ на острицата на екранот на компјутерот

На слика 3.9. се прикажани сите четири заби со квантифицирани затапувања при абење на алатот TW1.



Слика 3.9. Сечилата со квантифицирана алатка се отапуват TW1

Технолошки процес на режење на штиците

По мерењето на затапувањето на алатот со големина на абење TW1, штиците се режани со брзина од 3940 min^{-1} , односно со константна брзина на главното движење $V = 61,86 \text{ m/s}$ според распоредот прикажан во табела 3.1.

Табела 3.1. *Распоред на режими на обработка по работни ставки*

Режим на обработка	Означување на предметот на работа	Опис на предметот на работа
U1H1TW1	D2	Радијални - делумно извртени влакна
U1H2TW1	D5	Радијални - прави влакна
U1H3TW1	D7	Радијални - прави влакна
U2H1TW1	D8	Радијални - делумно извртени влакна
U2H2TW1	D9	Радијални - прави влакна
U2H3TW1	D11	Радијални - прави влакна
U3H1TW1	D14	Радијално-тангенцијални
U3H2TW1	D19	Радијални - прави влакна
U3H3TW1	D20	Тангенцијални

Легенда: $U \left[\frac{m}{min} \right]$ - Брзина на поместот ($U1= 4 \frac{m}{min}$; $U2= 8 \frac{m}{min}$; $U3= 12 \frac{m}{min}$),
 $H [mm]$ - Големина на истуреноста на алатот ($H1=10mm$; $H2=20mm$; $H3=30mm$),
 TW1 - почетната острина на пилата (Tool Wearing).

3.2.2. Мерење на моќноста на режење

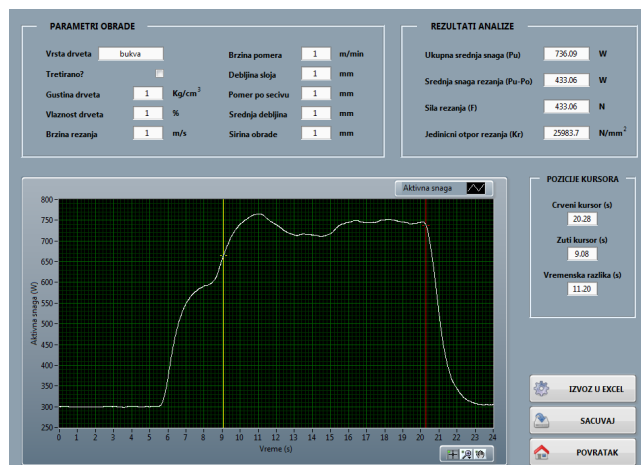
При секое режење, моќта на режење е мерена преку ангажираната моќност на погонскиот електромотор со помош на мерно-аквизиционен уред SRD1 наменет за лабораториски и индустриски мерења на моќта на режење на машини за преработка на дрво и плочи на база на дрво со трифазен погонски електричен мотор. Уредот ги собира, анализира и прикажува добиените податоци. Инсталацијата содржи ватметар CW-TAN произведен од Circutor за небалансирани трифазни системи со следните карактеристики: 300 V, 5 A, напојување 230 VAC, 50 Hz, точност 0,5%, со аналоген излез 0-10 V. сигналот директно се внесува на картичката за аквизиција (слика 3.10), чиј опсег може да се прилагоди (1, 2, 5 и 10 kW) во зависност од моќноста на погонскиот мотор на машината.



Слика 3.10. Картичка за аквизиција

Уредот користи софтверски пакет Power Expert, развиен во соработка со Центарот за машини и алати за обработка на дрво и Unoloks од Белград. Сите сигнали се софтверски скалирани и конвертирани во реални вредности со соодветни мерни единици. Мерниот уред е пренослив и може да се поврзе со различни машини со ограничување на максималната дозволена моќност (до 10 KW).

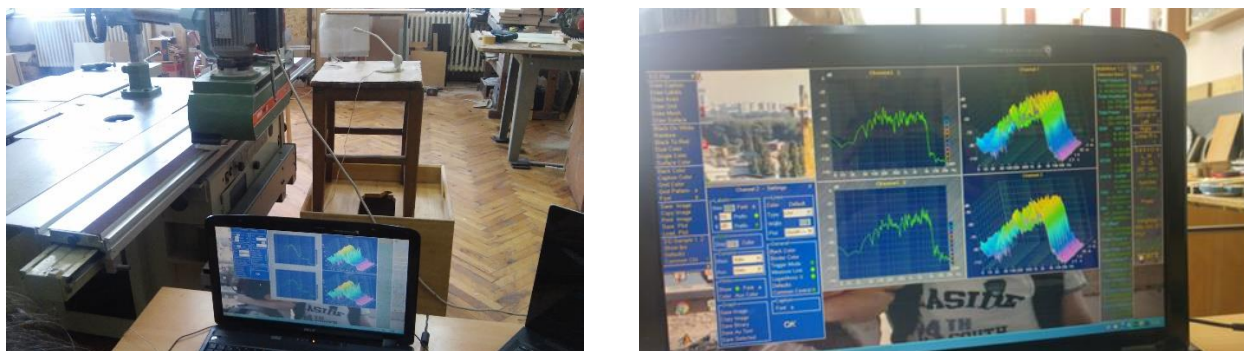
На слика 3.11. е прикажан екранот со снимените податоци



Слика 3.11. Приказ на екран на снимени податоци

3.2.3. Мерење на акустична емисија

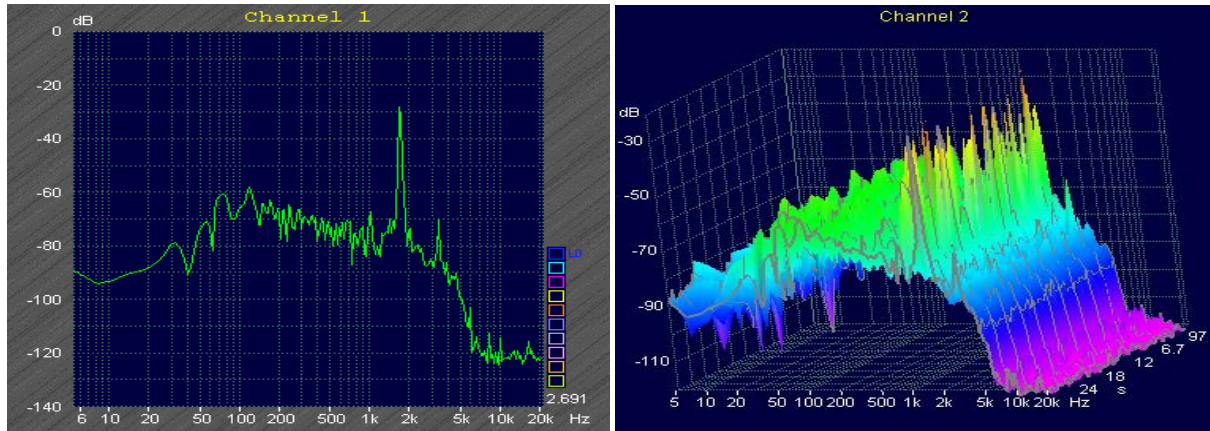
На Слика 3.12. е прикажана процедурата за мерење на акустичната емисија.



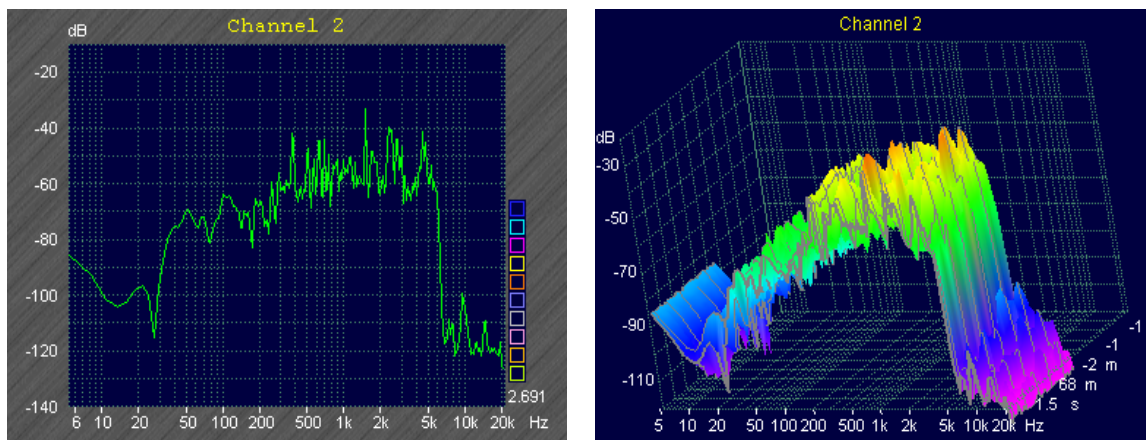
Слика 3.12. Приказ на екран за мерење на акустична емисија

Растојанието на острицата на пилата до микрофонот изнесува 1200 mm во хоризонтална насока и 950 mm во вертикална насока од земјата (Tanaka 1988; Iskra and Tanaka 2006). Произведениот звук не е придушен, како што е предложено од Ченг и сор. (1998). Ресиверот е микрофон SHURE Beta 18.

Резултатите добиени при снимањето на акустичната емисија се претставени како 2D и 3D проекции. Примери на истражувани спектри се дадени на сликите 3.13. и 3.14.



Слика 3.13. Движење на акустичната емисија кога машината е во мирување



Слика 3.14. Движење на звучната емисија за брзината на поможното движење u_2 и истуреност на алатот h_1

3.2.4. Мерење на рапавоста на резната површина

Рапавоста на обработената површина на примероците како еден од показателите за квалитетот на третираната површина е измерена со помош на контактно-механички мерач на рапавост TR200 (слика 3.15) во согласност со ISO стандардот 4287 (1997). Како излезна вредност, добиена е вредноста на средното аритметичко отстапување на профилот R_a , што ја претставува средната аритметичка вредност на набљудуваниот профил на рапавост утврдена од отстапувањето околу централната линија во референтната должина. Инструментот се состои од призматично пластично куќиште кое носи игла. Врвот на иглата со дијаметар од $2\ \mu\text{m}$ е направен од дијамант. Вертикалното движење на иглата се засилува и се претвора во електрични импулси кои се филтрираат.

Како што споменавме, вредноста на средното отстапување на профилот R_a е избрана како излезна вредност на мерењето.



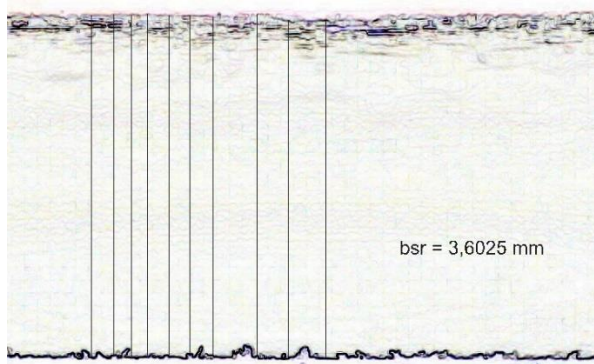
Слика 3.15. Мерач на рапавост Timesurf TR200



Слика 3.16. Епрувети за мерење на рапавост

3.2.5. Мерење на точноста на обработката

Мерењето на точноста на обработката е извршено со помош на дигитален микроскоп Supereyes на таков начин што ширината на резот од пилата се мери за секој режим на обработка. Просечната вредност од десет измерени широчини на рез според истиот режим на обработка е земена како репрезентативна ширина на резот според режимот на обработка. Пример за измерената ширина на резот е прикажан на сликата 3.17.



Слика 3.17. Измерена средна ширина на резот

4. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИСТРАЖУВАЊЕТО

За да се испита влијанието на начинот на обработка врз квалитетот на резната површина при пилање на букови даски со кружна пила, најпрвин е потребно да се изврши карактеризација и избор на суровината, односно испитување на физичките својства. Испитувањето е спроведено во Лабораторијата за испитување на својствата на дрвото на Универзитетот во Белград, Шумарски факултет. Врз основа на анализата на добиените резултати од физичките својства, материјалот е избран за тестирање на ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина. Истражувањето е спроведено на систем за аквизација на моќност за режење. Лабораториските испитувања опфатија мерење на моќноста на режење, како и рапавоста на површината за режење и точноста на обработката при надолжно режење со кружна пила за различни услови на режење.

Моќноста на режење за време на процесот на режење е измерена индиректно преку ангажираната моќност на погонскиот електромотор при секое поминување на алатот на уредот за мерење-аквизација SRD1. Јачината е измерена на букови епрувети долги 1000 mm, дебели 30 mm и широки 150 mm. Заедно со мерењето на моќта на режење, мерењето на акустичната емисија е извршено и во Центарот за машини и алати на Универзитетот во Белград, Шумарски факултет.

Квалитетот на обработената површина е тестиран со мерење на рапавоста на резната површина и точноста на обработката по режењето со кружна пила. Рапавоста на површината е измерена со помош на контактно-механички мерач на рапавост Timesurf TR200 на букови епрувети со димензии 30 x 10 x 1000 mm. Точноста на обработката, по обработката со кружна пила, е измерена со помош на дигитален микроскоп Supereyes. Сите мерења се направени во Центарот за машини и алати на Универзитетот во Белград, Шумарски факултет.

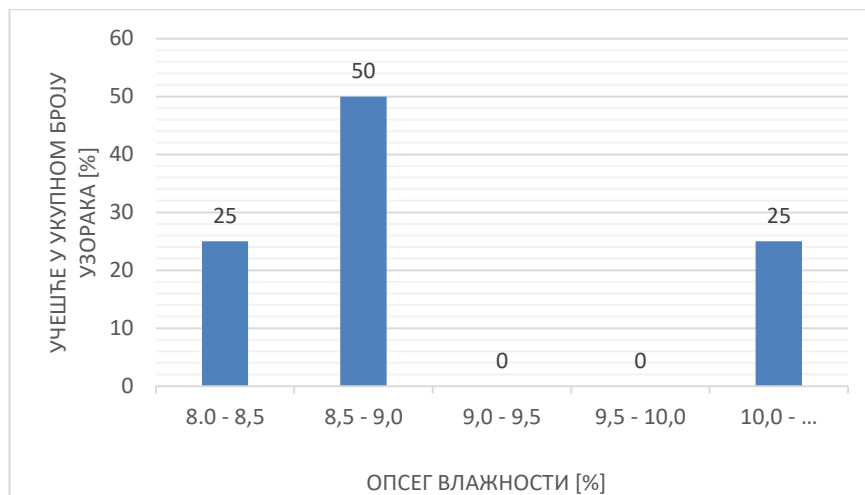
4.1. Својства на дрвото

Уникатноста на процесот на режење на дрво е пред се последица на разликите во физичките и механичките својства на дрвото како материјал. Физичките својства на дрвото кои беа испитувани во оваа докторска дисертација се волуменската маса (густина) и содржината на влага на дрвото.



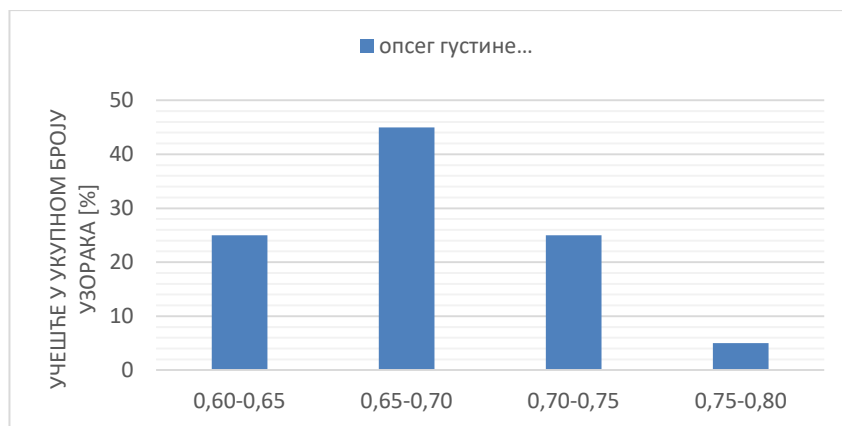
Слика 4.1. Епрувети за испитување на физичките својства

На слика 4.2 е прикажана распределбата на добиените резултати од мерењето на влажноста на испитаните примероци.



Слика 4.2. Распределба на добиените резултати од мерењето на влажноста на тестираните примероци

На слика 4.3 е прикажана распределбата на добиените резултати од мерење на густината на испитуваните примероци од букови штици.



Слика 4.3. Распределбата на добиените резултати од мерење на густината на испитуваните примероци од букови штици

4.2. Мерење на затапеноста на алатот

Затапеноста на алатот е измерена со помош на дигитален микроскоп Supereyes, во кој беа измерени два параметри на секое острица:

- ✓ растојание помеѓу идеална и вистинска острица и
- ✓ радиус на заоблување на острицата

✓
Табела 4.1. Вредности на абеење на алатот

	Острица 1	Острица 2	Острица 3	Острица 4
l [mm]	0,06484	0,05123	0,02465	0,02661
r [mm]	0,0695	0,0573	0,03222	0,02749

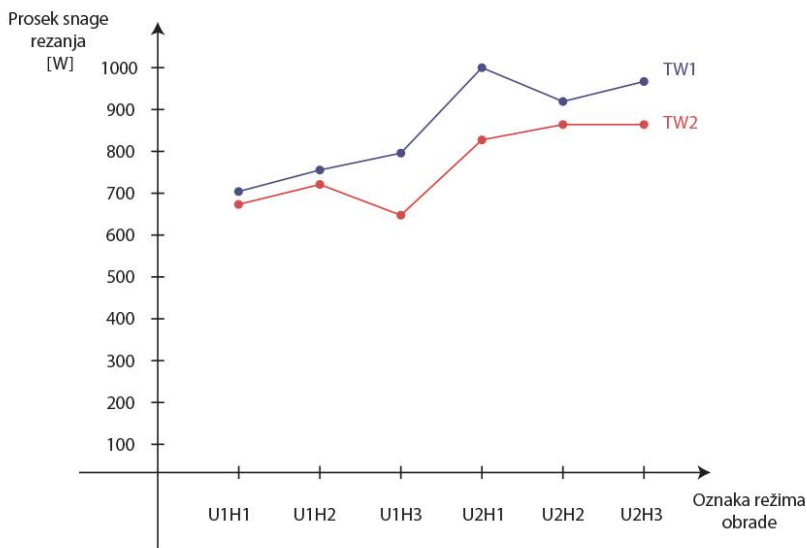
Легенда: l - растојанието помеѓу идеалната и вистинската острица [mm]
r - радиус на острицата [mm]

4.3. Мерење на моќноста на режење при режење со кружна пила

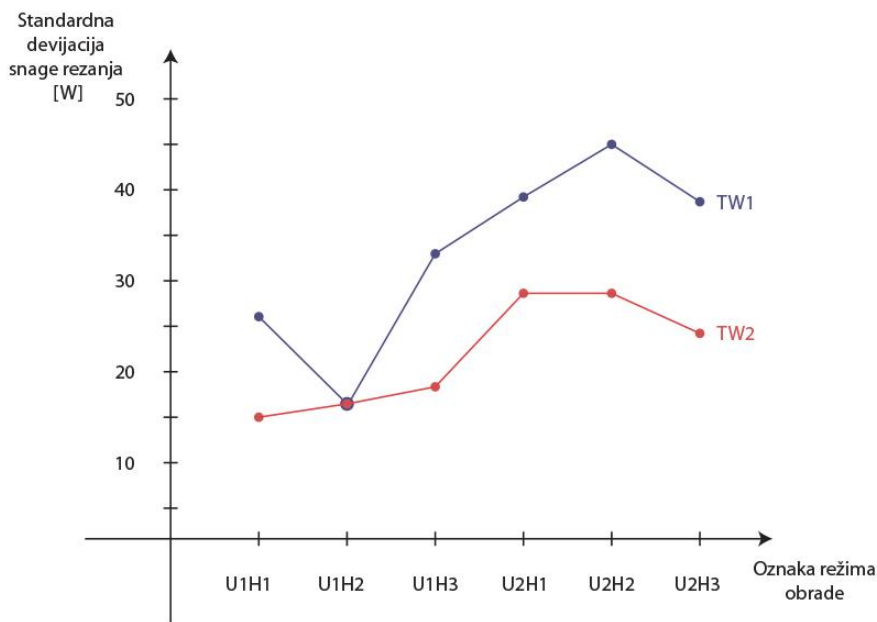
Мерењето на силите за режење е извршено со помош на уредот SRD1,а направени се вкупно 72 мерења на моќта на режење за секој режим на обработка, односно за сите тестирани вредности на брзината на помошното движење и големината на истуреноста на алатот над предметот на обработка.

4.3.1. Анализа на резултатите од мерењето на моќност на режење при режење со кружна пила

Дијаграмите на зависноста на моќта на режење од брзината на помошното движење, големината на истуреноста на кружната пила над работното парче и степенот на затапеност на алатот се прикажани подолу.



Слика 4.4. Дијаграм на движење на просечна вредност на моќноста на режење во зависност од режимот на обработка



Слика 4.5. Дијаграм на движење на стандардното отстапување на моќноста на режење

4.4. Мерење на акустична емисија

Резултатите добиени при снимањето на акустичната емисија се претставени како 2D и 3D проекција.

4.4.1. Резултати од мерењето на акустичната емисија

На екранот е прикажан спектарот на акустична емисија-притисок (AP) на машината во мирување и во работа. Постои очигледна разлика помеѓу AP спектарот на машината што работи и машината во мирување. Соло пик од 1,8 kHz на спектарот на моторот во мирување, не се појавува на други записи поврзани со моторот што работи. Целиот спектрален регион на машинскиот спектар за време на обработката е покачен во споредба со спектарот на машината во мирување, со некои постојано повторувачки врвови.

Пиковите на AP од особен интерес беа на 1,6 kHz, 3 kHz, 9 kHz и 15 kHz додека е испитувано подрачје на фреквенција од 200 Hz до 1,5 kHz на спектрите на работната машина.

4.4.2. Анализа на резултатите од мерењето на акустична емисија

Според презентираниите резултати, можно е и брзината на поместување и истуреноста на алатот да имаат значаен ефект врз вредностите на AP во фреквентниот регион кој се движи од 200 Hz до 1,5 kHz, со граница на доверба од 95%. Статистичката анализа на

средните вредности на набљудуваните површини покажа зголемување на R_p како што се зголемуваа брзината на поместување и истуреноста на алатот.

4.5. Мерење на рапавоста на обработената површина

Новосоздадените површини при режење дрво, како што веќе е објаснето, никогаш не се совршено мазни, туку се состојат од нерамнини кои можат да се групираат во:

- ✓ Структурни неправилности кои се последица на анатомската градба на дрвото. Нивните големини и распоред зависат од видот на дрвото и не можат да се избегнат, но го придружуваат режењето на дрвото.
- ✓ Нерамнини предизвикани од режењето, во кое спаѓаат т.н микроуниформности доколку се однесуваат на рапавоста на обработената површина. Причините за нерамномерноста се следните: траги од обработка на алатот, нерамнини од преостанати деформации во дрвото, траги предизвикани од вибрации на машината, алатот или работниот предмет, начин на режење, остреење на алатот, вид на режење и физички и механички својства на дрвото (особено густината и формирањето на прстените за раст).
- ✓ Неправилностите кои произлегуваат од режењето може да се дефинираат како: рапавост, брановидност, брановидност со рапавост и деструктивна нерамномерност (Zubčević, 1988).

4.5.1. Резултати од мерењето на рапавоста на обработената површина

Направени се вкупно 300 мерења, при брзини на помошно движење ($u_1=8\text{m/min}$ и $u_2=12\text{m/min}$, при три големини на истуреност на кружната пила ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$ и $h_3=30\text{mm}$) и на два степени на затапување на пилата (TW1 и TW2). Тестот на рапавост е извршен за секој режим на обработка и тоа за секој режим на обработка на пет епрувети, по десет мерења.

Табелата 5.8 ги прикажува средните вредности на параметарот на рапавост на обработената површина R_a измерени за различни начини на обработка при степен на затапеност TW1

Табела 5.8. Средни вредности на параметарот на рапавост обработени површини R_a на степен на затапеност TW1

Реден број	Брзина на поместот [m/min]	Големина на испакнување на алатот [mm]	Средња вредност R_a [μm]	Стандардна девијација R_a [μm]
1	8	10	7.3831	1.6146443
2	8	20	6.64964	1.7729647
3	8	30	7.18086	1.8715058
4	12	10	6.4049	1.318063
5	12	20	6.40008	2.185902
6	12	30	6.52902	1.5225952

Табела 5.9 ги прикажува просечните вредности на параметарот на рапавост на обработената површина R_a измерени за различни начини на обработка при степен на затапеност TW2.

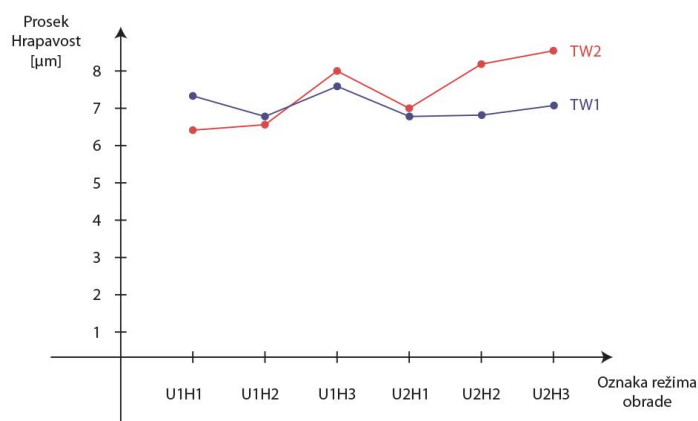
Табела 5.9. Средни вредности на параметарот на рапавост обработени површини R_a на степен на затапување TW2

Реден број	Брзина на поместот [m/min]	Големина на испакнување на алатот [mm]	Средња вредност R_a [μm]	Стандардна девијација R_a [μm]
1	8	10	6.388857	1.790385
2	8	20	6.54366	1.719977
3	8	30	7.99758	1.45191
4	12	10	7.0069	1.363665
5	12	20	8.08316	1.702211
6	12	30	8.41272	2.252035

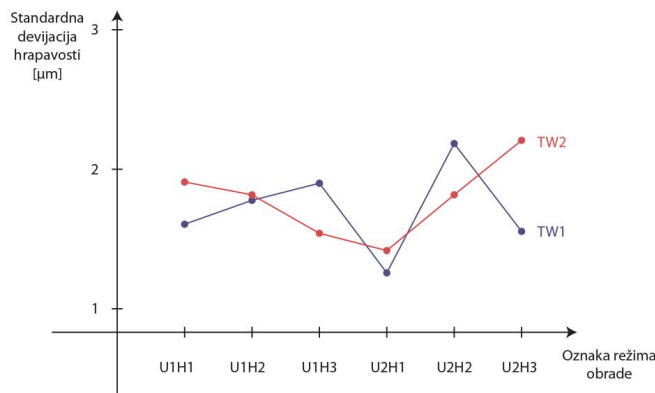
4.5.2. Анализа на резултатите од мерењата на рапавоста на обработената површина

Слика 4.6 покажува дијаграм на зависноста на рапавоста на обработената површина од брзината на помошното движење, големината на истуреноста на алатот над работното парче и степенот на затапувањето на кружната пила.

На слика 4.7 е прикажана траекторијата на стандардното отстапување, т.е. го покажува движењето на параметарот на дисперзија на резултатите од измерената рапавост во зависност од режимот на обработка.



Слика 4.6. Просечна вредност на рапавоста во зависност од режимот на обработка и затапеноста на алатот



Слика 4.7. Стандардна девијација на рапавоста во зависност од режимот на обработка и затапеноста на алатот

Врз основа на положбата на кривите на дадените дијаграми, може да се извлечат следните заклучоци:

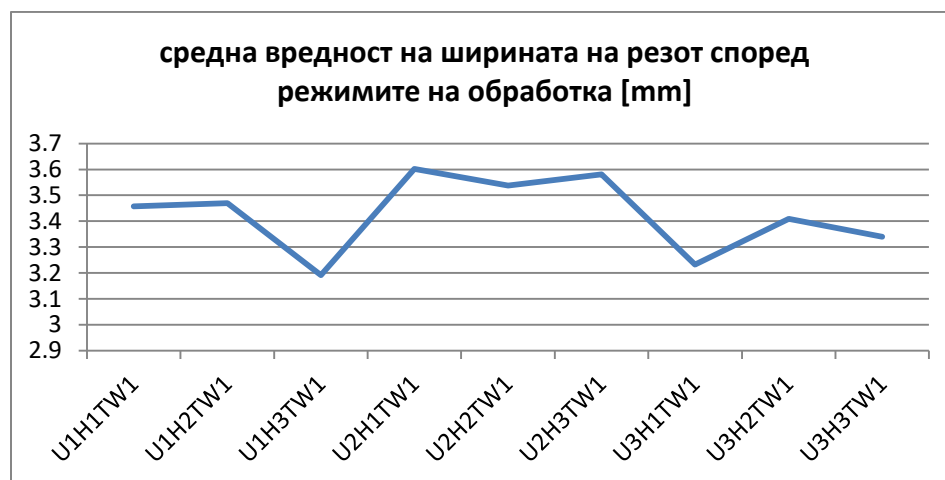
- ✓ Рапавоста на обработената површина се зголемува со зголемување на брзината на помошното движење и големината на истуреноста,
- ✓ Степенот на затапеност на алатот има значително влијание врз рапавоста на резната површина и колку е поголема затапеноста на алатот, толку е поголемо влијанието на брзината на помошното движење и големината на истуреноста.

4.6. Мерење на точноста на обработената површина

Мерењето на точноста на обработката е извршено со помош на дигитален микроскоп Supereyes на таков начин што ширината на острицата на пилата е мерена за секој режим на обработка.

4.6.1. Анализа на резултатите од мерењата на точноста на обработената површина

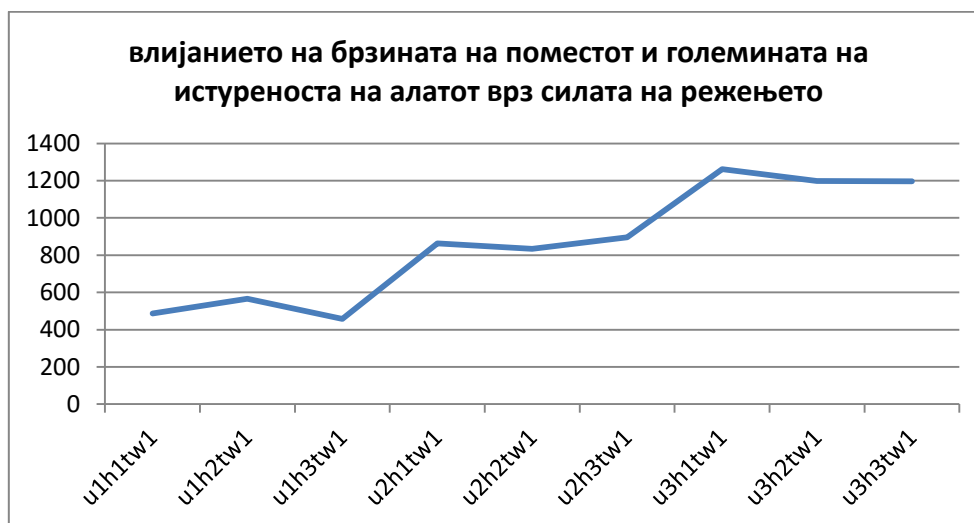
На слика 4.8. прикажано е движењето на средната вредност на ширината на летвите според режимите на обработка



Слика 4.8. Просечната вредност на ширината на резот според режимите на обработка

4.7. Анализа на влијанието на брзината на помошното движење и висината на режењето врз моќноста на режењето

На слика 4.9. е прикажано влијанието на брзината на помошното движење и големината на истуреноста на алатот врз моќта на режење.



Слика 4.9. Влијанието на брзината на помошното движење и големината на истуреноста на алатот на моќноста на режење

5. ЗАКЛУЧОЦИ

Во оваа докторска дисертација е спроведено експериментално истражување на влијанието на начинот на обработка врз квалитетот на резната површина при надолжно режење на буково дрво со кружна пила. Поради тоа, буковата граѓа се режеше по должина со кружна пила, а режењето се вршеше под различни начини на обработка за да се прикаже влијанието на различните параметри за обработка врз квалитетот на површината за режење и на моќта на режење. Во текот на експериментот се направени одредени мерења и тоа:

- ✓ Мерење на физичките својства на дрвото (влага и густина),
- ✓ Мерење на затапеност на алатите (кружни пили),
- ✓ Мерење на истуреноста на алатот (кружни пили),
- ✓ Мерење на брзината на помошното движење,
- ✓ Мерење на моќност на режење,
- ✓ Мерење на акустична емисија,
- ✓ Мерење на рапавоста на површината,
- ✓ Мерење на точноста на обработка (ширина на резот)

По експерименталното истражување и врз основа на анализата на добиените резултати, можеме да го констатираме следново:

- ✓ Просечната содржина на влага на дрвото се движеше од $v = 8,28916\%$ (штици број 17) до $v = 10,9166\%$ (штици број 10),
- ✓ Просечната густина на штиците се движеше од $\rho = 0,6065 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ до $\rho = 0,7614 \text{ [g/cm}^3\text{]}$,
- ✓ Со оглед на значителното влијание на густината врз својствата на дрвото, за истражувањето беа избрани примероци со униформни физички својства, со цел да се намалат варијациите во својствата на резултатите од истражувањето за ефектот на режимот на обработка врз квалитетот на резната површина при режење букови штици со кружна пила. За истражувањето се користени вкупно 9 избрани штици со радијална анатомска насока и без видливи дефекти во структурата на дрвото,
- ✓ Просечната моќ на режење при брзината на помошното движење $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ и истуреноста на пилата од $h_1 = 10 \text{ [mm]}$ при режењето со остра пила е $P_1 = 486.77625 \text{ [W]}$,
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ и истуреноста на пилата од $h_2 = 20 \text{ [mm]}$ при режењето со остра пила е $P_2 = 565.4925 \text{ [W]}$,
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ и истуреноста на пилата од $h_3 = 30 \text{ [mm]}$ при режењето со остра пила е $P_3 = 457.205 \text{ [W]}$,
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_2 = 8 \text{ [m/min]}$ и истуреноста на пилата од $h_1 = 10 \text{ [mm]}$ при режењето со остра пила е $P_4 = 863.85125 \text{ [W]}$,
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_2 = 8 \text{ [m/min]}$ и истуреноста на пилата од $h_2 = 20 \text{ [mm]}$ при режењето со остра пила е $P_5 = 833.815 \text{ [W]}$,

- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_2 = 8$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_3 = 30$ [mm] при режењето со остра пила е $P_6 = 895.82$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_3 = 12$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_1 = 10$ [mm] при режењето со остра пила е $P_7 = 1262.70125$ [W],
- ✓ Просечната моќност на режење при брзината на помошното движење $u_3 = 12$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_2 = 20$ [mm] при режењето со остра пила е $P_8 = 1197.60125$ [W],
- ✓ Просечната моќ на режење при брзината на помошното движење $u_3 = 12$ [m/min] и истуреноста на пилата од $h_3 = 30$ [mm] при режењето со остра пила е $P_9 = 1195.8825$ [W],
- ✓ При брзина на помошното движење $u_1 = 4$ m/min, моќноста на режење е $P_1 = 486.77625$ W, $P_2 = 565.4925$ W и $P_3 = 457.205$ W.
- ✓ При брзина на помошното движење $u_2 = 8$ m/min, моќта на режење е $P_4 = 863.85125$ W, $P_5 = 833.815$ W и $P_6 = 895.82$ W.
- ✓ При помошна брзина на движење $u_3 = 12$ m/min, моќта на режење е $P_7 = 1262.70125$ W, $P_8 = 1197.60125$ W и $P_9 = 1195.8825$ W.
- ✓ Со промена на големината на истуреноста на алатот во однос на обработуваното парче ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$, $h_3=30\text{mm}$), и при брзина на помошното движење $u_1 = 4$ m/min, моќта на режење е $R_1 = 486,77625$ W, $P_2 = 565,4925$ W и $P_3 = 457,205$ W.
- ✓ Со промена на големината на истуреноста на алатот во однос на обработуваното парче ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$, $h_3=30\text{mm}$), и при брзина на помошното движење $u_2 = 8$ m/min, моќта на режење е $P_4 = 863,85125$ W, $P_5 = 833,815$ W и $P_6 = 895,82$ W.
- ✓ Со промена на големината на истуреноста на алатот во однос на обработуваното парче ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$, $h_3=30\text{mm}$), и при брзина на помошното движење $u_3 = 12$ m/min, моќта на режење е $P_7 = 1262,70125$ W, $P_8 = 1197,60125$ W и $P_9 = 1195,8825$ B.
- ✓ Што се однесува до акустичните емисии, постои очигледна разлика помеѓу акустичната емисија машината за време на активна работа и машината што работи во мирување. Соло пик од 1,8 kHz на спектарот на моторот во мирување не се појавува на други записи поврзани со моторот што работи. Целиот спектрален регион на машинскиот спектар за време на обработката е покачен во споредба со спектарот на машината во мирување, со некои постојано повторувачки врвови,
- ✓ Врвовите на акустична емисија од особен интерес се на 1,6 kHz, 3 kHz, 9 kHz и 15 kHz додека опсегот на фреквенција од 200 Hz до 1,5 kHz е испитан на спектрите на работната машина,
- ✓ Што се однесува до квалитетот на резната површина, рапавоста се мери при брзини на помошно движење ($u_1=8\text{m/min}$ и $u_2=12\text{m/min}$), при три големини на истуреноста на кружна пила ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$ и $h_3=30\text{mm}$) и при два степени на затапеност на пилата (TW1 и TW2). Тестот за рапавост е извршен за секој режим на обработка и за секој режим на обработка на пет епрувети беа направени по десет мерења на секоја епрувета.

- ✓ Минималната средна вредност на рапавоста на резната површина ($R_a = 6,388857\mu\text{m}$) т.е. највисок квалитет на обработка е постигнат при брзина на помошното движење од $u_1 = 8 \text{ [m/min]}$, при големина на истуреност на пилата $h_1=10 \text{ [mm]}$ и при степен на затапување TW2.
- ✓ Максималната средна вредност на рапавоста на резната површина ($R_a = 8,41272\mu\text{m}$) т.е. најнизок квалитет на обработка е постигнат при брзина на помошното движење од $u_2 = 12 \text{ [m/min]}$, при големина на истуреност на пилата $h_1=30 \text{ [mm]}$ и при степен на затапување TW2.
- ✓ Просечната вредност на сите измерени вредности на рапавост на степенот на затапеност на алатот TW1 (остар алат) е $R_a = 6,7579 \text{ [}\mu\text{m]}$.
- ✓ Просечната вредност на сите измерени вредности на рапавост при степен на затапеност на алатот TW2 (затапен алат) е $R_a = 7,4055 \text{ [}\mu\text{m]}$.
- ✓ Што се однесува до точноста на обработка, измерена е ширината на резот. Ширината на резот во зависност од режимот на обработка е: 3.4567, 3.47, 3.1911, 3.6025, 3.5377, 3.5809, 3.2326, 3.4093 и 3.3392 [mm].
- ✓ Највисока прецизност на обработката, односно најмала ширина на резот ($bs=3,1911\text{mm}$) е постигната со режимот на обработка $u_1h_3tw_1$, т.е. при брзина на помошно движење $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ и со големина на истуреноста на алатот $h_3 = 30 \text{ [mm]}$.
- ✓ Најмалата прецизност на обработката, односно најголемата ширина на резот ($bs=3,6025\text{mm}$) е постигната со режимот на обработка $u_2h_1tw_1$, т.е. при брзина на помошното движење $u_2 = 8 \text{ [m/min]}$ и при големина на истуреност на алатот $h_1 = 10 \text{ [mm]}$.

Со оглед на тоа што условите на експериментот беа многу блиску до реалните услови на производство, овие студии би можеле да имаат практично значење за определување на оптималните начини на режење дрвни предмети, од гледна точка на квалитетот на обработената површина и заштедата на енергија.



Ss. Cyril and Methodius University in Skopje
Faculty of Design and Technologies of Furniture
and Interior - Skopje



Damjan Milan Stanojevic

**INFLUENCE OF PROCESSING MODES ON THE QUALITY OF
THE CUT SURFACE WHEN CUTTING WITH
A CIRCULAR SAW**

Doctoral dissertation short summary

Skopje, 2025.

1. INTRODUCTION

Wood as a material is very suitable for interior and exterior decoration. It is easy to shape with relatively low energy consumption. It has low sound, thermal and electrical conductivity and high resistance to chemical substances.

On the Balkan Peninsula there are about 20 species of trees of industrial importance, of which only a few are more important. The most important domestic tree species are: beech, oak, spruce, fir and pine..

The beech (*fagus sylvatica* L.) is the most widespread tree species in our region, and its height distribution is from 750 to 1540 meters above sea level. Beech wood is well processed manually and mechanically. The optimal cutting speed is about 30 m/s (www.kolibica.com). Beech wood is well sanded and in the process changes its color to reddish, it is good for gluing, sanding, drilling, bending, peeling and surface processing. Beech wood has a very wide field of use and is used for low and high-rise construction, for stairs, for furniture, veneer, parquet, for the production of chipboard, then for the production of plywood, laminated and bent wood, etc..

Sawing is a process of processing wood by disrupting the relationship between the fibers along a given trajectory of the blade. The processing of wood by sawing is done with and without removal of shavings. By removing shavings, the wood is processed by: planing, sawing, planing, milling, drilling, scraping, peeling, turning, gouging and sanding. Without the formation of shavings, the wood is processed: by cutting, averaging and piercing (Kršljak, 1996). The wood cutting process is composed of four inseparable units (Marko and Holick, 2000). The first is the workpiece (type of wood, humidity, density, temperature, dimensions, hardness, etc.). The second unit consists of cutting conditions (they represent a set of factors that directly affect the workpiece, the tool and the device and are necessary for performing the cutting process). The third unit is the cutting mechanism (main drive, auxiliary drive, cutting forces, engine performance, etc.). The fourth unit is represented by the tool (number of cutting edges, type of material, geometry of the tool, etc.). Knowledge of each of these subsystems contributes to reducing production costs and saving energy (Kovač, 2010).

In practice, the most important thing is to achieve a result, and it is also very important that the entire technological process of wood processing is carried out with the lowest possible costs. A large part of these costs is the consumption of cutting energy. There are many factors that affect energy consumption. These are: the material being processed, the material from which the tool is made, the geometry of the tool, the speed of the main movement, the feed rate, etc..

Machining quality is considered one of the significant limiting parameters for maximizing the performance of woodworking machines. Regardless of the type of processing and its perfection, it is not possible to create a detail so that it "ideally" corresponds to the dimensions indicated on the corresponding drawing. Newly created surfaces when sawing wood are never perfectly smooth, whether they are flat or curved. Criteria that characterize the quality of the processed surface are surface roughness, waviness, accuracy of processing and fringes. The reasons for roughness are mainly the following:

- ✓ traces for tool processing,
- ✓ unevenness from delayed deformations of the wood,
- ✓ vibration traces of the machine, the tool and the workpiece,
- ✓ cutting modes,

- ✓ blunting of the tool edge,
- ✓ direction of sawing in relation to the direction of stretching of wood fibers and
- ✓ the physical and mechanical properties of wood, especially the volume mass.

The form of the equation that relates the dependent variable (cutting power, roughness of the machined surface, machining accuracy) to independent variable quantities (speed of auxiliary movement, amount of protrusion of the circular saw, dullness of the tool) is a mathematical model. Established dependence reveals cause-and-effect relationships between variables and provides the possibility, to a greater or lesser extent, of reliably predicting or estimating the dependent variable.

According to the current knowledge of research in this area, we attach the following:

CONTENT

1.	INTRODUCTION	13
2.	SUBJECT AND PURPOSE OF THE WORK.....	15
2.1.	The purpose of the research and the expected results.....	16
2.2.	Hypotheses	17
3.	THEORETICAL BASIS.....	18
3.1.	Wood structure.....	18
3.1.1.	Macroscopic structure of beech wood.....	19
3.1.2.	Microscopic structure of beech wood.....	21
3.1.3.	Properties of wood important for sawing.....	22
3.2.	Mechanical processing of wood.....	24
3.2.1.	Fundamentals of cutting theory.....	25
3.2.1.1.	Basic blade geometry.....	26
3.2.1.2.	Initial sharpening and dulling of the blade.....	29
3.2.1.3.	Forms of wearing	32
3.2.1.4.	Basic types of cutting.....	34
3.2.2.	Formation of shavings during cutting	36
3.2.2.1.	Formation of shavings during longitudinal sawing.....	37

3.2.3.	Complex cutting theory.....	38
3.2.4.	Complex cutting process parameters – sawing with a circular saw.....	39
3.2.5.	Kinematics of cutting.....	39
3.3.	Surface quality.....	41
3.3.1.	The roughness of the surface.....	43
3.4.	Previous research	46
3.4.1.	The process of sawing the wood	46
3.4.2.	Speed of moves	47
3.4.3.	Tool (geometry, runout, wear).....	50
4.	RESEARCH METHODOLOGY.....	52
4.1.	Selection of raw materials and production of test tubes of the physical properties	54
4.1.1.	Examination and analysis of physical properties	56
4.2.	Experimental measurements	62
4.2.1.	Tool wear measurement	63
4.2.2.	Measuring cutting power	66
4.2.3.	Acoustic emission measurement	67
4.2.4.	Measurement of cut surface roughness	69
4.2.5.	Measuring processing accuracy	70
5.	RESULTS AND ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE RESEARCH.....	71
5.1.	Properties of wood	71
5.1.1.	Physical properties of the complete sample	71
5.1.2.	Selection of the research sample	73
5.2.	Tool dullness measurement	74
5.2.1.	Tool dullness measurement results	74
5.3.	Measuring cutting power when sawing with a circular saw.....	74
5.3.1.	Results of cutting power measurement during	

cutting with a circular saw	74
5.3.2. Analysis of the results of the power measurement of sawing when sawing with a circular saw	78
5.4. Measurement of acoustic emission	79
5.4.1. Results of measurement of acoustic emissions	80
5.4.2. Analysis of acoustic emission measurement results.....	81
5.5. Measuring the roughness of the machined surface	81
5.5.1. The results of measuring the roughness of the machined surface	81
5.5.2. Analysis of the results of roughness measurements on the treated surface	85
5.6. Measuring the accuracy of the machined surface	87
5.6.1. The results of measuring the accuracy of the processed surface	87
5.6.2. Analysis of the results of the accuracy measurements of the treated surface	88
5.7. Analysis of the influence of the speed of auxiliary movement and cutting height on cutting power	88
6. DISCUSSION	89
7. CONCLUSIONS	91
8. LITERATURE.....	95
BIOGRAPHY OF THE AUTHOR.....	99

2. SUBJECT AND PURPOSE OF THE WORK

The research planned as part of the proposed dissertation concerns the factors that affect cutting power and the quality of the cut surface. These factors are feed rate, tool dullness, and the overhang of the circular saw blade over the workpiece. However, not all of these factors have an equal impact on cutting power and cutting quality. Some of them act in the form of positive and some in the form of negative correlation:

- The speed of the displacement influences in such a way that with its increase comes an increase in the power of cutting, and on the other hand, the quality of the cutting decreases.
- The bluntness of the tool affects in such a way that with its increase the cutting power increases, while the cutting quality decreases. Since a single saw with 24 teeth will be used for cutting, the dullness of the tool will be controlled on four equally spaced teeth.
- And, finally, the size of the protrusion has an effect so that by increasing the size of the protrusion of the blades, larger amplitudes of vibration of the saw blades occur, and thus an increase in the roughness of the cutting surface (reduction of quality). On the other hand, increasing the saw's overhang up to 35 mm increases the cutting power, and with a further increase (above 35 mm) the cutting power decreases (Mikulaš and Luboš, 2006.).

The problem is both the quantification of tool dullness and the quantification of the effect of each individual factor on cutting force, surface roughness, and machining precision.

The subject of the doctoral dissertation is the influence of the movement speed, the size of the projection of the circular saw over the processed piece and the dullness of the circular saw on the cutting force and the quality of the processed surface when cutting beech (*Fagus silvatica* L.) with a circular saw. The output criteria that will be considered in this dissertation will be the quality of the machined surface (the roughness of the machined surface and the accuracy of processing) and the cutting power. Criteria for entry ie. the independent variables will be feed rate, tool dullness, and the amount of overhang of the circular saw over the workpiece.

2.1. The purpose of the research and the expected results

The main objective of this research is to show, describe and analyze the correlation between the input factors, thus achieving the required machining quality with optimal cutting power consumption. It is very important to determine the correlation between the selected influencing factors (speed of auxiliary movement, size of protrusion of the circular saw, bluntness of the tool) on the one hand and the cutting power and the quality of the machined surface on the other hand. Also, one of the goals of the research is that the results of the research contribute to a better understanding of sawing wood with a circular saw through the development of a model for the analysis of the quality of the processed surface and cutting power. The goal is also to determine

the real possibilities and limitations for obtaining a high-quality surface when combining different influential parameters. One of the objectives is to determine the influence of the input parameters (mainly tool dulling) on the occurrence of forced vibrations. A strong influence of the dullness of the tool on the occurrence of forced vibrations is expected, and the occurrence of resonance (maximum amplitude of oscillation) is also possible).

As mentioned above, the type of mechanical processing that will be analyzed in the dissertation is sawing with a circular saw, as one of the most widespread types of processing in the final processing of wood..

It is expected that the analysis of the data collected in the experiment will show which of the three influencing factors (speed of the auxiliary movement, saw protrusion and dullness of the tool) has the greatest influence on the cutting power, as well as on the quality of the machined surface.

Expected scientific contribution of the dissertation:

- Obtaining a model that determines the combination of influencing factors to achieve the best processing quality with optimal cutting power consumption;
- Defining the correlation between the factors affecting the quality of the processed surface and the cutting power;
- Determination of processing mode in order to improve the quality of the processed surface.

This model should serve everyone involved in woodworking in such a way as to define the size of the influencing factors in order to obtain the best quality of the machined surface with optimal energy consumption. In this way, furniture manufacturers will know in advance what magnitudes of movement speed, protrusion and dullness of the tool they need to take in order to obtain the smallest possible roughness of the processing surface, the smallest possible waviness of the cut surface, the highest possible accuracy of processing with optimal power consumption for cutting. This general model will be established for cutting beech wood on a circular saw, but for other types of hardwood (oak, ash, elm, walnut, cherry, etc.) it is necessary to obtain the necessary coefficients by experiment.

2.2. Hypotheses

The following assumptions were made - hypotheses that will be analyzed within the framework of the doctoral dissertation, based on the obtained research results:

1. Hypothesis about the nature of the influence of tool dullness on the quality of the cutting surface and on the cutting power;
2. Hypothesis about the character of the influence of the speed of the auxiliary movement and the spillage of the tool on the acoustic pressure (noise);
3. Hypothesis on the nature of the influence of the size of the circular saw's spillage on the quality of the cut surface and on the cutting power;
4. Hypothesis on the character of the influence of the speed of the auxiliary movement on the quality of the cutting surface and on the cutting power

3. RESEARCH METHODOLOGY

As part of the dissertation related to the research of the quality of the cut surface and cutting power when processing beech wood on a circular saw, it is necessary to conduct extensive theoretical and experimental research that should lead to the realization of the expected scientific contributions.

The methods used in this research include all phases of the work, from preliminary research and literature collection, through experiments and data processing, to conclusions and analyses.

The basic methods of statistical data processing and methods of comparative analysis, which were used in the dissertation, are:

- Methods of planning experiments;
- Statistical methods of experimental data processing;
- Methods of analysis and selection of theoretical distribution functions;
- Non-parametric methods for evaluating the selected distribution.

Of the experimental methods were used:

- a method for indirect measurement of the power required for sawing using a measurement-acquisition device developed at the Faculty of Forestry in Belgrade,
- quantitative (contact) method for determining the roughness of the cut surface,
- measuring the accuracy of the processing with a digital deblommer at the designated places.

The research plan on the influence of the processing mode on the quality of the cut surface when cutting a circular saw consists of the following stages:

- selection of raw material,
- preparation of raw materials,
- production of test tubes for testing physical and mechanical properties,
- examination and analysis of physical properties,
- selection of boards for making test tubes for testing the influence of the processing mode on the cutting quality and on the cutting forces,
- examination of the influence of the processing method on the cutting quality and on the cutting forces,
- analysis of the results,
- conclusions.

Beech (*Fagus sylvatica* L) was chosen to test the effect of the processing mode on the quality of the cutting surface when sawing with a circular saw, as one of the most widespread domestic species, which is at the top in terms of its aesthetics, physical, mechanical, technological and useful properties of wood. Veneer, lumber and elements represent only a transitional form, while furniture and other valuable products that man needs represent the primary purpose. The next step in the research is the selection of suitable beech boards, needed for the research, in one of the warehouses in Serbia. The boards selected for research had to be radial and without visible defects in the wood structure. After the preparation and characterization of the boards in the laboratory, it is necessary to perform a statistical analysis of their physical properties. Based on

the set criteria, boards with equal humidity and density were selected, from which test tubes were made.

Laboratory tests included measurement of cutting forces and surface roughness, as well as measurement of acoustic emissions during longitudinal sawing with a circular saw for various cutting conditions.

In picture 3.1. the research plan is given

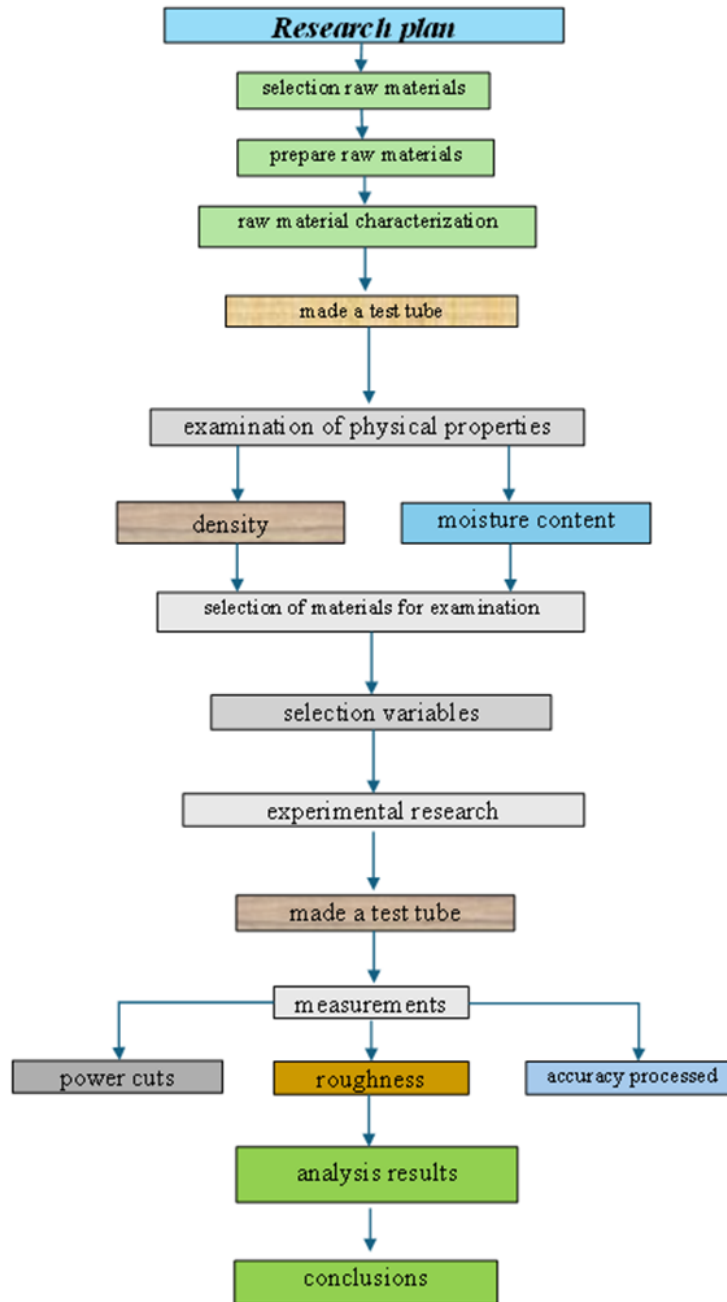


Figure 3.1. Research plan

3.1. Selection of raw materials and production of test tubes of the physical properties

Logs obtained from selected beech trunks (*Fagus silvatica* L.) in the Goch raw material base were cut into boards with a thickness of 35 mm on a log saw. Since in the production of beech wood furniture, wood with a humidity of 8 to 10% is used, (Source: Kolarevic D.O.O. Čičevac), the assortments were dried in a dryer at a humidity of 8% and then conditioning was carried out. The purpose of conditioning is to reduce the moisture gradient of the samples, which was created during the drying process, which simultaneously reduces the internal stresses in the wood. After drying, suitable boards were selected, flattened and thinned, and samples of straight fibers, without knots and cracks, with dimensions of 1100 mm × 30 mm × 150 mm were made from those boards. After that, the samples are labeled and each of them has its own mark. An uninfected, defect-free, medium porosity and density material was selected for testing.

The first step in the development of the methodology of this doctoral dissertation is the characterization of the subject of the paper. The characterization of the subject of the work includes the examination of the physical properties of the boards (moisture and density) in order to select approximately uniform assortments in order to minimize the impact of differences in the properties of the boards on the final result of the research. For this reason, the University of Belgrade, Faculty of Forestry, tested the humidity and density of all boards that were delivered to the Center for Machines and Tools of the Faculty of Forestry. After that, all the boards were re-examined. Based on a visual inspection, boards with subsequent observed errors in the wood structure (irregular structure, knots, twisted fibers, etc.) were rejected).

Figure 3.2 shows the sequence and method of manufacturing the oak test tubes needed to test the physical properties, as well as the test tubes needed to analyze the effect of the processing mode on the quality of the cut surface when cutting beech boards on a circular saw. As can be seen from the picture, after cutting test tubes for determining density and humidity with dimensions of 50x50x30 mm, test tubes for measuring the cutting force when sawing with a circular saw with a width of up to 150 mm, a thickness of 30 mm and a length of 1000 mm were obtained. The cutting power was measured during each pass of the tool, and after every fifth pass a test tube was cut to measure the roughness of the treated surface with dimensions 30x20x1000 mm.

Before the start of processing, the test tubes were conditioned at a temperature of $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ and a relative air humidity of $65\pm 5\%$.

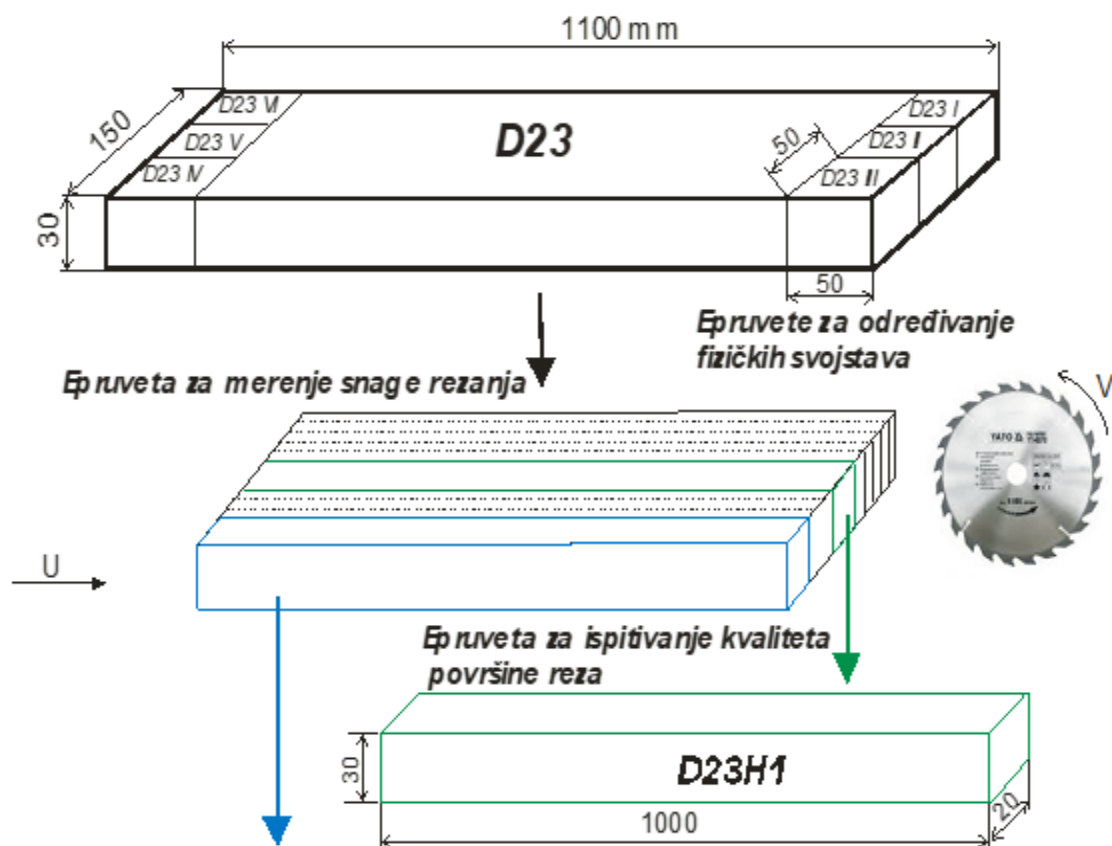


Figure 3.2. Procedure for making test tubes needed for research

The assortments, which were subjected to tests, are marked with codes and are shown in figure 3.3.



Figure 3.3. Beech planks whose physical properties have been tested

After that, six 50x50x30 mm test tubes were marked and cut on each board, three on each side of the board. Each tube has a corresponding code (eg tubes cut from the 4th board are coded D4f1, D4f2, D4f3, D4f4, D4f5 and D4f6). Test tubes for physical properties are shown in Fig 3.4.



Figure 3.4. Test tubes for testing physical properties

3.1.1. Examination and analysis of physical properties

After marking, the dimensions of each test tube were measured to obtain the volume, and after measuring the dimensions, their masses were also measured (Figure 3.5.).



Figure 3.5. Measuring tubes for calculating humidity and density

After drying the test tubes to an absolutely dry state, the weight of each test tube is measured and the moisture content of the sample is determined using the gravimetric method. Wood moisture is determined by a gravimetric method in accordance with the ISO 3130 - 1975 (E) standard, based on data on wood masses in wet and absolutely dry conditions. Absolute humidity is calculated according to the formula:

$$V = \frac{m_v - m_0}{m_0} \times 100[\%]$$

where are : V – absolute humidity [%],

m_v – mass of wet test tube [g],

m_0 – the mass of the test tube in an absolutely dry state of humidity [g].

The density of the wood is determined in accordance with the standard ISO 3131 - 1975 (E), which provides for the determination of the volumetric mass of the wood. The volumetric mass of absolutely dry wood is calculated according to the following formula:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{v_0} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

where are: m_0 - the measured mass of the test tube in an absolutely dry state of humidity [g],

v_0 - measured volume of the test tube in an absolutely dry state of humidity [cm3]

3.2. Experimental measurements

After determining the physical properties of the boards that were cut in order to investigate the effect of the processing mode on the cutting quality, the cutting power and acoustic emissions were measured at certain processing modes. Immediately after cutting, the roughness and machining accuracy were measured for each machining mode.

Processing modes are determined by the following parameters which represent independent variables:

✓ **TW** – (Tool Wearing) – Size of tool dullness [μm].

The research was carried out during cutting with a sharp saw (Tool wear rate TW1).

✓ **u** – Displacement speed [m/min].

The research was carried out with auxiliary movement speeds $u_1=4$ m/min, $u_2=8$ m/min and $u_3=12$ m/min.

✓ **h** – Projection of the saw in relation to the object of processing [mm].

The research was carried out with dimensions of the projection of the saw in relation to the object of work of $h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm and $h_3=30$ mm.

The research was carried out with revolutions of $n=3940 \text{ min}^{-1}$, i.e. with a constant speed of the main movement $V = 61.86 \text{ m/s}$.

3.2.1. Tool wear measurement

Immediately before cutting, the dullness of the tool was measured. The tool used for cutting is a circular saw with 24 teeth, 300 mm in diameter.

Dullness was measured on four teeth spaced at equal distance from each other around the circumference of the circular saw (Figure 3.6.).



Figure 3.6. Circular saw teeth

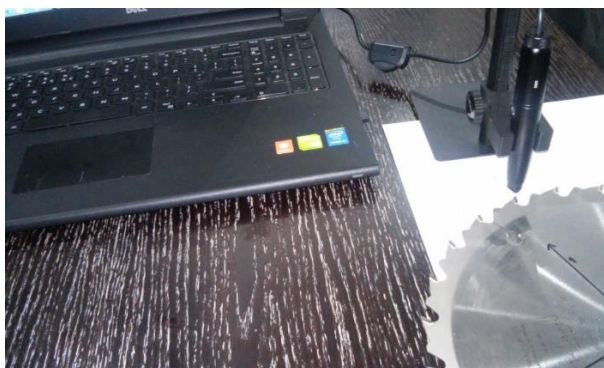


Figure 3.7. Tool dullness measurement using on a digital microscope

Tool dullness was measured using a Supereyes digital microscope, in which two parameters were measured on each cutting edge:

- ✓ distance between the ideal and the actual blade and
- ✓ radius of curvature of the blade

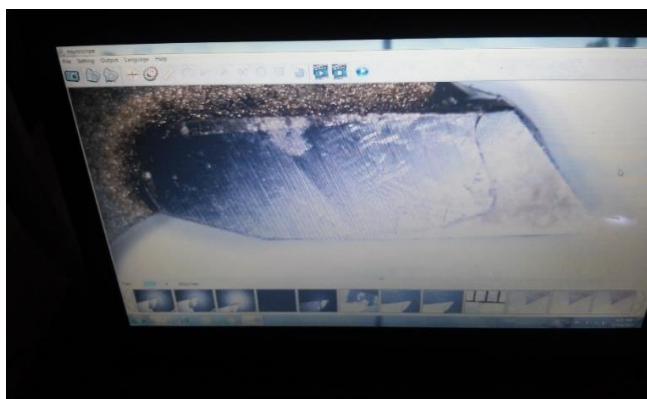


Figure 3.8. Display of the blade on the computer screen

In figure 3.9. all four teeth are shown with quantified wear bluntings on the TW1 tool.

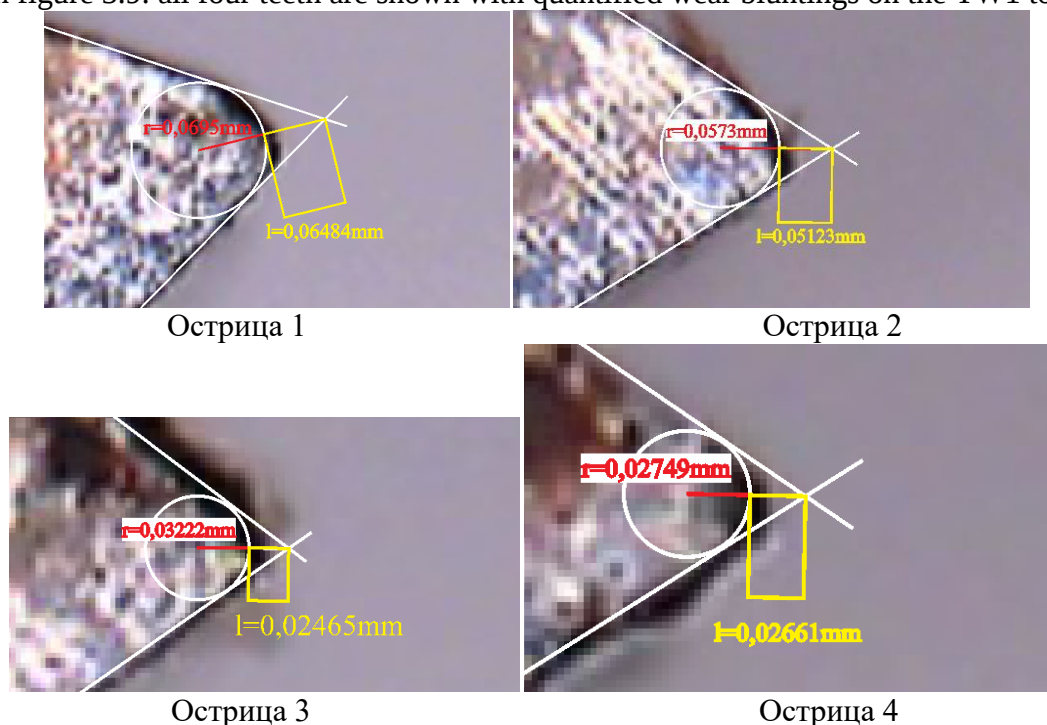


Figure 3.9. Quantized tool blades are blunted TW1

Technological process of cutting the boards

After measuring the blunting of the tool with wear size TW1, the boards were cut at a speed of 3940 min^{-1} , that is, with a constant speed of the main movement $V = 61.86 \text{ m/s}$ according to the schedule shown in table 3.1.

Table 3.1. *Schedule of processing modes by work items*

Processing mode	Designation of the subject of work	Description of the subject of work
U1H1TW1	D2	Radial - partially twisted fibers
U1H2TW1	D5	Radial - straight fibers
U1H3TW1	D7	Radial - straight fibers
U2H1TW1	D8	Radial - partially twisted fibers
U2H2TW1	D9	Radial - straight fibers
U2H3TW1	D11	Radial - straight fibers
U3H1TW1	D14	Radial-tangential
U3H2TW1	D19	Radial - straight fibers
U3H3TW1	D20	Tangential

Легенда: $U \left[\frac{m}{min} \right]$ - Displacement speed ($U1 = 4 \frac{m}{min}$; $U2 = 8 \frac{m}{min}$; $U3 = 12 \frac{m}{min}$),
 $H [mm]$ - Tool spill size ($H1=10mm$; $H2=20mm$; $H3=30mm$),
 TW1 - the initial sharpness of the saw (Tool Wearing).

3.2.2. Measuring cutting power

During each cut, the cutting power was measured through the engaged power of the drive electric motor using a measurement-acquisition device SRD1 intended for laboratory and industrial measurements of the cutting power of wood processing machines and wood-based boards with a three-phase drive electric motor. The device collects, analyzes and displays the received data. The installation contains a CW-TAN wattmeter manufactured by Circutor for unbalanced three-phase systems with the following characteristics: 300 V, 5 A, power supply 230 VAC, 50 Hz, accuracy 0.5%, with analog output 0-10 V. the signal is directly fed to the card for acquisition (Figure 3.10), whose range can be adjusted (1, 2, 5 and 10 kW) depending on the power of the drive motor of the machine.



Figure 3.10. Acquisition card

The device uses the Power Expert software package, developed in cooperation with the Center for Woodworking Machines and Tools and Unoloks from Belgrade. All signals are software scaled and converted to real values with appropriate units of measurement. The measuring device is portable and can be connected to different machines by limiting the maximum allowed power (up to 10 KW).

In picture 3.11. the recorded data screen is displayed

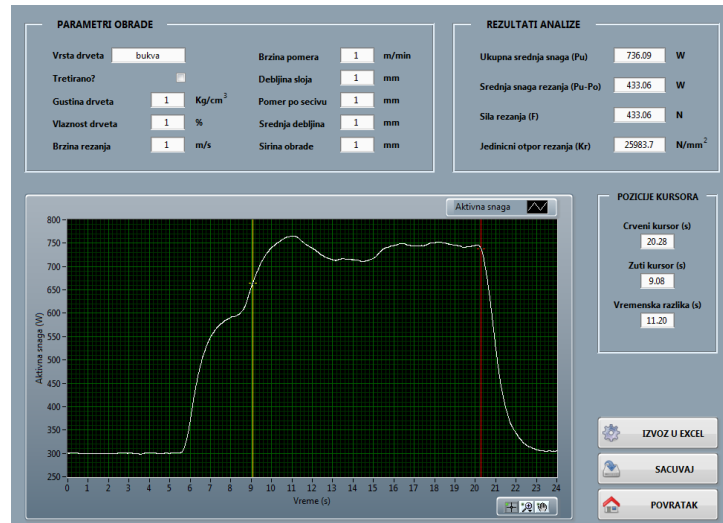


Figure 3.11. Screen display of recorded data

3.2.3. Measurement of acoustic emission

In Figure 3.12. the procedure for measuring the acoustic emission is shown.

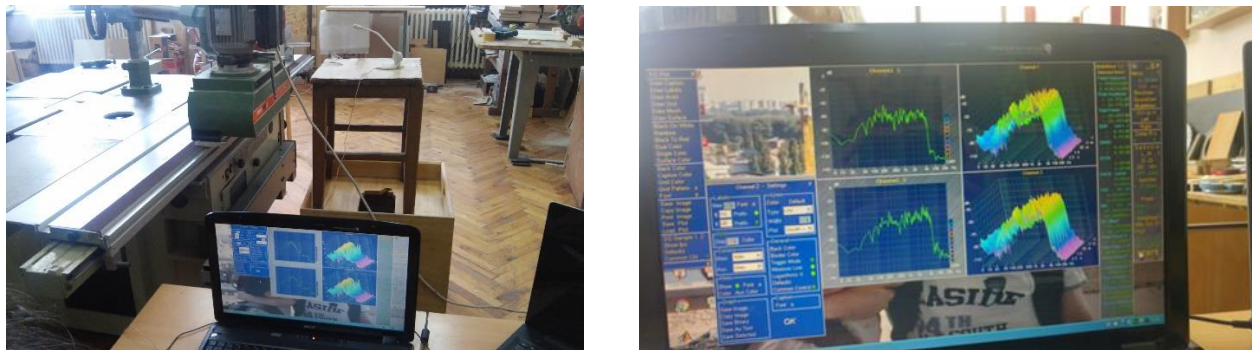


Figure 3.12. Acoustic emission measurement screen display

The distance of the saw blade to the microphone is 1200 mm in the horizontal direction and 950 mm in the vertical direction from the ground (Tanaka 1988; Iskra and Tanaka 2006). The sound produced is not muffled, as suggested by Cheng et al. (1998). The receiver is a SHURE Beta 18 microphone.

The results obtained during the recording of the acoustic emission are presented as 2D and 3D projections. Examples of investigated spectra are given in figures 3.13. and 3.14.

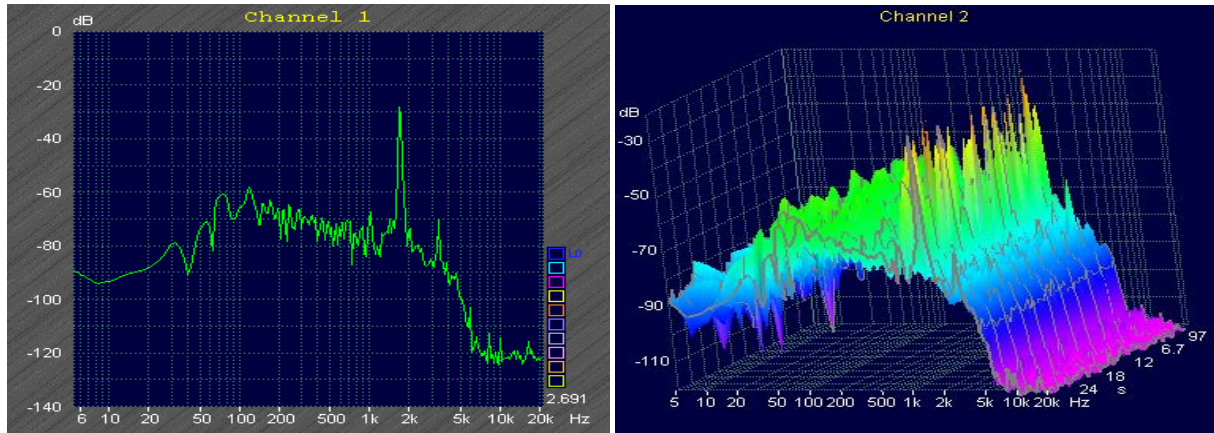


Figure 3.13. Movement of the acoustic emission when the machine is at rest

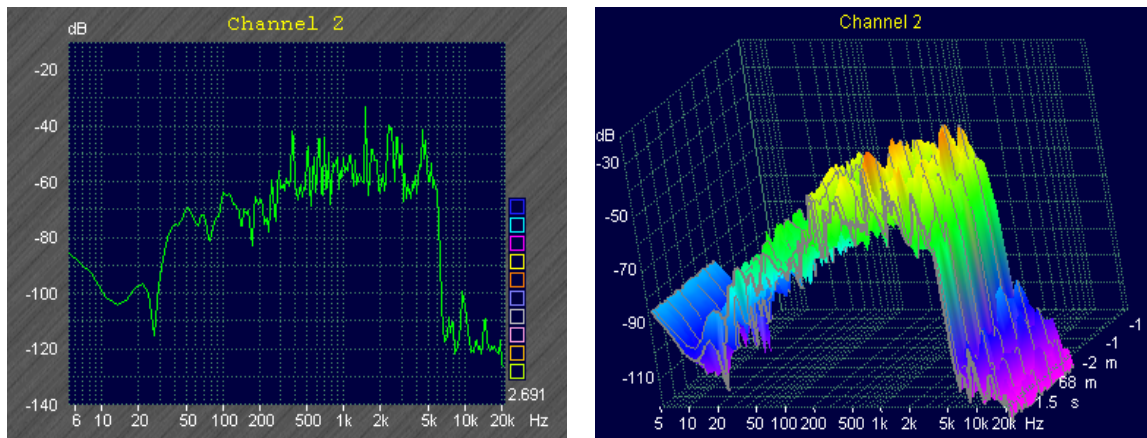


Figure 3.14. Movement of the sound emission for the speed of possible movement u_2 and tooltip h_1

3.2.4. Measurement of cut surface roughness

The roughness of the processed surface of the samples as one of the indicators of the quality of the treated surface was measured using a contact-mechanical roughness meter TR200 (Figure 3.15) in accordance with the ISO standard 4287 (1997). As an output value, the value of the arithmetic mean deviation of the profile R_a is obtained, which represents the arithmetic mean value of the observed roughness profile determined by the deviation around the center line in the reference length. The instrument consists of a prismatic plastic housing that carries a needle. The $2\text{ }\mu\text{m}$ diameter needle tip is made of diamond. The vertical movement of the needle is amplified and converted into electrical impulses that are filtered.

As mentioned, the value of the mean deviation of the profile R_a is selected as the output value of the measurement.



Figure 3.15. Roughness meter Timesurf TR200



Figure 3.16. Test tubes for measuring roughness

3.2.5. Measuring processing accuracy

The measurement of machining accuracy was performed using a Supereyes digital microscope in such a way that the width of the saw cut was measured for each machining mode. The average value of ten measured cut widths under the same processing mode is taken as the representative cut width according to the processing mode. An example of the measured width of the cut is shown in the figure 3.17.

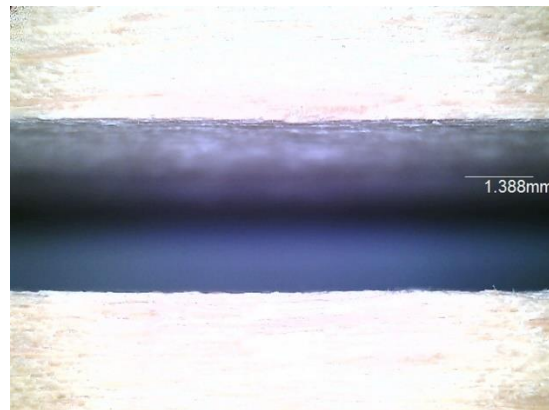
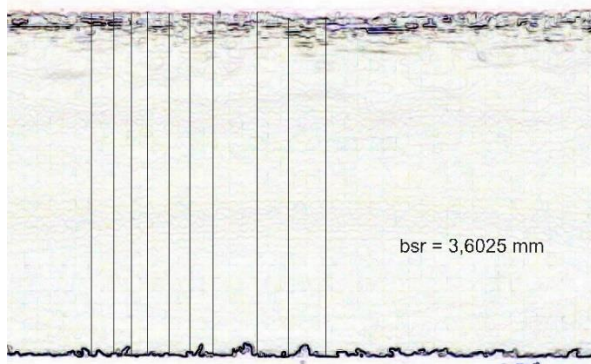


Figure 3.17. Measured mean width of cut

4. RESULTS AND ANALYSIS OF RESEARCH RESULTS

In order to examine the influence of the processing method on the quality of the cut surface when sawing beech boards with a circular saw, it is first necessary to perform the characterization and selection of the raw material, i.e. examination of the physical properties. The test was carried out in the Laboratory for Testing the Properties of Wood at the University of Belgrade, Faculty of Forestry. Based on the analysis of the obtained results of the physical properties, the material was selected to test the effect of the processing mode on the quality of the cut surface. The research is conducted on a cutting power acquisition system. The laboratory tests included measuring the cutting power, as well as the roughness of the cutting surface and the machining accuracy during longitudinal cutting with a circular saw for different cutting conditions.

The cutting power during the cutting process is measured indirectly through the engaged power of the drive electric motor during each pass of the tool on the measurement-acquisition device SRD1. The strength was measured on beech tubes 1000 mm long, 30 mm thick and 150 mm wide. Along with the cutting power measurement, the acoustic emission measurement was also performed at the Center for Machines and Tools at the University of Belgrade, Faculty of Forestry.

The quality of the machined surface is tested by measuring the roughness of the cut surface and the accuracy of the processing after cutting with a circular saw. The surface roughness was measured using a Timesurf TR200 contact-mechanical roughness meter on beech tubes with dimensions of 30 x 10 x 1000 mm. Machining accuracy, after circular saw machining, was measured using a Supereyes digital microscope. All measurements were made at the Center for Machines and Tools at the University of Belgrade, Faculty of Forestry.

4.1. Properties of wood

The uniqueness of the wood cutting process is primarily a consequence of the differences in the physical and mechanical properties of wood as a material. The physical properties of wood that were investigated in this doctoral dissertation are the bulk density (density) and moisture content of the wood.



Figure 4.1. Test tubes for testing physical properties

Figure 4.2 shows the distribution of the obtained results from the humidity measurement of the examined samples.

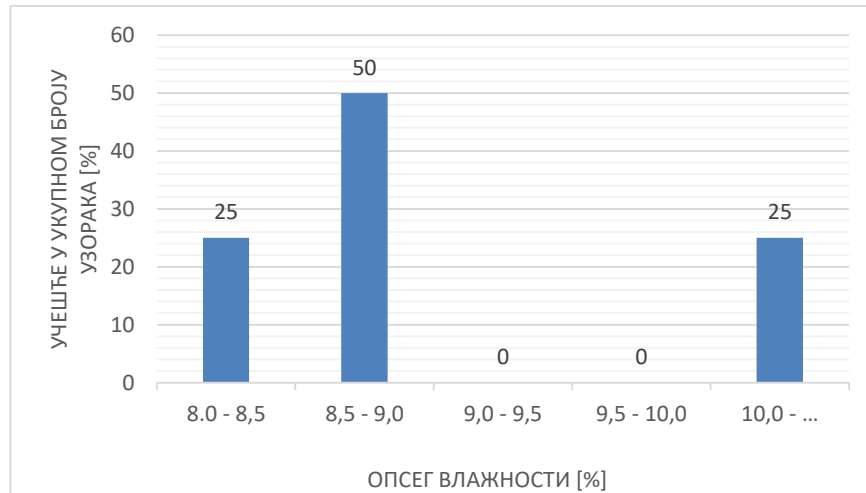


Figure 4.2. Distribution of the obtained results from the humidity measurement of the tested samples

Figure 4.3 shows the distribution of the obtained results from measuring the density of the examined samples of beech boards.

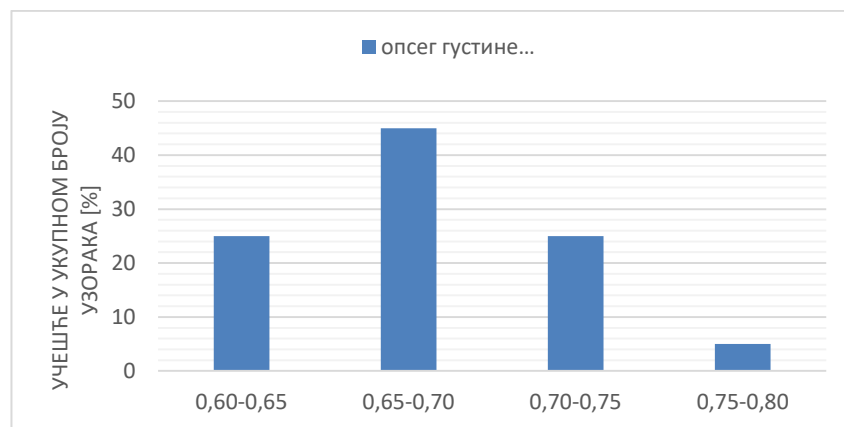


Figure 4.3. The distribution of the obtained results from measuring the density of the examined samples of beech boards

4.2. Tool dullness measurement

Tool dullness was measured using a Supereyes digital microscope, in which two parameters were measured on each cutting edge:

- ✓ distance between ideal and actual blade and
- ✓ radius of curvature of the blade

Table 4.1. *Tool wear values*

	Blade 1	Blade 2	Blade 3	Blade 4
l [mm]	0,06484	0,05123	0,02465	0,02661
r [mm]	0,0695	0,0573	0,03222	0,02749

Legend: l - the distance between the ideal and the actual blade [mm]
r - blade radius [mm]

4.3. Measuring cutting power when sawing with a circular saw

The measurement of the cutting forces was performed using the SRD1 device, and a total of 72 measurements of the cutting power were made for each processing mode, i.e. for all tested values of the speed of the auxiliary movement and the size of the protrusion of the tool over the object of processing.

4.3.1. Analysis of the results of the power measurement of sawing when sawing with a circular saw

Diagrams of the dependence of the cutting power on the speed of the auxiliary movement, the size of the protrusion of the circular saw over the workpiece and the degree of blunting of the tool are shown below.

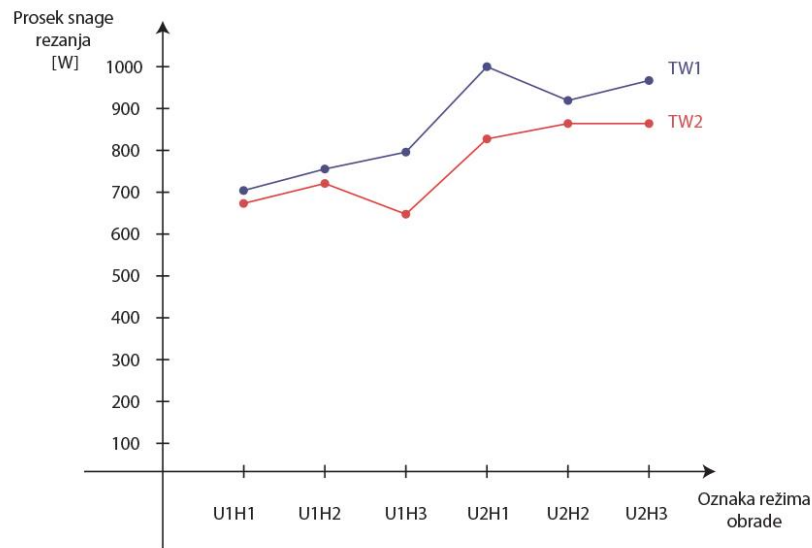


Figure 4.4. Movement diagram of the average value of the cutting power depending on the processing mode

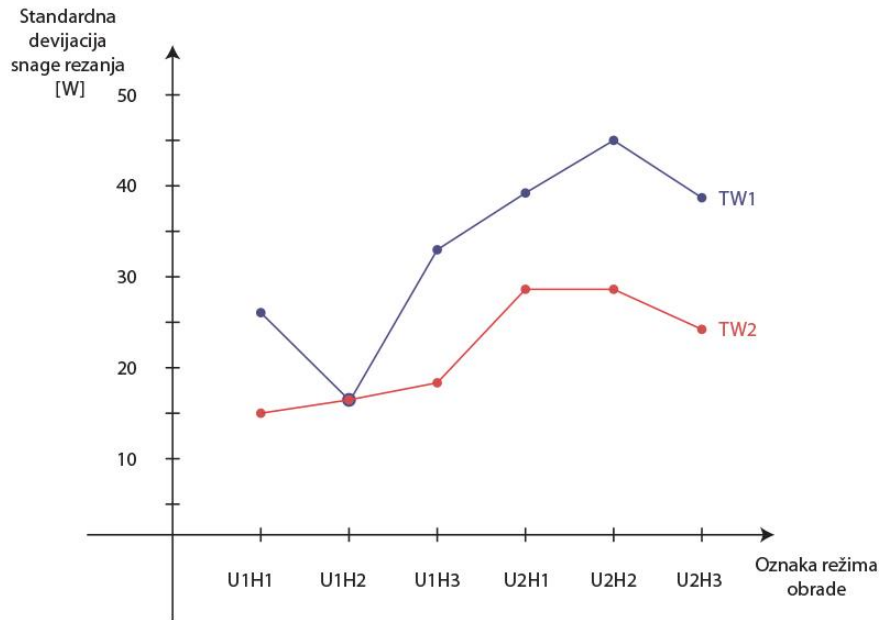


Figure 4.5. A plot of the standard deviation of the power of growing

4.4. Measurement of acoustic emission

The results obtained during the recording of the acoustic emission are presented as 2D and 3D projection.

4.4.1. Acoustic emission measurement results

The acoustic emission-pressure (AP) spectrum of the machine at rest and in operation is shown on the screen. There is an obvious difference between the AP spectrum of a running machine and an idle machine. A solo 1.8kHz peak on the spectrum of the engine at rest, does not appear on other recordings related to the engine running. The entire spectral region of the machine spectrum during processing is elevated compared to the machine spectrum at rest, with some constantly repeating peaks.

The AP peaks of particular interest were at 1.6 kHz, 3 kHz, 9 kHz, and 15 kHz while the frequency region from 200 Hz to 1.5 kHz of the operating machine spectra was investigated.

4.4.2. Analysis of acoustic emission measurement results

According to the presented results, it is possible that both feed rate and tool runout have a significant effect on AP values in the frequency region ranging from 200 Hz to 1.5 kHz, with a confidence limit of 95%. Statistical analysis of the mean values of the observed surfaces showed an increase in AP as the feed rate and tool runout increased.

4.5. Measuring the roughness of the machined surface

Newly created surfaces when sawing wood, as already explained, are never perfectly smooth, but consist of bumps that can be grouped into:

- ✓ Structural irregularities that are a consequence of the anatomical structure of the tree. Their sizes and arrangement depend on the type of tree and cannot be avoided, but accompany the cutting of the tree.
- ✓ Irregularities caused by cutting, which includes the so-called microuniformities if they refer to the roughness of the processed surface. The causes of unevenness are the following: traces of tool processing, unevenness from residual deformations in the wood, traces caused by vibrations of the machine, the tool or the workpiece, the method of sawing, sharpening of the tool, type of sawing and physical and mechanical properties of the wood (especially the density and formation of growth rings).
- ✓ Irregularities resulting from cutting can be defined as: roughness, waviness, waviness with roughness and destructive unevenness (Zubčević, 1988).

4.5.1. The results of measuring the roughness of the machined surface

A total of 300 measurements were made, at speeds of auxiliary movement ($u_1=8\text{m/min}$ and $u_2=12\text{m/min}$, at three sizes of protrusion of the circular saw ($h_1=10\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$ and $h_3=30\text{mm}$) and at two degrees of dulling of the saw (TW1 and TW2). The roughness test was performed for each processing mode and for each processing mode of five test tubes, after ten measurements.

Table 5.8 shows the average values of the roughness parameter of the processed surface R_a measured for different processing methods at the degree of dullness TW1

Table 5.8. *Mean values of the roughness parameter of processed surfaces R_a at the degree of dullness TW1*

Number	Displacement speed [m/min]	Tool protrusion size [mm]	Average value R_a [μm]	Standard deviation R_a [μm]
1	8	10	7.3831	1.6146443
2	8	20	6.64964	1.7729647
3	8	30	7.18086	1.8715058
4	12	10	6.4049	1.318063
5	12	20	6.40008	2.185902
6	12	30	6.52902	1.5225952

Table 5.9 shows the average values of the roughness parameter of the processed surface R_a measured for different processing methods at the degree of dullness TW2.

Table 5.9. Average values of the roughness parameter of machined surfaces R_a at the degree of blunting TW2

Number	Displacement speed [m/min]	Tool protrusion size [mm]	Average value R_a [μm]	Standard deviation R_a [μm]
1	8	10	6.388857	1.790385
2	8	20	6.54366	1.719977
3	8	30	7.99758	1.45191
4	12	10	7.0069	1.363665
5	12	20	8.08316	1.702211
6	12	30	8.41272	2.252035

4.5.2. Analysis of the results of the roughness measurements of the treated surface

Figure 4.6 shows a diagram of the dependence of the roughness of the machined surface on the speed of the auxiliary movement, the size of the protrusion of the tool over the workpiece and the degree of blunting of the circular saw.

Figure 4.7 shows the trajectory of the standard deviation, i.e. shows the movement of the dispersion parameter of the measured roughness results depending on the processing mode.

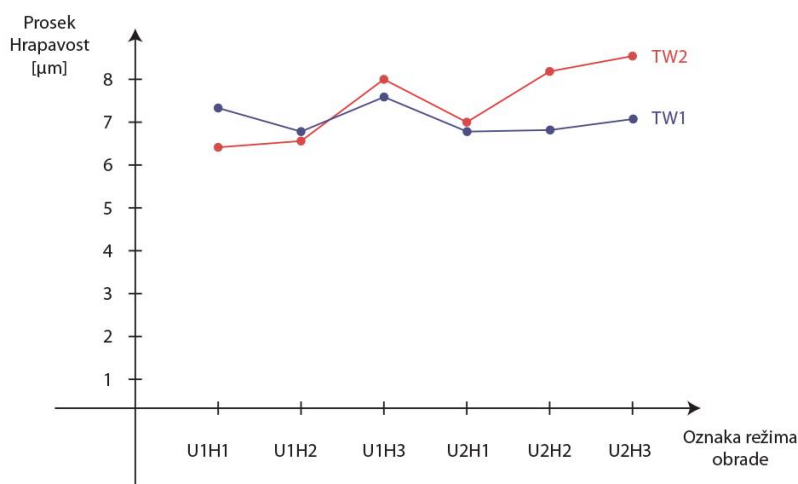


Figure 4.6. Average value of roughness depending on the mode of machining and tool dullness

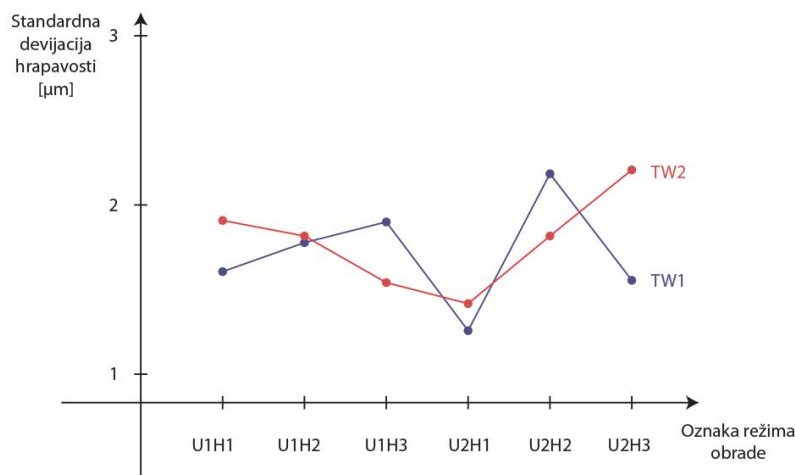


Figure 4.7. Standard deviation of roughness depending on mode of machining and the dullness of the tool

Based on the position of the curves on the given diagrams, the following conclusions can be drawn:

- ✓ The roughness of the machined surface increases with an increase in the speed of the auxiliary movement and the size of the spill,
- ✓ The degree of blunting of the tool has a significant influence on the roughness of the cutting surface and the greater the bluntness of the tool, the greater the influence of the speed of the auxiliary movement and the size of the runout.

4.6. Measuring the accuracy of the machined surface

The measurement of machining accuracy was performed using a Supereyes digital microscope in such a way that the width of the saw blade was measured for each machining mode.

4.6.1. Analysis of the results of measurements of the accuracy of the processed surface

In figure 4.8. the movement of the mean value of the slot width according to the processing modes is shown

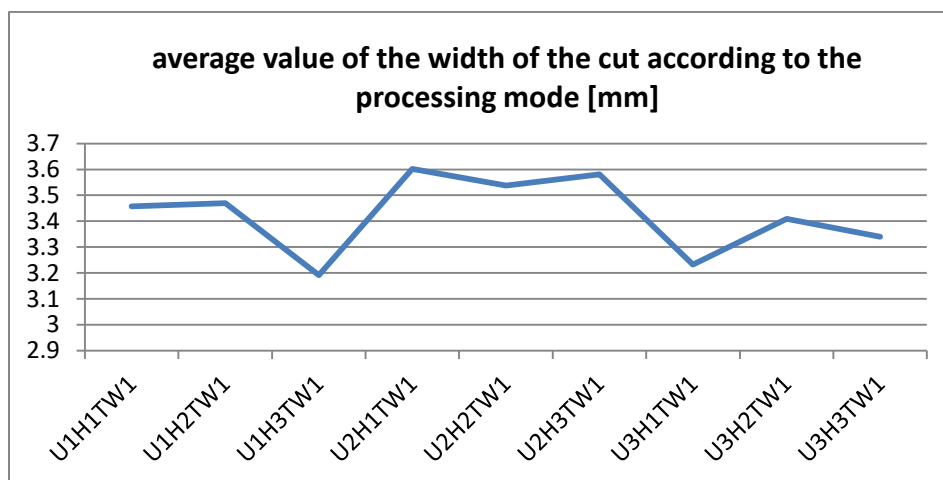


Figure 4.8. The average value of the width of the cut according to the processing modes

4.7. Analysis of the influence of the speed of the auxiliary movement and the cutting height on the cutting power

In figure 4.9. the influence of the speed of the auxiliary movement and the size of the overhang of the tool on the cutting power is shown.

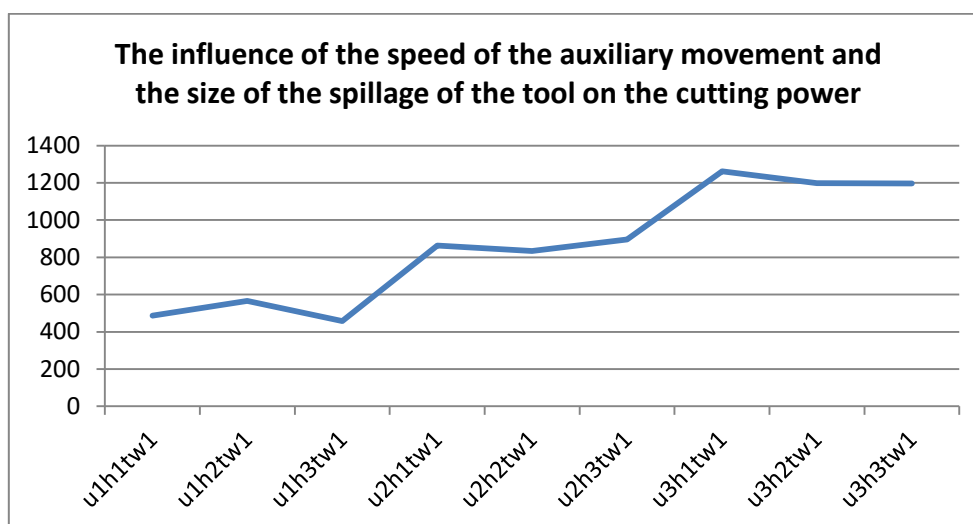


Figure 4.9. The influence of the speed of the auxiliary movement and the size of the spillage of the tool on the cutting power

5. CONCLUSIONS

In this doctoral dissertation, an experimental investigation of the influence of the processing method on the quality of the cut surface during longitudinal sawing of beech wood with a circular saw was carried out. Therefore, beech lumber was sawn lengthwise with a circular saw, and sawing was performed under different processing modes to show the influence of different processing parameters on the quality of the sawing surface and the sawing power. During the experiment certain measurements were made and that:

- ✓ Measurement of the physical properties of wood (moisture and density),
- ✓ Measuring dullness of tools (circular saws),
- ✓ Measurement of tool runout (circular saws),
- ✓ Measuring the speed of the auxiliary movement,
- ✓ Measurement of cutting power,
- ✓ Measurement of acoustic emission,
- ✓ Measurement of surface roughness,
- ✓ Measurement of processing accuracy (width of the cut)

After the experimental research and based on the analysis of the obtained results, we can state the following:

- ✓ The average moisture content of the wood ranged from $v = 8.28916\%$ (boards number 17) to $v = 10.9166\%$ (boards number 10),
- ✓ The average density of the boards ranged from $\rho = 0.6065 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ to $\rho = 0.7614 \text{ [g/cm}^3\text{]}$,
- ✓ Given the significant influence of density on the properties of wood, samples with uniform physical properties were selected for the research, in order to reduce the variations in the properties of the results of the research on the effect of the processing mode on the quality of the cut surface when sawing beech boards with a circular saw. A total of 9 selected boards with a radial anatomical direction and without visible defects in the wood structure were used for the research,
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ and the projection of the saw of $h_1 = 10 \text{ [mm]}$ when cutting with a sharp saw is $P_1 = 486.77625 \text{ [W]}$,
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ and the projection of the saw of $h_2 = 20 \text{ [mm]}$ when cutting with a sharp saw is $P_2 = 565.4925 \text{ [W]}$,
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_1 = 4 \text{ [m/min]}$ and the projection of the saw of $h_3 = 30 \text{ [mm]}$ when sawing with a sharp saw is $P_3 = 457,205 \text{ [W]}$,
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_2 = 8 \text{ [m/min]}$ and the projection of the saw of $h_1 = 10 \text{ [mm]}$ when sawing with a sharp saw is $P_4 = 863.85125 \text{ [W]}$,
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_2 = 8 \text{ [m/min]}$ and the projection of the saw of $h_2 = 20 \text{ [mm]}$ when sawing with a sharp saw is $P_5 = 833,815 \text{ [W]}$,

- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_2 = 8$ [m/min] and the projection of the saw of $h_3 = 30$ [mm] when sawing with a sharp saw is $P_6 = 895.82$ [W],
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_3 = 12$ [m/min] and the projection of the saw of $h_1 = 10$ [mm] when cutting with a sharp saw is $P_7 = 1262.70125$ [W],
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_3 = 12$ [m/min] and the projection of the saw of $h_2 = 20$ [mm] when cutting with a sharp saw is $P_8 = 1197.60125$ [W],
- ✓ The average cutting power at the speed of the auxiliary movement $u_3 = 12$ [m/min] and the projection of the saw of $h_3 = 30$ [mm] when cutting with a sharp saw is $P_9 = 1195.8825$ [W],
- ✓ At the speed of the auxiliary movement $u_1 = 4$ m/min, the cutting power is $P_1 = 486.77625$ W, $P_2 = 565.4925$ W and $P_3 = 457.205$ W.
- ✓ At the speed of the auxiliary movement $u_2 = 8$ m/min, the cutting power is $P_4 = 863.85125$ W, $P_5 = 833.815$ W and $P_6 = 895.82$ W.
- ✓ At auxiliary movement speed $u_3 = 12$ m/min, the cutting power is $P_7 = 1262.70125$ W, $P_8 = 1197.60125$ W and $P_9 = 1195.8825$ W.
- ✓ By changing the size of the protrusion of the tool in relation to the workpiece ($h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm, $h_3=30$ mm), and at the speed of the auxiliary movement $u_1 = 4$ m/min, the cutting power is $R_1 = 486.77625$ W, $P_2 = 565.4925$ W and $P_3 = 457.205$ W.
- ✓ By changing the size of the protrusion of the tool in relation to the workpiece ($h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm, $h_3=30$ mm), and at the speed of the auxiliary movement $u_2 = 8$ m/min, the cutting power is $P_4 = 863.85125$ W, $P_5 = 833.815$ W and $P_6 = 895.82$ W.
- ✓ By changing the size of the protrusion of the tool in relation to the workpiece ($h_1=10$ mm, $h_2=20$ mm, $h_3=30$ mm), and at the speed of the auxiliary movement $u_3 = 12$ m/min, the cutting power is $P_7 = 1262.70125$ W, $P_8 = 1197.60125$ W and $P_9 = 1195.8825$ W.
- ✓ As far as acoustic emissions are concerned, there is an obvious difference between the acoustic emission of a machine during active operation and a machine running at rest. A solo 1.8kHz peak on the idle engine spectrum does not appear on other records associated with the running engine. The entire spectral region of the machine spectrum during processing is elevated compared to the machine spectrum at rest, with some constantly repeating peaks,
- ✓ Acoustic emission peaks of particular interest are at 1.6 kHz, 3 kHz, 9 kHz and 15 kHz while the frequency range from 200 Hz to 1.5 kHz has been investigated in the working machine spectra,
- ✓ Regarding the quality of the cut surface, the roughness is measured at auxiliary movement speeds ($u_1=8$ m/min and $u_2=12$ m/min), at three sizes of circular saw overhang ($h_1=10$ mm, $h_2 =20$ mm and $h_3 =30$ mm) and at two degrees of bluntness of the saw (TW1 and TW2). The roughness test was performed for each processing mode and for each processing mode on five specimens ten measurements were taken on each specimen.

- ✓ The minimum mean value of the roughness of the cutting surface ($R_a = 6.388857\mu\text{m}$) ie. the highest quality of processing is achieved at the speed of the auxiliary movement of $u_1 = 8$ [m/min], at the size of the protrusion of the saw $h_1=10$ [mm] and at the degree of blunting TW2.
- ✓ The maximum mean value of the roughness of the cutting surface ($R_a = 8.41272\mu\text{m}$) ie. the lowest quality of processing is achieved at the speed of the auxiliary movement of $u_2 = 12$ [m/min], at the size of the protrusion of the saw $h_1=30$ [mm] and at the degree of blunting TW2.
- ✓ The average value of all the measured roughness values of the degree of dullness of the tool TW1 (sharp tool) is $R_a = 6.7579$ [μm].
- ✓ □ The average value of all measured values of roughness at the degree of blunting of the tool TW2 (blunted tool) is $R_a = 7.4055$ [μm].
- ✓ Regarding machining accuracy, the width of the cut was measured. The width of the cut depending on the processing mode is: 3.4567, 3.47, 3.1911, 3.6025, 3.5377, 3.5809, 3.2326, 3.4093 and 3.3392 [mm].
- ✓ The highest processing precision, i.e. the smallest width of the cut ($b_s=3.1911\text{mm}$) was achieved with the $u_1h_3tw_1$ processing mode, i.e. at the speed of the auxiliary movement $u_1 = 4$ [m/min] and with the size of the protrusion of the tool $h_3 = 30$ [mm].
- ✓ The lowest processing precision, i.e. the largest width of the cut ($b_s=3.6025\text{mm}$) was achieved with the $u_2h_1tw_1$ processing mode, i.e. at the speed of the auxiliary movement $u_2 = 8$ [m/min] and at the size of the protrusion of the tool $h_1 = 10$ [mm].

Since the conditions of the experiment were very close to the real production conditions, these studies could have practical significance for determining the optimal ways of cutting wooden objects, from the point of view of the quality of the processed surface and energy saving.